

José Luis Osorio Tejada

# Metodologías para la evaluación híbrida e integrada de estrategias de sostenibilidad en ciclo de vida del transporte de mercancías por carretera

Departamento

Instituto Universitario de Investigación Mixto CIRCE

Director/es

Scarpellini, Sabina  
Llera Sastresa, Eva-María

<http://zaguan.unizar.es/collection/Tesis>

© Universidad de Zaragoza  
Servicio de Publicaciones

ISSN 2254-7606



**Universidad**  
Zaragoza

Tesis Doctoral

**METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN HÍBRIDA  
E INTEGRADA DE ESTRATEGIAS DE  
SOSTENIBILIDAD EN CICLO DE VIDA DEL  
TRANSPORTE DE MERCANCÍAS POR  
CARRETERA**

Autor

**José Luis Osorio Tejada**

Director/es

Scarpellini, Sabina  
Llera Sastresa, Eva-María

**UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA**

Instituto Universitario de Investigación Mixto CIRCE

2018





**Universidad  
Zaragoza**

**DOCTORADO EN ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Metodologías para la evaluación híbrida e integrada de estrategias de sostenibilidad en ciclo de vida del transporte de mercancías por carretera

*Life-cycle based methodologies for the hybrid and integrated assessment of sustainability strategies in road freight transport*

**Tesis Doctoral**

**Autor:**

José Luis Osorio Tejada

**Directoras:**

Eva Llera Sastresa

Sabina Scarpellini

**Instituto Universitario de Investigación Mixto CIRCE**

Octubre 2018





Grupo de socioeconomía de la energía y la sostenibilidad  
Instituto Universitario de Investigación Mixto CIRCE  
Escuela de Ingeniería y Arquitectura

***“METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN HÍBRIDA E INTEGRADA DE  
ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD EN CICLO DE VIDA DEL TRANSPORTE  
DE MERCANCÍAS POR CARRETERA”***

***“Life-cycle based methodologies for the hybrid and integrated assessment of  
sustainability strategies in road freight transport”***

Memoria para optar al título de Doctor en Energías Renovables y Eficiencia Energética  
con Mención de Doctorado Internacional por la Universidad de Zaragoza

**Presentada por:**  
José Luis Osorio Tejada

**Directoras:**  
Eva Llera Sastresa  
Sabina Scarpellini

Zaragoza, octubre 2018



## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer todo el apoyo recibido de mis directoras de tesis Eva Llera y Sabina Scarpellini, quienes además de brindarme toda la asesoría necesaria para desarrollar este trabajo, me motivaron y me dieron la oportunidad durante estos cuatro años de realizar diversas actividades que han permitido formarme profesionalmente como investigador.

También agradezco el apoyo y la amistad de los integrantes del grupo de Socioeconomía y los demás compañeros del Instituto CIRCE, ya que han hecho que esta estancia en Zaragoza haya sido muy agradable.

Asimismo, cabe resaltar la colaboración de las empresas y personas que brindaron información valiosa para la aplicación de las metodologías desarrolladas en este trabajo para los casos estudiados en Colombia, Malasia y España.

Finalmente, quiero dedicar esta tesis a todos mis seres queridos en Colombia, quienes a pesar de la distancia han estado presentes dándome ánimo para afrontar este reto.



## RESUMEN

La propuesta de esta tesis titulada “Metodologías para la evaluación híbrida e integrada de estrategias de sostenibilidad en ciclo de vida del transporte de mercancías por carretera” ha sido motivada por la creciente necesidad de desarrollar estrategias para reducir la dependencia del petróleo y los impactos medioambientales en el sector del transporte, siendo el transporte de mercancías por carretera el que plantea mayores retos a corto y medio plazo. A estas consideraciones iniciales, se añade el hecho de que muchas de estas estrategias, como la introducción de combustibles alternativos, no han alcanzado los objetivos propuestos por el escaso énfasis prestado a aspectos sociales y socioeconómicos del ciclo de vida de los componentes del sistema del transporte en los análisis de viabilidad de estas estrategias. En razón de lo expuesto, en esta tesis se propone una metodología para evaluar la sostenibilidad de los servicios de transporte de mercancías de manera integral. Es decir, en la metodología se considera el análisis medioambiental, social y económico del ciclo de vida de los componentes claves del sistema del transporte: combustibles, vehículos e infraestructura.

Para alcanzar este objetivo, en el primer capítulo de esta tesis se identifican los principales problemas asociados al transporte de mercancías por carretera y las diversas medidas que han sido implementadas para la reducción del consumo energético y emisiones contaminantes de este subsector.

En el segundo capítulo, se presenta el estado del arte de las iniciativas creadas para el análisis de la sostenibilidad del transporte por carretera, tanto en el ámbito normativo como en el de herramientas o metodologías para el cálculo de los impactos medioambientales de la operación del sector. Se presentan ejemplos de la aplicación de las metodologías del análisis de ciclo de vida medioambiental (ACV), social y socioeconómico (ASCV) y de costes (ACCV) para la evaluación del transporte por carretera y sus componentes clave, así como los estudios de aplicación de metodologías de ciclo de vida en análisis híbridos e integrados.

En el tercer capítulo se proponen las metodologías de ACV y de ASCV para la evaluación integral del servicio de transporte de mercancías por carretera. Se diseña el enfoque metodológico estableciendo cómo abordar la definición y alcance del estudio, se estipulan los niveles de análisis de inventario y las respectivas fuentes de información y los métodos de evaluación de impactos. Para la metodología propuesta de ASCV, se diseña un método de evaluación definido como método de escalas de valoración multinivel, a partir del cual, considerando también las percepciones de los grupos de interés involucrados (*stakeholders*), se obtiene un índice de desempeño social del sistema.

Con el fin de testear la utilidad de las metodologías de ACV y ASCV propuestas, en el cuarto capítulo son seleccionados tres sistemas de transporte diferentes desde el punto de vista geográfico, socioeconómico y cultural, localizados en Colombia, Malasia y España. De la aplicación de la metodología de ACV, se observan diferencias en la contribución de cada componente del sistema del transporte en el impacto global del mismo, influenciadas por la tecnología de control de emisiones y la vida útil promedio de los vehículos y la cantidad de

kilómetros y toneladas de mercancías movilizadas por los diferentes tipos de carreteras en cada país. También, los resultados del ACV varían dependiendo del punto de vista, método de evaluación y el tipo de perspectiva seleccionada. A partir de la aplicación de la metodología de ASCV propuesta, se obtienen diversas conclusiones que representan la particularidad de cada caso. De manera general, los resultados permiten identificar los puntos críticos y de mayor interés para los *stakeholders*. Los resultados de las entrevistas a los *stakeholders* en los tres países coinciden en que para mejorar el desempeño social de las empresas se debe dar mayor atención a los derechos de los trabajadores, mientras que los temas relacionados con la protección del patrimonio cultural y de las comunidades son los de menor importancia.

Además de lo anterior, en los ACV y ASCV se identifican categorías y subcategorías de impacto que pueden ser irrelevantes dependiendo del contexto en donde se desarrollan las actividades evaluadas. Asimismo, se identifican otras variables relacionadas con el mercado, tales como cuestiones legislativas y la disponibilidad de infraestructura y del combustible, las cuales se han considerado como los principales desafíos para la adopción de combustibles alternativos.

Por lo anterior, en el quinto capítulo se propone la metodología híbrida simplificada para la evaluación integrada de alternativas para la sostenibilidad del transporte, con el cual, mediante cinco pasos, se obtiene un índice de sostenibilidad para cada alternativa. Esta metodología se aplica a un caso a estudio en España, con el objetivo de seleccionar el mejor combustible entre tres alternativas, obteniéndose como la mejor alternativa la implementación del gas natural licuado (GNL). Asimismo, del análisis de sensibilidad se concluye que omitir aspectos del mercado y de ciclo de vida, generaría resultados mucho más optimistas para la alternativa de GNL. Se encuentra también que algunos subcriterios son susceptibles a cambios por decisiones políticas o en las percepciones de la sociedad, por lo que se efectúan análisis de sensibilidad adicionales.

En definitiva, a través de la aplicación de la metodología híbrida e integrada ha podido demostrarse la consistencia de los resultados obtenidos en esta tesis, poniendo de relieve la relevante participación de los *stakeholders*, permitiendo identificar las variables críticas y que podrían afectar en el futuro el desempeño de estrategias de sostenibilidad para el transporte de mercancías por carretera, lo que podría garantizar su éxito en un entorno dinámico a largo plazo en este sector.

## ABSTRACT

This thesis entitled “Life-cycle based methodologies for the hybrid and integrated assessment of sustainability strategies in road freight transport” has been motivated by the growing need to develop strategies to reduce the oil dependency and environmental impacts in the transport sector, in which the road freight poses the greatest challenges in the short and medium term. In addition to these initial considerations, many of these strategies, such as the introduction of alternative fuels, have not achieved the proposed objectives by the scant emphasis on social and socioeconomic aspects of the life cycle of the transport system components in the viability analyses of these strategies. Therefore, this thesis proposes a methodology to evaluate the freight transport sustainability in an integral manner. In other words, the methodology considers the environmental, social and economic life cycle analysis of the key components of the transport system: fuels, vehicles and infrastructure.

To achieve this goal, in the first chapter of this thesis are identified the road freight main difficulties and the various measures that have been implemented for the reduction of energy consumption and polluting emissions in this sub-sector.

In the second chapter, the state-of-the-art of initiatives related to the sustainability of road transport is presented, in the field of both legislation and tools or methodologies for the environmental impacts measuring of the sector. In this chapter, examples of the application of environmental life cycle assessment (LCA), social and socioeconomic life cycle assessment (SLCA) and life cycle costing (LCC) methodologies for the analysis of road transport are presented, including the application studies of life cycle methodologies in hybrid and integrated analyses.

In the third chapter, LCA and SLCA methodologies for the integral evaluation of freight transport services are proposed. The methodological approach is designed, establishing the definition and scope of the study, stipulating the sources of information and the most appropriate impact assessment methods. For the SLCA methodology, an evaluation method defined as a multilevel valuation scales method is designed to obtain social impact indices, from which, considering the stakeholders perceptions, a social performance index of the system is obtained.

In order to test the proposed LCA and SLCA methodologies, in the fourth chapter they are applied to three different transport systems from the geographic, socio-economic and cultural point of view, located in Colombia, Malaysia and Spain. The results of the carried out LCAs show that the responsibility of each transport system component in the global environmental impact is influenced by the emission control technology and the average life of the vehicles and the number of kilometres and tons of goods transported by the different types of roads in each country. Also, the LCA results change depending on the points of view, assessment method and the type of perspective selected. Regarding the application of the proposed SLCA methodology to the three case studies, the results show the particularities of each case. In

general, the results allow identifying the critical points of greatest interest to the *stakeholders*. The results of the interviews in the three countries agree that to improve the social performance of road freight companies they must give greater attention to the workers' rights, while the protection of cultural heritage and communities are those that should have less priority compared to other issues.

In addition to the above, in the LCA and SLCA cases, some impact subcategories might be irrelevant depending on the context in which the evaluated activities are carried out. Likewise, other important market related variables were identified through stakeholder interviews, such as legislative issues and the infrastructure and fuel availability, which have been considered as the main challenges for the adoption of alternative fuels.

For all the above, in the fifth chapter, a simplified hybrid methodology has been proposed for the integrated evaluation of alternatives for transport sustainability. Through this five-step methodology, a sustainability index is obtained for each alternative. This methodology is applied to a case under study in Spain with the objective of selecting the best fuel among three alternatives, obtaining that the best one would be the implementation of liquefied natural gas (LNG). Likewise, from the case study and the sensitivity analysis it is concluded that the omission of market and life cycle related indicators generates much more optimistic results for the LNG alternative. Also, it is found that some sub-criteria are sensitive to political decisions or changes in society's perceptions, requiring additional sensitivity analyses.

In conclusion, the application of the hybrid and integrated methodology demonstrated a consistency in the results, where the participation of stakeholders was very relevant, which, in addition to supporting the weighting of criteria for each of the scenarios evaluated, allowed to identify the critical variables that could affect the future performance and the massive implementation of fuels and eco-innovative technologies in the road freight transport, guarantying the success of the alternative in a long-term dynamic market in this sector.

# ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....   | <b>1</b>  |
| 1.1. Evolución del sector del transporte de mercancías por carretera .....  | 3         |
| 1.2. Estrategias para la sostenibilidad del transporte por carretera.....   | 7         |
| 1.2.1. Combustibles alternativos en el transporte por carretera .....   | 9         |
| 1.2.2. Impactos socioeconómicos del transporte.....   | 13        |
| 1.3. Justificación y objetivos de la tesis.....   | 17        |
| 1.4. Contenido de la tesis.....   | 18        |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO II. MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD DEL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS POR CARRETERA</b> .....             | <b>21</b> |
| 2.1. Desarrollo del análisis ambiental del ciclo de vida del sector .....   | 26        |
| 2.1.1. Iniciativas para el cálculo de la huella de carbono en el transporte .....   | 27        |
| 2.1.2. La norma europea EN 16258 .....  | 29        |
| 2.1.3. Aplicación de las normas ISO al sector del transporte .....  | 31        |
| 2.2. Orígenes y desarrollo del análisis social y económico del ciclo de vida .....  | 33        |
| 2.2.1. El análisis social y socioeconómico del ciclo de vida (ASCV) .....   | 34        |
| 2.2.2. El análisis de costes del ciclo de vida (ACCV).....  | 36        |
| 2.3. Estudios publicados de ACV, ASCV y ACCV del transporte por carretera .....   | 38        |
| 2.3.1. Estudios de análisis de ciclo de vida (ACV) .....  | 38        |
| 2.3.1.1. Estudios de ACV en vehículos .....   | 39        |
| 2.3.1.2. Estudios de ACV de los combustibles .....  | 40        |
| 2.3.1.3. Estudios de ACV en infraestructuras.....   | 42        |
| 2.3.1.4. Estudios de ACV integrados .....   | 44        |
| 2.3.2. Estudios de análisis social de ciclo de vida (ASCV) .....  | 47        |
| 2.3.3. Estudios de análisis de costes de ciclo de vida (ACCV) .....   | 53        |
| 2.4. Conclusiones .....   | 59        |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO III. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL SISTEMA DEL TRANSPORTE: MEDIOAMBIENTAL, SOCIAL Y SOCIOECONÓMICO</b> ..... | <b>65</b> |
| 3.1. Metodología de análisis del ciclo de vida (ACV).....   | 68        |
| 3.1.1. Definición de objetivos y alcance .....  | 68        |
| 3.1.2. Análisis de inventario.....  | 72        |
| 3.1.2.1. Inventario proceso de tráfico.....   | 74        |
| 3.1.2.2. Inventario proceso de fabricación de vehículos .....   | 86        |
| 3.1.2.3. Inventario proceso de producción de combustibles.....  | 86        |
| 3.1.2.4. Inventario proceso de construcción de carreteras .....   | 87        |
| 3.1.2.5. Inventario proceso de fin de vida .....  | 88        |
| 3.1.3. Evaluación de impactos .....   | 89        |
| 3.1.3.1. Clasificación .....  | 90        |
| 3.1.3.2. Caracterización .....  | 90        |
| 3.1.3.3. Normalización <i>midpoints</i> .....   | 91        |
| 3.1.3.4. Agregación .....   | 92        |
| 3.1.3.5. Normalización <i>endpoints</i> .....   | 94        |
| 3.1.3.6. Ponderación.....   | 94        |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 3.1.4.   | Interpretación de resultados .....                            | 95  |
| 3.2      | Metodología de análisis social del ciclo de vida (ASCV) ..... | 96  |
| 3.2.1.   | Definición de objetivos y alcance .....                       | 96  |
| 3.2.1.1. | Objetivos, alcance y delimitación del sistema .....           | 97  |
| 3.2.1.2. | <i>Stakeholders</i> y subcategorías de impacto social .....   | 98  |
| 3.2.2.   | Análisis de inventario.....                                   | 103 |
| 3.2.2.1. | Niveles de análisis de inventario.....                        | 104 |
| 3.2.2.2. | Selección de indicadores.....                                 | 106 |
| 3.2.2.3. | Instrumentos de recopilación de datos .....                   | 112 |
| 3.2.3.   | Evaluación de impactos .....                                  | 114 |
| 3.2.3.1. | Clasificación de subcategorías de impacto social .....        | 115 |
| 3.2.3.2. | Métodos de caracterización .....                              | 116 |
| 3.2.3.3. | Agregación y presentación de resultados .....                 | 120 |
| 3.2.4.   | Interpretación de resultados .....                            | 125 |
| 3.3      | Discusión metodología ASCV.....                               | 126 |

#### **CAPÍTULO IV. CASOS A ESTUDIO ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA MEDIOAMBIENTAL Y SOCIOECONÓMICO**

|          |  |            |
|----------|--|------------|
|          | .....  | <b>131</b> |
| 4.1.     | Casos a estudio análisis de ciclo de vida – ACV .....          | 132        |
| 4.1.1.   | ACV caso a estudio Colombia .....                              | 132        |
| 4.1.1.1. | Definición de objetivos y alcance.....                         | 132        |
| 4.1.1.2. | Análisis de inventario.....                                    | 134        |
| 4.1.1.3. | Evaluación de impactos .....                                   | 148        |
| 4.1.1.4. | Interpretación de resultados .....                             | 155        |
| 4.1.2.   | ACV caso a estudio Malasia .....                               | 162        |
| 4.1.2.1. | Definición de objetivos y alcance.....                         | 162        |
| 4.1.2.2. | Análisis de inventario.....                                    | 164        |
| 4.1.2.3. | Evaluación de impactos .....                                   | 174        |
| 4.1.2.4. | Interpretación de resultados .....                             | 181        |
| 4.1.3.   | ACV caso a estudio España .....                                | 185        |
| 4.1.3.1. | Definición de objetivos y alcance.....                         | 185        |
| 4.1.3.2. | Análisis de inventario.....                                    | 186        |
| 4.1.3.3. | Evaluación de impactos .....                                   | 195        |
| 4.1.3.4. | Interpretación de resultados .....                             | 201        |
| 4.1.4.   | Discusión casos de estudio ACV.....                            | 205        |
| 4.2.     | Casos a estudio análisis social del ciclo de vida – ASCV ..... | 207        |
| 4.2.1.   | ASCV caso a estudio Colombia .....                             | 207        |
| 4.2.1.1. | Definición de objetivos y alcance.....                         | 207        |
| 4.2.1.2. | Análisis de inventario.....                                    | 210        |
| 4.2.1.3. | Evaluación de impactos .....                                   | 216        |
| 4.2.1.4. | Interpretación de resultados .....                             | 223        |
| 4.2.2.   | ASCV caso a estudio Malasia .....                              | 231        |
| 4.2.2.1. | Definición de objetivos y alcance.....                         | 231        |
| 4.2.2.2. | Análisis de inventario.....                                    | 232        |
| 4.2.2.3. | Evaluación de impactos .....                                   | 236        |
| 4.2.2.4. | Interpretación de resultados .....                             | 243        |
| 4.2.3.   | ASCV caso a estudio España .....                               | 250        |
| 4.2.3.1. | Definición de objetivos y alcance.....                         | 250        |
| 4.2.3.2. | Análisis de inventario.....                                    | 251        |
| 4.2.3.3. | Evaluación de impactos .....                                   | 255        |

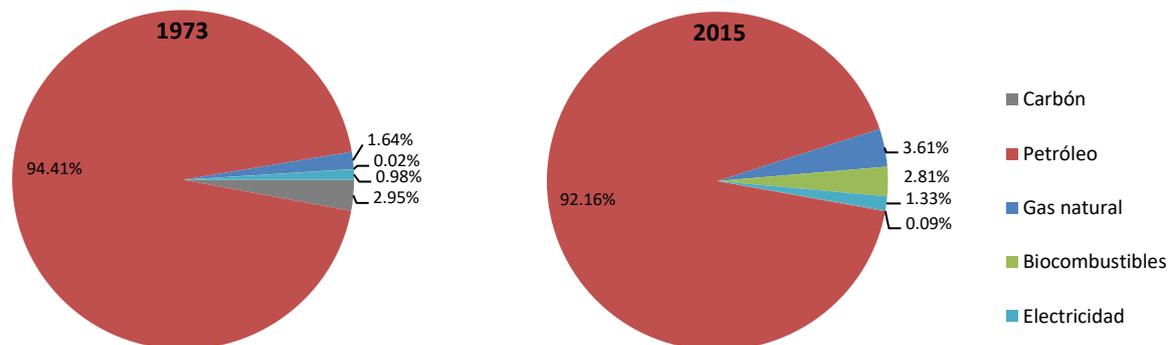
|  |  |            |
|--|--|------------|
| 4.2.3.4.   | Interpretación de resultados .....   | 261        |
| 4.2.4.   | Discusión casos de estudio ASCV.....   | 266        |
| <b>CAPÍTULO V. METODOLOGÍA HÍBRIDA E INTEGRADA PARA LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS EN</b> |  |            |
| <b>SISTEMAS DE TRANSPORTE.....</b>   |  |            |
|  |  | <b>271</b> |
| 5.1.   | Evaluación de impacto multidimensional en el sector del transporte.....                        | 272        |
| 5.2.   | Metodología de evaluación de la sostenibilidad.....  | 275        |
| 5.2.1.   | Selección de alternativas y elementos por factor .....   | 276        |
| 5.2.2.   | Definición de subcriterios e indicadores .....   | 277        |
| 5.2.3.   | Comparación por pares de las alternativas.....   | 278        |
| 5.2.4.   | Ponderación de criterios para la evaluación de escenarios .....                                | 279        |
| 5.2.5.   | Cálculo de índices de sostenibilidad .....   | 279        |
| 5.3.   | Caso a estudio: gas natural licuado y biodiésel para el transporte de mercancías por carretera | 280        |
| 5.4.   | Discusión y análisis de sensibilidad .....   | 289        |
| 5.5.   | Conclusiones .....   | 291        |
| <b>CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES GENERALES.....</b>  |  |            |
|  |  | <b>293</b> |
| 6.1.   | Síntesis de la tesis.....  | 293        |
| 6.2.   | Contribuciones científicas de la tesis .....   | 302        |
| 6.3.   | Perspectivas/futuros trabajos de investigación .....   | 304        |
| <b>CAPÍTULO VII. GENERAL CONCLUSIONS .....</b>   |  |            |
|  |  | <b>307</b> |
| 7.1.   | Thesis summary.....  | 307        |
| 7.2.   | Scientific contributions .....   | 315        |
| 7.3.   | Future research work .....   | 317        |
| REFERENCIAS.....   |  |            |
|  |  | 319        |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....  |  |            |
|  |  | 360        |
| ÍNDICE DE TABLAS .....   |  |            |
|  |  | 363        |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....   |  |            |
|  |  | 367        |
| ANEXOS .....   |  |            |
|  |  | 369        |



## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

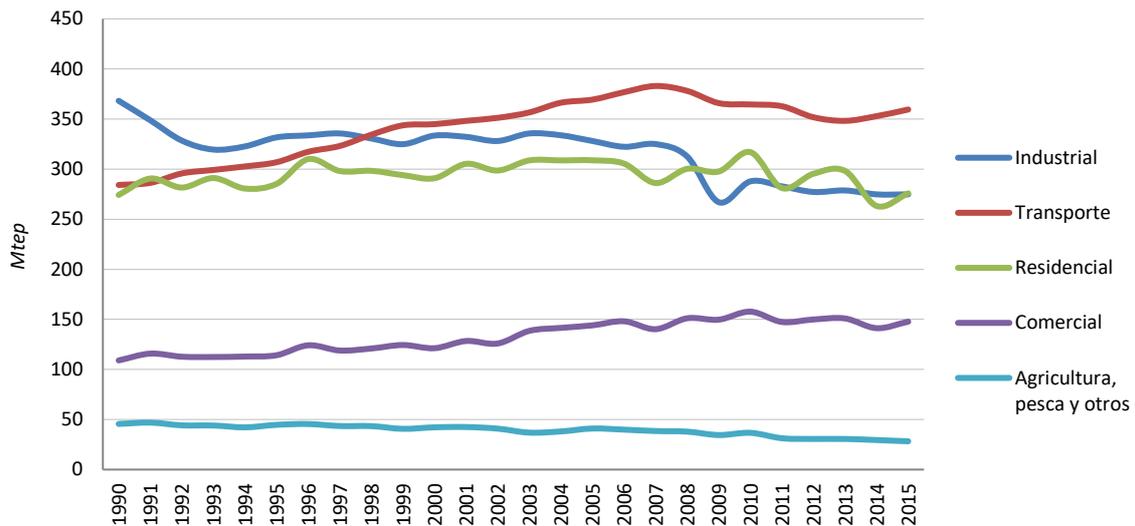
A pesar del crecimiento del uso y explotación de energías renovables alternativas, la participación de las fuentes fósiles en el consumo energético mundial prácticamente no ha cambiado en las últimas cuatro décadas. En el año 2015, las fuentes fósiles participaron del 82% del total de energía primaria consumida a nivel mundial, frente a un 86% en 1971 [1].

Esa tendencia y la distribución del consumo energético por tipos de fuente de energía a nivel global coincide con lo observado en la Unión Europea (UE), donde la principal fuente sigue siendo el petróleo, que supone aproximadamente el 31% del total de energía primaria consumida [2,3]. La distribución del consumo energético por sectores también ha sido similar para el escenario europeo. En 2015, el 41,2% de toda la energía utilizada por el sector del transporte fue de origen fósil y concretamente el 92,2% procedente de derivados de petróleo, lo que convierte al sector en uno de los mayores consumidores a nivel mundial [3]. A pesar de todas las iniciativas dirigidas a su reducción, este porcentaje apenas ha cambiado en las últimas décadas, Figura I.1.



**Figura I.1. Demanda energética global por fuentes en el sector del transporte.**  
Datos: AIE [3]

Adicionalmente, el consumo energético del sector transporte se ha incrementado, tanto a nivel global como en los Estados miembros de la UE.

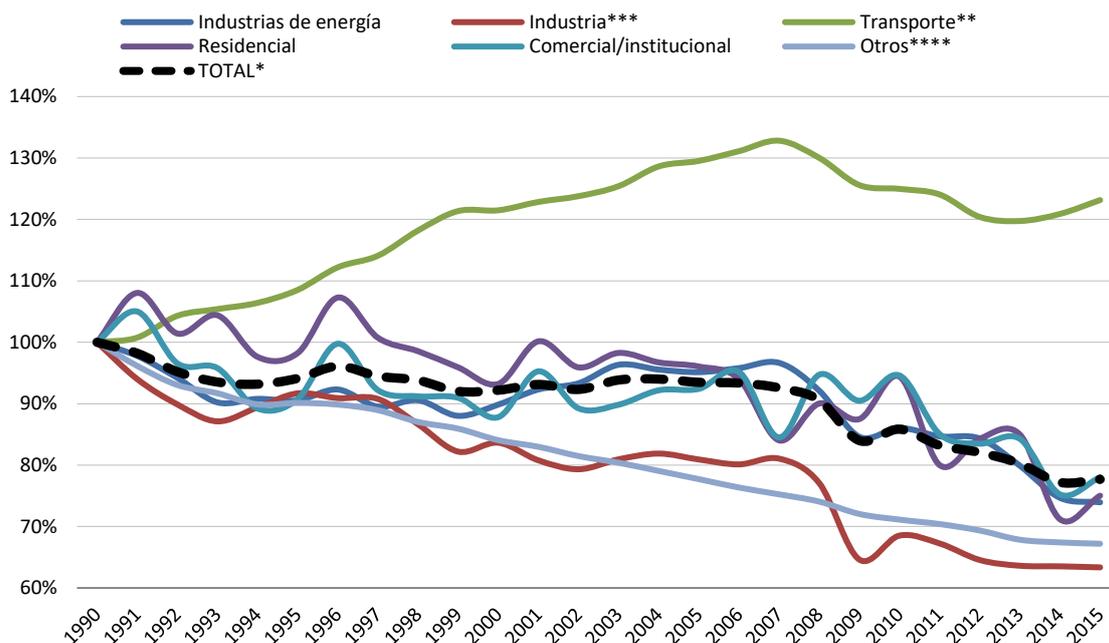


**Figura I.2. Evolución del consumo de energía final por sector en EU-28.**  
 Datos: AEMA y Eurostat [4,5]

Como se observa en la Figura I.2, el sector del transporte en la UE, consumió el 33% del total de energía final en 2015, siendo el sector que arroja el consumo más elevado desde 1998, año en que superó al sector industrial, debido tanto a los avances en eficiencia energética en las industrias, como al incremento en las operaciones en el sector del transporte y logístico, en los que las medidas de eficiencia no han sido fácilmente aplicables principalmente a causa de su carácter difuso.

La alta participación del petróleo en la demanda energética de los países se manifiesta fundamentalmente en altos niveles de emisiones de gases efecto invernadero (GEI). Además, el transporte es también generador de emisiones tóxicas como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), óxido nítrico (N<sub>2</sub>O), compuestos orgánicos volátiles (COV) o hidrocarburos inquemados (HC), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y materia particulada (MP). También, esta alta dependencia del petróleo hace que muchos países sean más vulnerables cuando se enfrentan a situaciones como las originadas por la volatilidad de los precios de los combustibles, el riesgo de desabastecimiento por escasez o problemas sociopolíticos, entre otros.

Por lo anterior, las emisiones de GEI generadas por el sector del transporte siguen similar tendencia al consumo de energía. Entre 1990 y 2007, las emisiones de GEI producidas por este sector en la UE se incrementaron un 33%, alcanzando su valor máximo, de la misma manera que el consumo de energía, mientras que las emisiones aportadas por el resto de los sectores económicos se redujeron, Figura I.3. En el periodo entre 2007 y 2012, las emisiones de GEI procedentes del transporte cayeron a los niveles de 1998 [6]; debido básicamente a la recesión económica y por consiguiente a la reducción en las operaciones de transporte de mercancías. Sin embargo, estas emisiones siguen estando un 23% más altas respecto a los niveles de 1990 [7], tendencia que va a empeorar ante el aumento de operaciones del sector por la recuperación económica de los Estados Miembros. Puede por lo tanto afirmarse que, bajo el presente escenario, se necesitan medidas adicionales para alcanzar la meta de reducir para el año 2050 las emisiones de GEI del sector del transporte al 60% de los niveles de 1990 [8].



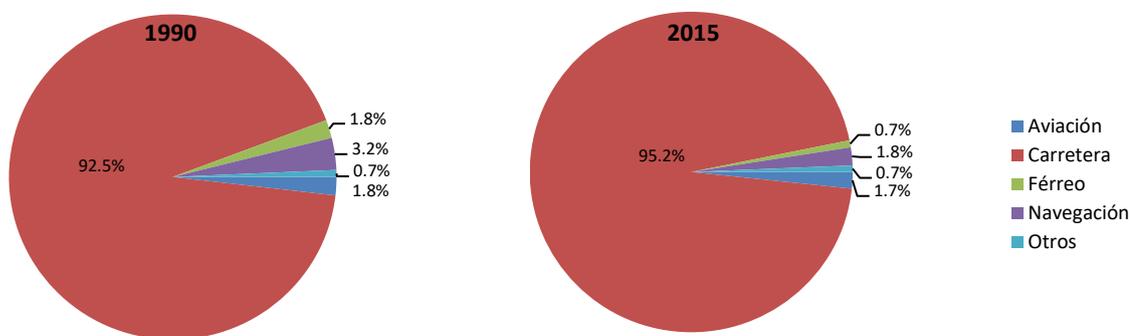
(\*) Excluyendo emisiones por uso de suelos; (\*\*) Excluyendo bunkers internacionales (tráfico internacional partiendo de la UE); (\*\*\*) Emisiones de los procesos industriales, manufactura y construcción; (\*\*\*\*) Emisiones por uso de combustibles en la agricultura, silvicultura y pesca, otros no especificados, emisiones fugitivas de combustibles, solventes y otros usos del producto, agricultura, residuos, otros.

**Figura I.3. Evolución de las emisiones de GEI por sector en la UE.**  
 Datos: AEMA [7]

### 1.1. Evolución del sector del transporte de mercancías por carretera

De acuerdo con las tendencias presentadas a nivel mundial en relación con el consumo energético y emisiones de GEI asociadas al sector del transporte, se puede detectar una correlación entre el consumo y el volumen de las operaciones del transporte de mercancías por carretera, que tiende a ser más sensible a las condiciones económicas que el transporte de pasajeros [6].

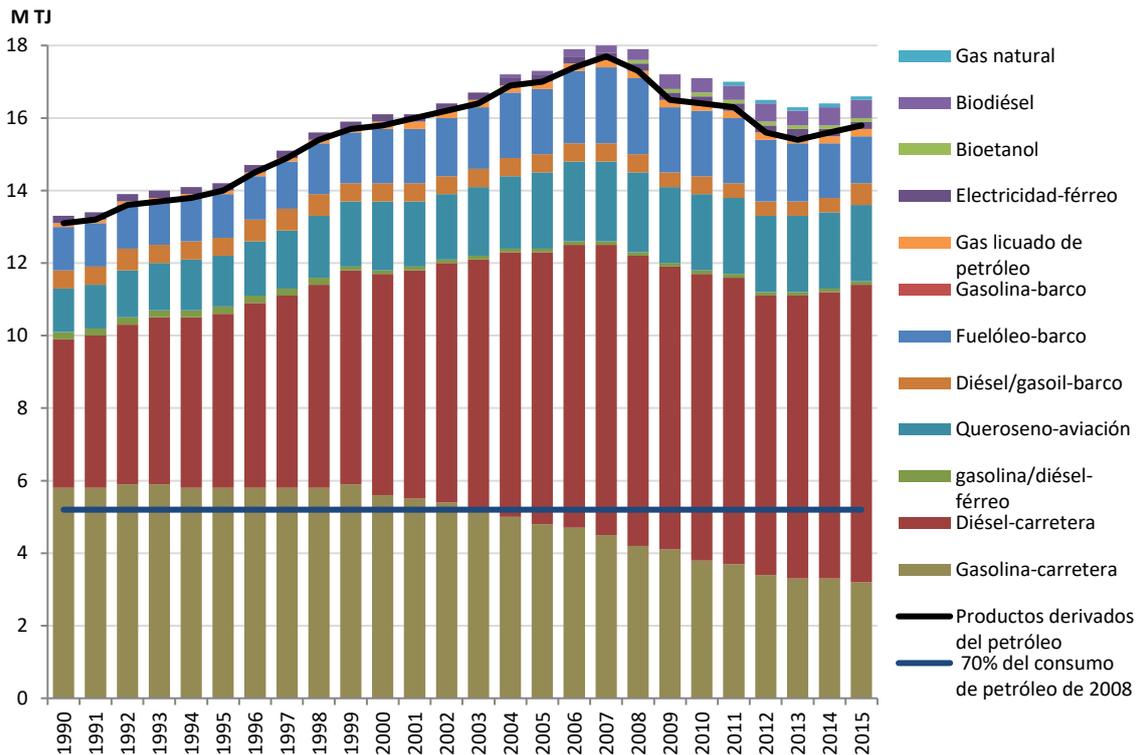
Cabe mencionar que el principal generador de emisiones de GEI en este sector es el transporte por carretera, el cual ha aumentado su contribución en las últimas décadas, aportando un 95,2% del total de emisiones en el 2015 [7], Figura I.4.



\*Excluyendo la navegación y aviación internacional

**Figura I.4. Distribución del total de emisiones de GEI al interior de la UE por modos en 1990 y 2015.**  
 Datos: AEMA [7]

Además del incremento del consumo de energía en el sector del transporte, resulta alarmante que la tasa de consumo de productos derivados del petróleo se haya mantenido casi constante en 95% durante los últimos años, cuya tendencia parece no dirigirse hacia el objetivo de la Comisión Europea para el año 2050 de reducción del consumo de energía de derivados de petróleo al 70% de la cifra consumida en el 2008, es decir, consumir menos de 5,2 millones de TJ anuales de derivados del petróleo, cifra que para el 2015 se situó en 15,8 millones de TJ [9], Figura I.5.



**Figura I.5. Consumo de energía final en el sector del transporte por tipo de combustible en la UE.**  
 Datos: AEMA [9]

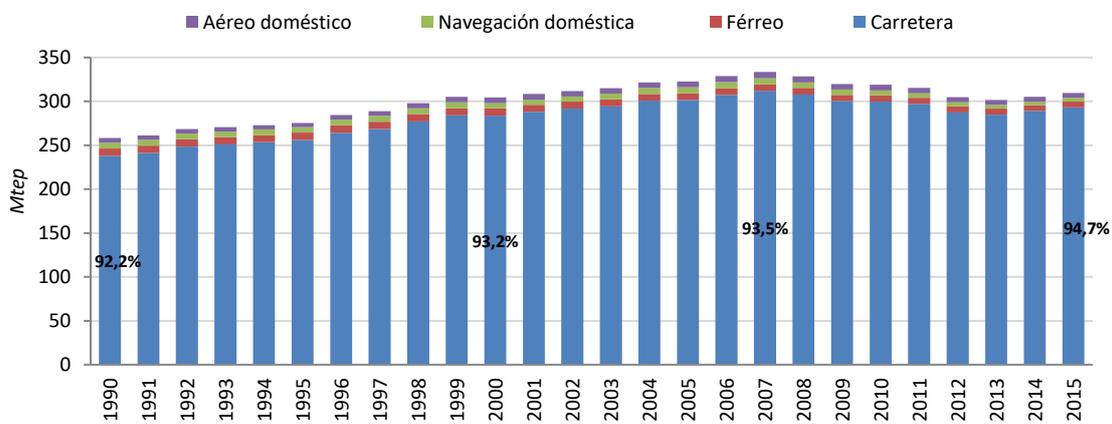
Los Estados Miembros de la UE tienen entre sus prioridades, reducir la dependencia del petróleo y la generación de contaminantes del aire y de GEI como retos para garantizar la sostenibilidad de sus sectores socioeconómicos, tanto por sus limitados recursos de petróleo propio, como por sus compromisos y ambiciosas metas en materia medioambiental a nivel de la UE.

Con el fin de reducir el impacto de las emisiones contaminantes, en la UE se han propuesto y ejecutado iniciativas en todos los sectores. Entre 1990 y 2009, se logró reducir una cuarta parte de las emisiones de GEI a nivel general, con excepción del sector del transporte, el cual incrementó casi un tercio sus emisiones en el mismo periodo [10]. Las emisiones de GEI durante ese periodo aumentaron principalmente debido al incremento en el tránsito de mercancías por Europa en camiones, los cuales, a pesar de solo representar el 3% del total del parque automotor en la UE, producen casi una cuarta parte de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el transporte por carretera [11]. Las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por el transporte

terrestre de mercancías aumentaron un 36% entre 1990 y 2010 [12], aumento que se detuvo en 2010 como consecuencia de la crisis económica europea iniciada entre 2008 y 2009. Sin embargo, algunas proyecciones sugieren que bajo esta perspectiva, sin intervención de los gobiernos, las emisiones de GEI producidas por los camiones se mantendrán, respecto a los niveles de 1990, alrededor de un 35% más altas tanto para el año 2030 como para el 2050 [13].

La distribución por tipología de transporte, tanto de pasajeros como de mercancías, ha estado dominada por el transporte por carretera. A pesar de las innovaciones y la reducción de costes en el transporte aéreo, apenas se han generado cambios importantes en la cuota de participación del transporte por carretera.

El transporte por carretera ha aumentado paulatinamente su contribución en el consumo energético cada año en la UE para operaciones domésticas, alcanzando una cifra del 94,7% en 2015, Figura I.6.

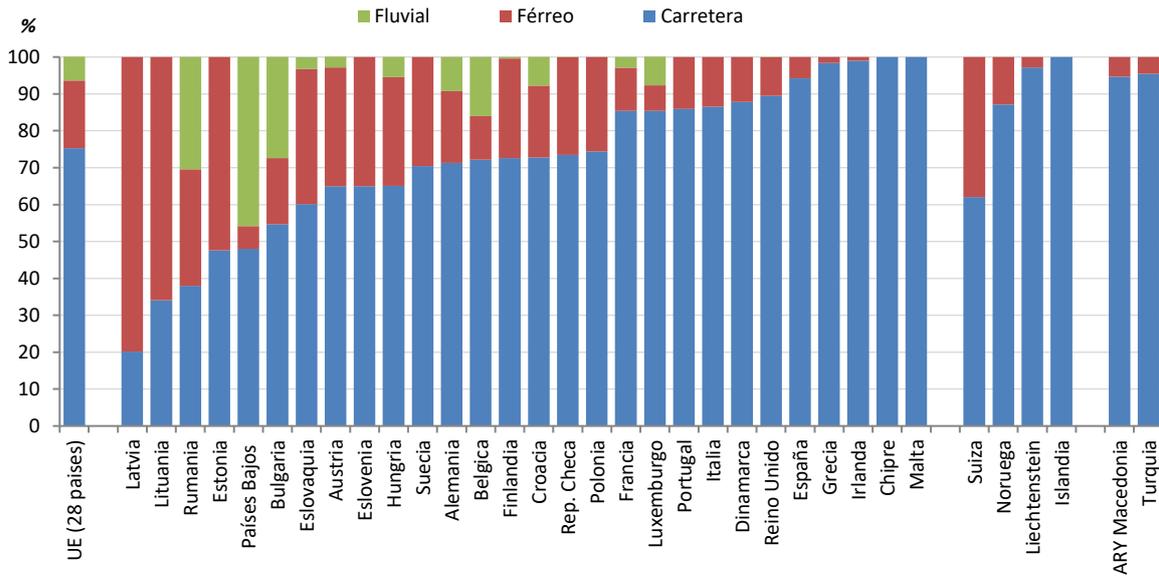


\* Excluyendo el transporte por tubería, el internacional marítimo y aéreo.

**Figura I.6. Consumo energético por el transporte interior en la UE.**  
 Datos: Eurostat [5]

Este tipo de transporte tuvo una reducción en cuanto a su consumo energético coincidiendo con el comienzo de la crisis económica. Entre 2008 y 2013 su consumo de energía disminuyó un 7,4%. Esta tendencia post-crisis es también presentada en los otros tipos de transporte. En conjunto, la demanda energética por el sector del transporte cayó cerca del 7,9% en este corto periodo. La aviación y la navegación doméstica mostraron las más altas caídas, del 24,3% y 26,1% respectivamente [5].

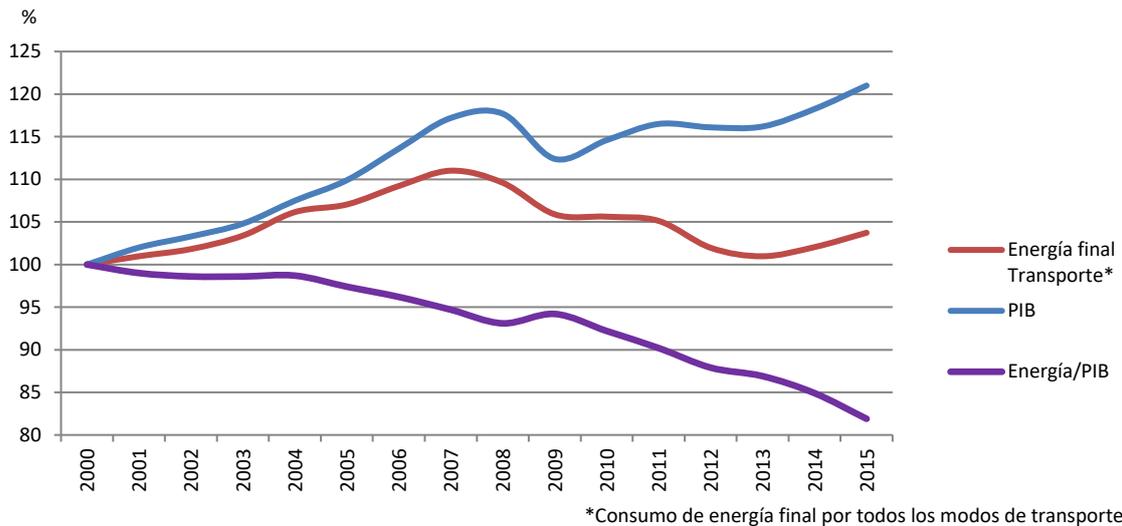
La proporción del total de toneladas-kilómetro (tkm) transportadas por carretera en la UE fue del 75,3% en el 2015, aunque este porcentaje fue muy variable entre países como puede verse en la Figura I.7. Esta variabilidad es resultado de las características geográficas de los territorios, que hacen más adecuado el uso de unos modos de transporte frente a otros, como en el caso de Los Países Bajos, país en el que por su disponibilidad de ríos y canales, cerca del 48% del total de tkm de mercancías se transportan por el modo fluvial.



**Figura I.7. Distribución de tkm de mercancía transportada en el interior de la UE, por modos y por países, 2015.**  
 Datos: Eurostat [14]

Los países miembros de la UE en 2004 y 2007 han presentado los mayores incrementos en la participación del transporte por carretera en el total del tráfico de mercancías al interior de la UE. Una razón es que la expansión e integración con el mercado europeo están altamente ligadas a la libre circulación de mercancías y personas, resultando en una demanda adicional que necesariamente debe ser cubierta casi en su totalidad por el modo de transporte por carretera al ser el medio más rápido y económico ya que no requiere en un principio costosas y demoradas inversiones en infraestructura como las que necesitarían los modos de transporte férreo y fluvial.

La relación entre el transporte de mercancías y el desarrollo económico se ha hecho más significativa tras la crisis financiera del 2008 en la UE. Durante el periodo pre-crisis, 2000-2007, tanto el crecimiento económico como el consumo de energía para el transporte estuvieron creciendo casi paralelamente en la UE. Sin embargo, el crecimiento económico, representado en Producto Interior Bruto (PIB), comenzó a frenarse entre el año 2007 y 2008 con el inicio de la crisis y cayó fuertemente en el siguiente año, solo con ligeras recuperaciones en los años posteriores. Por contra, la demanda de energía por parte del sector del transporte siguió cayendo después del año 2007 hasta el 2013, Figura I.8. Como las actividades del transporte, especialmente el transporte de mercancías, están estrechamente ligadas al crecimiento económico, parte de esta reducción puede ser explicada por el escaso desarrollo económico durante ese periodo, sumado a medidas de eficiencia energética para afrontar esta crisis económica. En los años posteriores a 2013 se ha evidenciado un importante aumento en el PIB, como también un incremento en el consumo energético por el sector del transporte, aunque en menor grado que el PIB, por lo que el índice de energía/PIB ha seguido decreciendo; esto último posiblemente por las medidas de eficiencia desarrolladas en el periodo de crisis económica, las cuales se habrían mantenido durante el periodo post-crisis en donde ha aumentado la cantidad de tkm movilizadas en la UE.



**Figura I.8. Evolución del consumo final de energía por el transporte respecto al PIB en la UE. (Índice 2000=100).**  
 Datos: Eurostat [15–17]

Sin desestimar los esfuerzos de la UE para reducir el impacto medioambiental y socioeconómico de las externalidades del sector, como los programas de seguridad y las restricciones de movilidad a vehículos diésel en zonas céntricas de las ciudades, es necesario incrementar otro tipo iniciativas para compensar el impacto del incremento del tráfico de mercancías en el caso de una acentuada recuperación económica, donde estas estrategias no deben enfocarse a restringir la movilidad, frenando el desarrollo económico, sino a presentar alternativas para el transporte de mercancías, facilitando el desarrollo de infraestructuras para el abastecimiento de combustibles alternativos, el desarrollo de la multimodalidad y en general, de herramientas que mejoren la eficiencia en la distribución de mercancías.

## 1.2. Estrategias para la sostenibilidad del transporte por carretera

Con el fin de reducir los altos niveles de emisiones de GEI generados por el sector del transporte, la mayoría de países firmantes del protocolo de Kioto han establecido objetivos tanto de reducción de emisiones como de uso de fuentes de energía de origen fósil, directamente relacionadas con las emisiones de ciertos GEI como el CO<sub>2</sub>.

Entre los objetivos más ambiciosos se encuentran los establecidos por la UE, anteriormente mencionados, de reducir, para el año 2050, las emisiones de GEI al 60% de los niveles de 1990 [8] y el consumo de productos derivados del petróleo al 70% de los niveles de 2008 [9]. Para el cumplimiento de estos objetivos se han planteado diversas estrategias como mejorar la eficiencia energética de los vehículos, el uso de combustibles alternativos, la multimodalidad, entre otras.

Sin embargo, las cifras de consumo y emisiones de GEI del sector no se están reduciendo en el grado esperado, debido principalmente a las dificultades para implantar medidas de eficiencia energética en el subsector del transporte de mercancías por carretera, en donde casi la totalidad de los vehículos son propulsados por diésel [18], combustible que además de generar

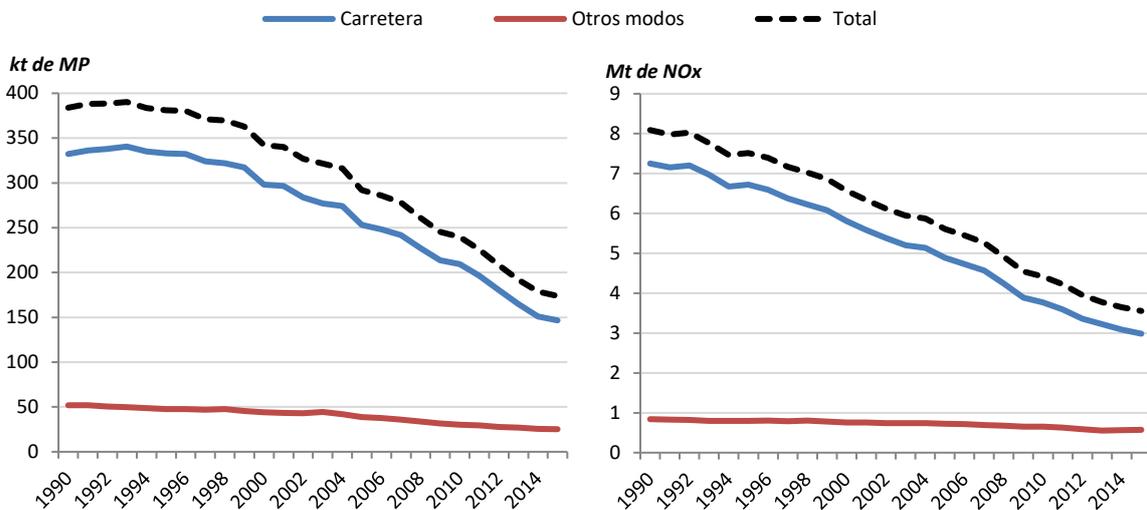
otros contaminantes preocupantes como los NO<sub>x</sub> y MP, tiene pocas alternativas que lo puedan reemplazar fácilmente.

Los vehículos diésel, gracias a su mayor eficiencia energética global frente a los de gasolina, han aumentado su cuota de mercado importantemente en los últimos años tanto para el transporte por carretera como el marítimo y fluvial, especialmente para el transporte de mercancías, abarcando casi el 100% del mercado de camiones para el transporte mercancías de larga distancia. Sin embargo, los motores diésel generan altas cantidades de emisiones nocivas como el MP y los NO<sub>x</sub>. El MP puede causar inflamación y trastornos pulmonares en las personas, además de otras muertes asociadas a problemas respiratorios y cardiovasculares [6,19]. Adicionalmente, los vehículos que funcionan tanto con diésel como gasolina, también producen gases tóxicos como los NO<sub>x</sub>, en donde el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) es un irritante pulmonar, generando enfermedades respiratorias [20]. Además, los NO<sub>x</sub> son precursores del ozono, el cual es un gas altamente reactivo que causa problemas respiratorios para los seres humanos y los animales. También el NO<sub>x</sub> está relacionado con la toxicidad para las plantas, produciendo daños en las hojas y defoliación, además de la formación de partículas y la acidificación, causando daños a los suelos y edificios [6].

En la UE, un factor que ha ralentizado la reducción significativa del consumo de diésel por distancia recorrida ha sido la implementación de las normas europeas Euro I-VI. Estas normas para el control de emisiones en vehículos, las cuales se introdujeron con la Directiva 88/77/EEC y comenzaron a regir a partir del año 1992 para vehículos con motores de servicio pesado con la norma Euro I, han ido reduciendo los límites de emisiones de los gases controlados como el CO, COV, NO<sub>x</sub> y MP con cada actualización de la norma, con el fin de que los fabricantes pudieran desarrollar motores más limpios de manera gradual. La última norma vigente, la Euro VI, fue anunciada en 2009 con la regulación 595, y posteriormente fueron anunciados los detalles técnicos con la regulación 582 de 2011, con fecha de entrada en vigencia de septiembre de 2014, teniendo los fabricantes aproximadamente 3 años para invertir en los desarrollos para cumplir con la exigente norma Euro VI.

A pesar de los avances conseguidos por los fabricantes de camiones para aumentar la eficiencia energética, como mejoras en la aerodinámica de los vehículos, aplicación de materiales ligeros, uso de lubricantes de baja viscosidad, inflado automático de llantas, etc., los sistemas necesarios para reducir las emisiones controladas por las normas Euro han afectado a la reducción en el consumo de combustible. Los fabricantes han concentrado esfuerzos para cumplir estas exigentes normas, modificando los motores e instalando dispositivos para el post tratamiento de los gases de escape, como válvulas de recirculación de gases de escape y filtros de partículas para reducir las emisiones de NO<sub>x</sub> y MP respectivamente, los cuales afectan la eficiencia de combustible [21–23]. En los últimos años algunos fabricantes han mostrado mejoras tecnológicas para cumplir las normas Euro VI usando sistemas de reducción catalítica selectiva usando urea para reducir las emisiones de NO<sub>x</sub>, sin afectar demasiado el consumo de combustible, obteniendo consumos de diésel hasta de 28 l/100 km, bajo óptimas condiciones de carreteras y conducción durante pruebas de eficiencia [24,25].

Aunque no se han conseguido avances significativos en la reducción de emisiones de GEI, los esfuerzos centrados en la reducción de emisiones nocivas para la salud como las de NOx y MP han mostrado buenos resultados, Figura I.9.



**Figura I.9. Evolución emisiones de MP y NOx en el sector del transporte en la UE.**  
 Datos: EEA [26,27]

A pesar de que durante los últimos 15 años el consumo de combustible por km recorrido en camiones de transporte de mercancías se haya prácticamente estancado en un rango de 28-35 l/100 km, estos vehículos si han aumentado su eficiencia en términos de tkm transportada. Años atrás, un camión consumía la misma cantidad de litros de combustible que uno similar en la actualidad, pero este último tiene mayor capacidad de carga, por lo que la energía consumida por tkm transportada es menor que hace 15 años, y por consiguiente, se producen menos emisiones de CO<sub>2</sub> [22,28].

Hasta el año 2007, cuando el tráfico de mercancías iba en aumento cada año, al igual que la capacidad de los camiones y una mejor administración logística, la eficiencia energética por tkm aumentaba cerca de un 1,1% cada año. Sin embargo, a partir de la recesión del 2008, la eficiencia del transporte de mercancías ha decaído debido a que los camiones ya no están desplazándose con altos factores de carga y, en algunos casos con volúmenes de cargas limitados [28].

### 1.2.1. Combustibles alternativos en el transporte por carretera

Entre las estrategias encaminadas a la reducción de emisiones de GEI y de consumo de derivados del petróleo, una de las más directas y que podría generar resultados más importantes es la implementación de combustibles alternativos, dados los limitados resultados obtenidos mediante medidas de eficiencia energética y optimización logística, áreas en donde hoy en día se pueden obtener mejoras muy poco significativas.

De acuerdo con lo observado en la Figura I.1, la principal fuente energética del sector sigue siendo el petróleo, participación que solo ha disminuido cerca del 2,2% entre 1973 y 2015. El consumo de carbón se ha anulado casi en su totalidad y la fracción reemplazada del petróleo

es debido a la introducción del gas natural (GN) y de fuentes renovables, como los biocarburantes.

A pesar de que para el transporte terrestre se han desarrollado tecnologías para reemplazar los combustibles de origen fósil, estas alternativas resultan tener mayor probabilidad de ser sostenibles en flotas de vehículos ligeros de uso urbano; mientras que para el transporte interurbano de mercancías, el uso de combustibles alternativos se encuentra obstaculizado por mayores problemas técnicos y económicos, como la baja autonomía de conducción, la falta de infraestructuras de aprovisionamiento y el largo o incierto periodo de retorno de la inversión para los propietarios de los camiones. Por consiguiente, se han planteado por muchos años, especialmente desde la crisis del petróleo de 1973, alternativas de combustibles rentables y más limpios para el sector del transporte. Existen combustibles como el hidrógeno, biocarburantes, GN, entre otros; que podrían reemplazar los combustibles tradicionales o convencionales como lo son el diésel y la gasolina.

El hidrógeno puede reducir significativamente las emisiones de GEI, ya que produce cero emisiones durante la operación del vehículo. Sin embargo, el problema para la introducción del hidrógeno hoy en día es el coste de producción, el cual se espera que puedan reducirse entre un 30% y 50% antes del año 2050 [29]. También el hidrógeno presenta una baja densidad energética, requiriendo ser altamente comprimido para lograr una autonomía aceptable [30].

En la actualidad, el principal problema que plantea el coche eléctrico está básicamente ligado a las baterías, las cuales necesitan mucho tiempo para recargarse, son pesadas, costosas y con durabilidad limitada. Por lo que por ahora, solamente es aplicable para uso urbano o para cortas distancias [18,23]. En cuanto al costo de las baterías, entre 2007 y 2015 se redujo cerca de un 14% anual [31], por lo que se espera que en los próximos años puedan generarse alternativas factibles para el transporte de mercancías, al menos para corta y media distancia.

Para el caso de los biocarburantes (bioetanol, biodiésel, biometanol y biohidrógeno) el principal problema ha sido la competencia con el uso del suelo dedicado a la producción de alimentos [29,32] y, recientemente, han aparecido evidencias sobre su impacto en la deforestación y en la liberación de grandes cantidades de CO<sub>2</sub> acumulado en turberas, durante la preparación de las tierras para cultivos energéticos como la palma de aceite [33]. Los combustibles sintéticos (líquidos y gaseosos a partir del carbón), tendrían alta disponibilidad. Sin embargo, los métodos que permiten que estos combustibles en su ciclo de vida no arrojen demasiadas emisiones, como es la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>, aumentan los costos del producto final. En un largo plazo, si se consiguen procesos de producción más eficientes, los combustibles gaseosos del carbón podrían usarse, siempre y cuando el número de vehículos impulsados por gas se haya incrementado considerablemente [34].

En la mayoría de los casos, existe un biocarburante equivalente para cada combustible fósil. Aunque producen casi idénticas emisiones durante su combustión, al menos las de CO<sub>2</sub>, el principal beneficio de los biocarburantes radica en su proceso de producción, siempre que

capturen el CO<sub>2</sub> presente en la atmosfera, lo que compensaría el liberado tras su combustión en los vehículos.

Algunos combustibles alternativos pueden funcionar en motores convencionales y utilizar la misma infraestructura de distribución usada por los combustibles tradicionales como el diésel o la gasolina. Los biocarburantes más usados actualmente son los FAME/FAEE (*fatty acid methyl/ethyl esters*), que son respectivamente, ésteres metílicos de ácidos grasos y ésteres etílicos de ácidos grasos, comúnmente llamado biodiésel [35]. El biodiésel en Europa es principalmente producido a partir de colza y soja, y su uso puede reducir, respecto al del diésel fósil, un 35% las emisiones GEI en su ciclo de vida. En cuanto a los aspectos económicos, producir FAME es viable siempre y cuando el precio del barril de petróleo sea mayor a 80 dólares, por lo que durante los últimos años no estarían siendo muy atractivas estas mezclas de biocarburantes [23].

Otros sustitutos para el diésel son los aceites vegetales hidrotratados (*Hydrotreated Vegetable Oil -HVO*), que pueden ser producidos a partir de las mismas fuentes de biomasa que se usan para producir el FAME. Sin embargo, los HVO son procesados mediante hidrogenación y no mediante esterificación, obteniendo un biodiésel más puro, que puede ser utilizado directamente en motores diésel modernos sin necesidad de mezclarlo con diésel fósil. De esta manera se podrían obtener potenciales reducciones de GEI en su ciclo vida entre el 40% y 60% [23]. A pesar de las ventajas sobre el FAME, el HVO no logrado una alta penetración en el mercado europeo, debido a sus altos costos de producción, aproximadamente un 20% superior al costo de producción de FAME [36].

En este ámbito, el conflicto con el uso directo e indirecto de los suelos que se menciona como limitante para el desarrollo de la mayoría de los biocarburantes de primera generación, ha incentivado la investigación y el desarrollo de biocarburantes de nueva generación que usen recursos a partir de residuos o productos naturales con poco o nulo valor económico. Por ejemplo, el BTL (*Biomass-to-Liquid*), combustible sintético con propiedades similares a las del diésel fósil, es producido a partir de fuentes lignocelulósicas [35], reduciendo emisiones de GEI entre el 60-90% en su ciclo de vida. Sin embargo, debido a sus altos costos de producción aún no ha logrado entrar al mercado. Otros biocarburantes, en este caso para mezclarse con la gasolina, son el ETBE (etil terbutil éter), el cual es un éter derivado del etanol, y el DME (dimetil éter) que puede ser producido a partir de materia lignocelulósica por hidrólisis [35]. Otros biocarburantes como los obtenidos a partir de algas, hasta el momento, no han conseguido una producción económicamente viable para iniciar su comercialización masiva [23].

El GN ha sido planteado como combustible alternativo por muchos gobiernos, debido a su disponibilidad a precios competitivos y a la existencia de tecnologías de aplicación maduras y ampliamente extendidas en todo el mundo, principalmente para su uso en forma comprimida en motores Otto [18,37]. Además, particularmente para vehículos de transporte de mercancías de larga distancia, el uso del gas natural en estado líquido o gas natural licuado (GNL) aparece en el mercado recientemente como una opción atractiva por el reducido peso y espacio que ocuparía a bordo el sistema de almacenamiento, debido a su alta densidad energética, siendo así un potencial combustible para este tipo de vehículos [38].

En resumen, el GN ha sido utilizado ampliamente en vehículos ligeros y pesados, motocarros (vehículos de tres ruedas), hasta en barcos, aviones y trenes. Existen tres factores principales que han motivado a los gobiernos a promover el gas natural vehicular: los beneficios medioambientales de reducir la contaminación del aire local; la disponibilidad del recurso y de infraestructura de transporte y distribución; y la reducción en la dependencia de petróleo importado [39].

El gas natural vehicular fue introducido en Italia en los años 1930, mientras Nueva Zelanda daba también pasos acelerados años después [40]. En otras regiones del mundo ha crecido el número de vehículos convertidos a GN luego de 1980, especialmente en Latinoamérica y en Asia, en donde el principal motivo ha sido el ahorro económico generado por el uso del GN propio, el cual resulta menos costoso que los combustibles derivados del petróleo. En algunos de esos países hasta el 20% de la totalidad del parque automotor funciona con GN [18]. En contraste, en Europa, a pesar de que en Italia existen vehículos funcionando con GN desde hace décadas, estos representan solamente el 1,1% de la totalidad del parque automotor registrado en ese país [41].

Puede decirse que en el uso del GN vehicular, principalmente en forma comprimida (GNC) y en vehículos ligeros y de uso urbano está ampliamente demostrado. No obstante, aun comprimido, su densidad energética sigue estando muy por debajo de la gasolina o el diésel por lo que para viajes de larga distancia resulta poco conveniente, ya que se necesitaría una estación de servicio de GNC al menos cada 100-150 km, algo difícil de implantar por la baja demanda de GN que existe en la actualidad [42].

La aplicación de GNC en vehículos de gran tonelaje está extendida, pero solo para operaciones locales, como por ejemplo en autobuses urbanos. La razón principal es la falta de infraestructura para el abastecimiento de combustible en vías interurbanas. Adicionalmente, el espacio requerido para el depósito de GNC le resta capacidad de carga al vehículo. En la práctica, solo se espera una penetración del GNC en el mercado de camiones del 2% a 3% para transporte de larga distancia y del 5% a 10% para distribución regional [23].

Ante estas premisas, puede afirmarse que el gas natural obtenido de fuentes renovables, conocido como biogás, podría reemplazar en su forma comprimida (BGC) al GNC. El biogás presenta un potencial de reducción de emisiones de GEI en su ciclo de vida superior al 60% respecto al diésel de origen fósil. Sin embargo, sin una gran producción de biogás no podría distribuirse fácilmente por las redes del GN [23].

El uso del gas en estado líquido, ya sea GNL de gas natural fósil o BGL de biogás, funciona igual que el GNC, pero debido a su tipo de almacenamiento (licuado en vez de comprimido), su densidad de almacenamiento energético aumenta, lo que se traduce en más kilómetros de autonomía con el mismo volumen de tanque de combustible, siendo de gran interés para los camiones de mercancías de largo recorrido [23]. Por esto, en los últimos años, se presenta el uso del gas natural almacenado en forma líquida como la solución a estos inconvenientes; el almacenamiento en estado líquido podría aumentar su capacidad energética 2,4 veces

comparado con el GNC a 200 bares, aumentando su autonomía considerablemente [43]. Sin embargo, para estos vehículos a GN, la mayor barrera es la falta de infraestructura de aprovisionamiento de combustible, por lo que sin intervención de los gobiernos, esta situación sería difícil de superar [23].

### **1.2.2. Impactos socioeconómicos del transporte**

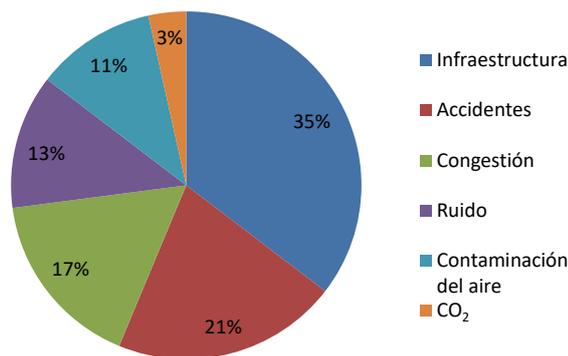
Para la implantación, evaluación y control de las estrategias encaminadas a la reducción de emisiones y dependencia del petróleo en el sector del transporte, en las últimas décadas se han llevado a cabo distintas iniciativas para el cálculo y proyección de emisiones específicas, con el fin de analizar el impacto de dichas medidas en el medioambiente. De manera concreta, estas iniciativas se han centrado en el análisis del ciclo de vida de los combustibles, es decir, además de contabilizar las emisiones durante la operación de los vehículos, algunas de ellas consideran las emisiones durante la extracción de materias primas, producción, transporte, almacenamiento y distribución de estos combustibles. Sin embargo, aún no se ha considerado de manera extendida el análisis de los impactos sociales y socioeconómicos que conllevan la implantación de estas medidas de reducción de impactos medioambientales.

Las actividades del sector del transporte, si bien son necesarias para el desarrollo socioeconómico de las naciones, integrando las economías y generando empleo directo e indirecto en los sectores relacionados con sus actividades, también generan externalidades que impactan de forma negativa tanto sobre el medioambiente como sobre la sociedad. Estas externalidades, tales como el ruido, vibraciones, congestión, ocupación del espacio público, accidentalidad, daños a edificios y monumentos, entre otras asociadas a la infraestructura como la alteración de ecosistemas y paisajes y la fragmentación de hábitats; se traducen en costos para la sociedad, que se ve obligada a invertir recursos para prevenir, reparar o mitigar dichos efectos.

Con relación a los impactos directos de la operación de vehículos concernientes a la comunidad, uno de los más notables es la accidentalidad. A pesar de reducirse la cifra de accidentes y el número de víctimas fatales, en la UE casi 26 000 personas perdieron la vida en el 2013 en accidentes de tráfico por carretera [6]. Sobre la base de los riesgos intrínsecos, el 13% de todas las muertes en accidentes de tráfico se puede atribuir a vehículos de transporte de mercancías. El número de personas heridas en accidentes con camiones involucrados es aproximadamente la mitad del número de muertes, lo que refleja la alta tasa de mortalidad en este tipo de accidentes. En función de los km recorridos por vehículo, los camiones son responsables del doble de muertes en comparación con las ocasionadas por coches de pasajeros, furgonetas y motocicletas [44].

Además de las víctimas ocasionadas directamente por los accidentes de tráfico por carretera, el ruido es otro problema que afecta la salud de la población, dando lugar a trastornos del sueño, enfermedades del corazón y en algunos casos la muerte. Anualmente, cerca de 21 000 infartos fatales y 110 000 casos de cardiopatía isquémica pueden ser asociados al ruido generados por camiones [44].

Estos problemas asociados a la actividad del transporte pueden ser cuantificables en términos monetarios. Estos costos externos asociados a los camiones, están compuestos en mayor grado por los costos de infraestructura, los accidentes de tráfico y la congestión. Los costos de la contaminación acústica y atmosférica son similares, mientras que, los costos asociados a las emisiones de CO<sub>2</sub> contribuyen en menor medida, Figura I.10. Los ingresos tributarios (principalmente de los impuestos al combustible y los peajes) cubren aproximadamente el 38% de los costes externos y de infraestructura de transporte de vehículos pesados, lo que implica que desde una perspectiva de equidad existe una brecha entre estos costes causados y los impuestos pagados [44].



**Figura I.10. Contribución de las diferentes categorías en los costos externos asociados a los camiones.**  
 Datos: CE Delf [44]

A pesar de lo anterior, hay que hacer hincapié que el sector del transporte crea gran cantidad de empleos directos, especialmente el transporte de mercancías por carretera, con más de 3 millones de empleos en la UE [45], sin contar los empleos indirectos generados en las empresas que participan como proveedores para el sector.

Las actividades desarrolladas en torno al sector del transporte, generan impactos socioeconómicos positivos como el empleo, el desarrollo tecnológico, pago de impuestos y *royalties*, inversiones en temas medioambientales y sociales, entre otros, pero también pueden ocasionar impactos negativos que por lo general no son considerados al momento de analizar el sector y cualquier medida implantada para mejorar la sostenibilidad de las operaciones del transporte. Entre los impactos más conocidos se encuentran los relacionados con la producción de combustibles, especialmente derivados de la extracción de petróleo, durante la cual pueden verse afectados muchos recursos naturales, como por ejemplo el agua, y también a las comunidades próximas [46]. Asimismo, otras estrategias a priori más sostenibles como la introducción de biocombustibles producidos a partir de cultivos agroalimentarios o energéticos, también pueden afectar a ciertos colectivos por temas de conflictos de tierras y la escasez o subida de precios de los alimentos [29,32]. Por otra parte, los procesos de fabricación de vehículos también podrían generar impactos relacionados con el agotamiento de recursos minerales y contaminación del agua. Mientras que, la construcción de infraestructuras como las carreteras, también podría generar impactos como la deforestación, fragmentación de ecosistemas, ocupación y permeabilidad del suelo, afectando el ciclo natural del agua, lo cual perjudicaría la fauna y flora del área ocupada y de las otras

áreas que dependieran del flujo de agua afectado por la obra [47]. Adicionalmente, también se podrían producir impactos socioeconómicos por estas construcciones, que además de generar ruido, MP y la posible deslocalización de familias, también pueden conducir a segregación espacial y social. Si bien las carreteras favorecen la conectividad de territorios y personas, también pueden provocar un fraccionamiento de las comunidades y una expansión de las actividades humanas por el territorio, requiriendo este alejamiento de un mayor uso de desplazamientos en vehículos motorizados [48].

Por todo lo anterior, la implantación de estrategias de sostenibilidad en el sector de transporte puede desencadenar en el fracaso del proyecto y repercutir negativamente en la sociedad si no se consideran los aspectos socioeconómicos relacionados con todos los eslabones de la cadena de suministro del sistema del transporte, entendido como la interrelación de los subsectores de la producción de combustibles, fabricación de vehículos y construcción. Por ejemplo, en el año 2000 la UE proyectó reemplazar el 20% de los combustibles convencionales usados en el transporte por carretera con el objetivo puesto en el año 2020 [49,50]. Para ese momento, se planeaba incentivar básicamente la introducción de los biocarburantes en el corto plazo, el GN en el medio y largo plazo y el hidrógeno en un muy largo plazo. Se esperaba entonces que los biocarburantes estuvieran participando al menos del 6% del total de energía utilizada por el transporte por carretera en el año 2010 [50]. Sin embargo, en la comunicación de la Comisión Europea COM(2013)17 “Energía Limpia para el Transporte: estrategia europea de combustibles alternativos”, se reportó que los biocarburantes solo alcanzaron a participar del 4,4% del consumo energético del transporte por carretera para el año 2010, debido a la fuerte competencia de los biocarburantes con la producción de alimentos y con el uso del suelo.

Esta situación provocó la cancelación de varios proyectos de producción y de inversiones y de una serie de incentivos a las empresas de transporte ya programados, generando pérdidas económicas en varios sectores y graves daños a comunidades en países en vías de desarrollo elegidos para la producción de dichos biocarburantes. Por tal motivo, la Comisión Europea recomendó incentivar la introducción de combustibles alternativos diferentes a estos biocarburantes, basados en la madurez de las tecnologías para cada aplicación, como la electricidad, el GNC y el hidrógeno para vehículos de uso urbano y el GNL para vehículos de transporte de mercancía de larga distancia [32].

Para evitar estas situaciones, es indispensable evaluar los impactos de cualquier estrategia destinada a la reducción de emisiones de GEI, tanto desde una perspectiva medioambiental como desde una perspectiva socioeconómica ya que pueden no ir en la misma dirección.

Muchos años atrás, el análisis de viabilidad de la implementación de una nueva tecnología o de cualquier estrategia encaminada al aumento de la eficiencia o ahorro energético se basaba primordialmente en aspectos técnicos y económicos, en donde el principal indicador era el retorno de la inversión, tanto en sectores públicos como privados. Sin embargo, en los últimos años se ha hecho necesario analizar el impacto social y medioambiental de la innovación tecnológica, con el fin de cumplir con la reglamentación vigente o para adelantarse a un futuro donde los países o empresas se beneficiarían en mayor medida de un ahorro en emisiones o la creación de empleos que de un ahorro económico inmediato. Esto debido básicamente a

beneficios directos como subvenciones, reducción de impuestos o gastos de operación, o también beneficios indirectos como mejora en la imagen corporativa y privilegios para operar en determinadas zonas geográficas, etc.

Tras la mencionada comunicación COM(2013)17, surgieron iniciativas como la Directiva 2014/94/EU [51] relativa a la implantación de infraestructuras para los combustibles alternativos para el transporte terrestre, y recomendaciones específicas para el transporte de mercancías por carretera como la comunicación COM(2014)285 “Estrategia para la reducción de consumo de combustible y emisiones de GEI en vehículos de servicio pesado” [13], en la que se plantean estrategias como el transporte intermodal de mercancías, legislación para la imposición de tasas al uso del servicio de transporte por carretera y la exigencia de informar sobre la huella de carbono que el transporte aporta a los productos.

En la UE, con el fin de que los Estados Miembros, instituciones públicas y privadas y las empresas de transporte puedan realizar reportes de huella de carbono y llevar a cabo inventarios de consumo energético y emisiones de la flota vehicular terrestre, se han desarrollado gran cantidad de iniciativas, entre metodologías, bases de datos y herramientas de cálculo en línea o software de uso libre o comercial. Sin embargo, actualmente ninguna de ellas incluye información y factores de emisión para camiones alimentados con combustibles alternativos como con GNL o hidrógeno, y solo algunas incluyen GNC, ya que no se cuenta con una aceptable base de datos que garantice resultados precisos y confiables a los usuarios. Por esto, si la presencia de vehículos alimentados con combustibles alternativos aumenta significativamente en las flotas de transporte de mercancías por Europa, se evidenciaría un vacío en los inventarios de emisiones exigidos por la legislación europea y las empresas también tendrían dificultades para calcular la huella de carbono aportada a los productos transportados en estos camiones.

Muchas de las iniciativas de contabilidad de emisiones que existen en el sector se basan en la norma EN-16258:2012 “Metodología para el cálculo y la declaración del consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero en los servicios de transporte (transporte de mercancías y de pasajeros)” la cual limita el reporte de las emisiones de GEI y consumo de energía al análisis Pozo-a-Ruedas (*Well-to-Wheels- WTW*) del combustible. Este análisis WTW de los combustibles corresponde a la suma de los impactos del análisis Pozo-a-Tanque (*Well-to-Tank- WTT*) y el análisis Tanque a Ruedas (*Tank-to-Wheels- TTW*), es decir, incluye los impactos generados por el uso de la energía en el vehículo (TTW), más los impactos de la extracción de la materia prima, transporte, transformación y distribución a la estación de servicio del combustible (WTT). Este análisis WTW deja fuera el aporte al ciclo de vida de los vehículos y de la infraestructura por considerarse poco relevantes respecto a las cifras totales de emisiones de GEI; aproximadamente el 80% de estas emisiones de GEI en el ciclo de vida de un camión o una locomotora son generadas por el uso de combustibles [52,53]. Sin embargo, si se tienen en cuenta otro tipo de emisiones, los procesos del ciclo de vida de la fabricación de los vehículos y construcción de infraestructura tienen una presencia significativa. Por ejemplo, el total de emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y MP del sistema del transporte de mercancías por carretera en su ciclo de vida, es 3 veces superior frente a las emitidas solo por el uso de combustibles [53]. De igual manera, si se considera el impacto social y socioeconómico, la relevancia de estos procesos es más que evidente, por lo que no deberían ser descartados.

### **1.3. Justificación y objetivos de la tesis**

De acuerdo con lo expuesto en la anterior sección, el sector del transporte, y especialmente el transporte de mercancías por carretera, están lejos de reducir de una forma significativa sus emisiones contaminantes como los GEI, dada su alta dependencia de productos derivados del petróleo y su indispensabilidad para la estabilidad e impulso de la economía de los países. Ante estas consideraciones, entre las diversas estrategias para la reducción del consumo energético y emisiones de este subsector no deberían de considerarse en un futuro inmediato las relacionadas con la restricción drástica de las operaciones de transporte de mercancías por carretera, dado que podrían frenar el desarrollo económico en el corto y medio plazo.

En este sentido, las estrategias para la promoción de la sostenibilidad del transporte de mercancías por carretera deberían de plantearse a través de la implantación de desarrollos tecnológicos en los vehículos, mejores carreteras, plataformas logísticas y el uso de combustibles alternativos. Todas estas estrategias, encaminadas a la mejora de la eficiencia energética y reducción de emisiones por cada tkm transportada, deben ser evaluadas de manera integral, con el fin de garantizar la sostenibilidad económica, medioambiental y social de las empresas que opten por implantar estas medidas eco innovadoras, de los subsectores involucrados en la cadena de valor del sistema del transporte y en definitiva de toda la sociedad.

Por lo anterior, el objetivo general de esta tesis doctoral es desarrollar y aplicar metodologías innovadoras para la evaluación híbrida e integrada de estrategias de sostenibilidad del transporte de mercancías, basado en el análisis del ciclo de vida medioambiental, social y socioeconómico de los componentes claves del sistema del transporte: combustibles, vehículos e infraestructura.

Para la consecución de los avances metodológicos propuestos, se profundiza en el diseño metodológico para el análisis de ciclo de vida medioambiental (ACV) del sistema integrado del transporte y en el desarrollo de una nueva metodología para el análisis social y socioeconómico del ciclo de vida (ASCV). Al mismo tiempo, con el desarrollo de los procedimientos para la elaboración de cada fase del análisis del ciclo de vida, se identifican los métodos y fuentes de información más apropiados para realizar los diferentes análisis de inventario en cada una de las metodologías presentadas.

En esta tesis se pretende asimismo aplicar las metodologías desarrolladas a diferentes casos a estudio, seleccionados en países con diversos contextos geográficos, socioeconómicos y culturales, con el fin de ilustrar la utilidad de estas herramientas para la evaluación integral de un sistema del transporte.

A partir de de la identificación de los aspectos más relevantes y las limitaciones de las metodologías, se alcanza una contribución añadida a través del desarrollo de una metodología simplificada de toma de decisiones para la evaluación de la sostenibilidad de alternativas, considerando el impacto del ciclo de vida de cada componente del sistema del transporte.

Del mismo modo, se identifican los aspectos críticos en cada uno de los procesos relacionados con los servicios de transporte de mercancías, con el fin de establecer mecanismos para

mejorar de manera global el desempeño de las empresas del sector y de sus proveedores directos e indirectos, enfocados en los aspectos medioambientales, sociales y socioeconómicos.

Mediante la descripción de las metodologías desarrolladas y su aplicación a los diferentes casos de estudio, en esta tesis se pretende contribuir especialmente en la discusión teórico-práctica de los análisis sociales y socioeconómicos del ciclo de vida de los productos y servicios. Además, se espera avanzar en el desarrollo y aplicación de modelos que permitan hibridar los resultados individuales de los análisis de ciclo de vida medioambientales, económicos y sociales de procesos integrados con el fin de evaluar de una manera simplificada la sostenibilidad de un producto o servicio, en concreto en esta tesis de un servicio de transporte de mercancías.

En resumen, las contribuciones se centran en ampliar las perspectivas sobre la forma de evaluar los servicios tanto de transporte de mercancías como de pasajeros, al evidenciar los potenciales impactos, negativos y positivos, relacionados con cada eslabón de la cadena de valor de los sistemas actuales de transporte.

Adicionalmente, en esta tesis se quiere demostrar cómo en las evaluaciones de proyectos que se basan principalmente en indicadores de tipo técnico, económico, medioambiental y social, es importante considerar las opiniones de los diferentes grupos de interés involucrados, las cuales, además de prevenir sobre el desempeño que tendría la alternativa en cada aspecto evaluado, contribuyen en la definición de escenarios e indicadores para apoyar la toma de decisiones mediante resultados de tipo cuantitativo, que facilitarían la comparabilidad del potencial éxito de cada alternativa en un mercado dinámico como el de las tecnologías para el transporte.

#### **1.4. Contenido de la tesis**

El presente trabajo se ha estructurado en seis capítulos. En el Capítulo I, se realiza una descripción de la situación actual y de la evolución del sector del transporte a nivel global y especialmente en la UE, dado que es la región para la cual se cuentan con datos estadísticos más fiables y actualizados y que pueden ser usados como una fotografía del sector a nivel global por presentar tendencias similares en cuanto a las fuentes de energía utilizadas, participación en cada subsector y las externalidades generadas por el sistema del transporte. Se realiza también una descripción del subsector del transporte de mercancías por carretera y de las alternativas disponibles para reemplazar el diésel fósil como principal fuente de energía en las operaciones de media y larga distancia. Posteriormente, se presenta la justificación y los objetivos buscados con el desarrollo de este trabajo.

En el Capítulo II, se presenta el estado del arte de las iniciativas creadas para el análisis de la sostenibilidad del transporte por carretera, como legislación para el control de emisiones y herramientas o metodologías para el cálculo de los impactos medioambientales de la operación del sector. En este capítulo, se presentan ejemplos de la aplicación de las metodologías del análisis de ciclo de vida medioambiental, social y socioeconómico y de costes para la evaluación del transporte por carretera, incluyendo, además de la operación de vehículos, estudios para la producción de combustibles, fabricación de vehículos y

construcción de carreteras. Adicionalmente, se realiza una revisión de los estudios realizados hasta la fecha para análisis de ciclo de vida híbridos e integrados, estableciendo al final las oportunidades del uso de estas metodologías de análisis de ciclo de vida para evaluar las estrategias de sostenibilidad en el transporte de mercancías por carretera.

En el Capítulo III, se desarrolla una metodología basada en ACV para la evaluación integral del servicio de transporte de mercancías por carretera, es decir, considerando además de la operación del vehículo, los procesos asociados al ciclo de vida de los combustibles, de los vehículos e infraestructura. En este capítulo se diseña el enfoque metodológico sobre cómo abordar la definición y alcance del estudio, se describen los métodos para el análisis de inventario para cada uno de los procesos del sistema del transporte, se identifican las fuentes de información más apropiadas para garantizar la disponibilidad, exactitud, exhaustividad y transparencia de los datos y se describen y desarrollan los métodos de evaluación de impactos medioambientales y socioeconómicos. De las metodologías desarrolladas en este capítulo, se hace mayor énfasis en la descripción de los métodos de recopilación de información y evaluación de impactos del ASCV, dado el aporte a esta área del conocimiento poco estudiada.

En el Capítulo IV, se aplican las metodologías de análisis de ciclo de vida desarrolladas a tres sistemas de transporte diferentes desde el punto de vista geográfico, socioeconómico y cultural, localizados en Colombia, Malasia y España. Con el fin de obtener resultados y conclusiones diversas que permitan realizar análisis profundos sobre la utilidad de las metodologías, en primer lugar, se aplica la metodología de ACV para el servicio de transporte de mercancías para cada contexto: un trayecto montañoso en Colombia, llano en Malasia y ondulado en España. Posteriormente, se aplica la metodología de ASCV a las empresas de transporte seleccionadas en cada país, incluyendo las involucradas en la cadena de suministro del servicio de transporte de mercancías evaluado. Aunque cada caso estudiado no puede ser comparable con los demás, dados los diferentes contextos en que se ejecutan, es presentado un análisis de los resultados relativos con el fin de obtener conclusiones acerca de la influencia del contexto y del nivel de desarrollo de cada uno de los componentes del sistema en el impacto medioambiental, social y socioeconómico asociados al servicio de transporte de mercancías en cada país evaluado.

En el Capítulo V, se presenta la metodología simplificada para la evaluación de la sostenibilidad de estrategias de optimización de los servicios de transporte de mercancías. Mediante esta metodología se integra la evaluación de los tres componentes del sistema de transporte y se hibridan los resultados para las tres dimensiones de la sostenibilidad, obteniéndose un índice de sostenibilidad para cada alternativa evaluada en diferentes escenarios considerados. La metodología, basado en un método de decisión multi-criterio, busca realizar un análisis exhaustivo para cada alternativa de manera simplificada, a partir de un análisis de inventario enfocado en las categorías de impacto más relevantes para los grupos de interés involucrados en cada caso evaluado, considerando variables del mercado en los indicadores seleccionados.

Por último, en el Capítulo VI, se realiza una síntesis del presente trabajo, en donde se resumen las principales conclusiones de cada capítulo y las principales aportaciones de las metodologías desarrolladas y de los resultados de los casos de estudio, así como las perspectivas y líneas de investigación a seguir en los diferentes aspectos abordados en esta tesis.



## CAPÍTULO II.

# MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD DEL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS POR CARRETERA

A pesar de que el desarrollo sostenible, definido<sup>1</sup> en el informe “Nuestro Futuro Común” (Informe Brundtland) de la Comisión Mundial sobre Medioambiente y Desarrollo en 1987 [54] y abordado oficialmente en la conferencia de las Naciones Unidas de Rio de Janeiro en 1992 [55], se considera un tema de interés desde los años 80, el sector del transporte ha sido de los últimos en desarrollar iniciativas relevantes encaminadas a optimizar sus operaciones desde la perspectiva medioambiental.

No obstante, en la UE, la Comisión Europea ya reconocía en 1995 su preocupación por los problemas medioambientales y sociales generados por la actividad del transporte por carretera (congestión, accidentes, contaminación del aire, ruido, etc.) y la necesidad de ejecutar planes para mitigar su crecimiento insostenible sugiriendo, entre otros, la internalización de los costes externos, el establecimiento de políticas de cobros a los usuarios o a las empresas de transporte (impuestos, peajes diferenciados, multas, etc.) o la promoción de la intermodalidad con el transporte férreo y el fluvial [56] que resulta en una mejora tanto en las emisiones como en el resto de externalidades negativas que genera el transporte [57,58].

No obstante, podemos afirmar que el sector del transporte de mercancías por carretera ha estado más preocupado en minimizar tiempos y costes de su actividad que por la drástica disminución de su impacto medioambiental. Así, los modelos de enrutamiento de vehículos desarrollados desde los años 50 [9] han sido aplicados para la optimización del transporte de mercancías por cientos de compañías que incluso han desarrollado sus propios algoritmos matemáticos basados en las variables específicas que limitan la operación de sus entregas o recogidas dependiendo los tipos de productos, de clientes, tipo de flota, situación geográfica, etc. [10]. Estas mejoras han conllevado, sin ser su principal objetivo, en un ahorro de combustible por tkm transportada, y en una reducción de los impactos ambientales de la actividad. En este ámbito, hay que añadir que la incorporación de servicios intermodales a sus operaciones, conllevó recientemente la ventaja competitiva basada en los beneficios

---

<sup>1</sup> Desarrollo Sostenible: “garantizar las necesidades del presente sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” [54])

medioambientales en las empresas de mayor tamaño, menos damnificadas por la recesión económica [59].

En Europa, la reducción de los impactos medioambientales del transporte, ha consistido históricamente en limitar mediante las normas Euro las emisiones de contaminantes atmosféricos: NO<sub>x</sub>, CO, COV y MP, esta última en especial para vehículos diésel. Estas normas han sido establecidas desde 1992 bajo una serie de Directivas europeas, que han ido incorporando cada vez límites más estrictos sobre todo dirigidas a vehículos nuevos que entran en circulación en territorio europeo. Las normas para vehículos ligeros (Euro 1 a 6) tuvieron su origen en la Directiva base 70/220/CEE [60], hasta que en 2007 fue reemplazada por el reglamento (CE) 715/2007 (Euro 5/6) [61]. Como puede verse en la Tabla II.1, para vehículos pesados (Euro I a VI), la Directiva base fue la 88/77/CEE [62], que fue sometida a varias modificaciones hasta ser sustituida por el reglamento (CE) 595/2009 [63].

**Tabla II.1. Normativa para el control de emisiones procedentes de vehículos pesados de motor diésel [64]**

| Norma    | Año introducción | Legislación                                      |
|----------|------------------|--|
| Euro I   | 1992             | Directiva 91/542/CEE [65]                        |
| Euro II  | 1996             | Directiva 91/542/CEE [65]                        |
| Euro III | 2000             | Directiva 1999/96/CE [66]                        |
| Euro IV  | 2005             | Directiva 1999/96/CE y Directiva 2005/55/CE [67] |
| Euro V   | 2008             | Directiva 1999/96/CE y Directiva 2005/55/CE [67] |
| Euro VI  | 2013             | Reglamento (CE) 595/2009 [63]                    |

La norma Euro VI es comparable en cuanto a restricciones con la normativa de los Estados Unidos EPA2010, que comenzó a implantarse casi 3 años antes que la Euro VI en Europa, Tabla II.2.

**Tabla II.2. Normativa sobre emisiones de vehículos diésel pesados en los Estados Unidos y la UE [68]**

| Normas         | 1994     | 1995 | 1996    | 1997     | 1998 | 1999     | 2000 | 2001     | 2002 | 2003    | 2004 | 2005     | 2006 | 2007     | 2008    | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|----------------|----------|------|---------|----------|------|----------|------|----------|------|---------|------|----------|------|----------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Estados unidos | EPA 1994 |      |         | EPA 1998 |      |          |      | EPA 2004 |      |         |      | EPA 2007 |      | EPA 2010 |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Unión Europea  | Euro I   |      | Euro II |          |      | Euro III |      |          |      | Euro IV |      | Euro V   |      |          | Euro VI |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

En el resto de países, la normativa existente para el control de emisiones contaminantes se basa casi de forma general en las normas Euro (I-VI), la EPA de los Estados Unidos o la normativa japonesa, tomando directamente los valores establecidos para la norma específica adoptada para cada país o referenciando valores límite de diferentes normas Euro o EPA. La descripción de las diferentes actuaciones legislativas para el control de emisiones contaminantes en Colombia y Malasia, países seleccionados como casos a estudio, es presentada en los Anexos A.1 y A.2.

En el caso europeo, los vehículos que ya se encuentran en circulación, son sometidos a vigilancia y control periódico de sus emisiones mediante la inspección técnica vehicular (ITV). Para el caso de los vehículos diésel, se mide solamente la opacidad de los gases en unidades de coeficiente de absorción de luz (K) expresado en m<sup>-1</sup>, mientras que, para los vehículos a gasolina, se mide el monóxido de carbono (CO) y el valor del coeficiente lambda, el cual indica la proporción de oxígeno residual de la combustión en los gases de escape. Actualmente, de

acuerdo con la Directiva 2010/48/UE [69] la medida de opacidad de los gases de escape de los vehículos diésel y la medida de CO y lambda de vehículos a gasolina no debe ser superior al valor registrado en la placa de cada vehículo dispuesta por el fabricante [70] y en su defecto a los valores límite establecidos, Tabla II.3.

**Tabla II.3. Límites de opacidad para vehículos diésel permisibles en Europa [71]**

| Año modelo         | Tipo motor    | Coefficiente de absorción (m <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|---------------|--|
| 1980 y anterior    | N/A           | Sin límites                                  |
| 1980-2008          | Atmosférico   | 2,5  |
|                    | Turbo         | 3,0  |
| 2008 y posteriores | Euro 4-5/IV-V | 1,5  |
|                    | Euro 6/VI     | 0,7  |

En cuanto a las emisiones de GEI, la Decisión 93/389/CEE [72], previa al Protocolo de Kioto, establece un mecanismo de seguimiento de las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> y otros GEI que no habían sido regulados en 1987 por el Protocolo de Montreal. Esta Decisión dispuso que los Estados Miembros de la UE elaborarían, publicarían y aplicarían programas nacionales de reducción de sus emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub>, para contribuir a la estabilización para el año 2000 de las emisiones de CO<sub>2</sub> al nivel del año 1990 en todo su territorio. Concretamente, para el sector del transporte, a partir de las Directivas 70/156/CEE [73], 80/1268/CEE [74], 93/116/CE [75] y la 2004/3/CE [76], se desarrollaron medidas destinadas fundamentalmente al establecimiento de un modelo armonizado para la medición e información de los consumos de combustible y de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos, con el fin de obtener un certificado homologable para poder ser vendidos, matriculados y puestos en circulación en cualquier país europeo, sin tener cabida cualquier tipo de restricción por los niveles de contaminación de tuvieran.

Otra de las iniciativas más conocidas fue la Directiva sobre etiquetado de automóviles 1999/94/CE [77], relativa a la información sobre el consumo de combustible y sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> facilitada en la comercialización de turismos nuevos. Con esta normativa, que tampoco establecía restricciones o límites para las emisiones, se esperaba que la información en las etiquetas influyera en los consumidores en la compra de los vehículos más eficientes, impulsando así a los fabricantes a tomar medidas para reducir el consumo de sus vehículos [78].

Hasta 2007 los únicos límites de emisiones de CO<sub>2</sub> para los fabricantes de vehículos eran los establecidos en el acuerdo voluntario de la Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles (ACEA) de 1998. Posteriormente, con recomendación de la Comisión Europea sobre la necesidad de establecer límites obligatorios para las emisiones de CO<sub>2</sub> en vehículos nuevos con la COM(2007)19 [79], el Parlamento y el Consejo Europeo estableció límites de emisiones de CO<sub>2</sub> con cumplimiento a partir del 2015 para los nuevos vehículos ligeros de pasajeros en el reglamento CE/443/2009 [80]. Para vehículos comerciales ligeros (furgonetas) en el reglamento UE/510/2011 [81] los límites para el 2015 serían de 175 g CO<sub>2</sub>/km, mientras que para el 2020 emitirán máximo 147 g CO<sub>2</sub>/km, límites que ya fueron mejorados en el 2013 por los fabricantes.

En el caso de los vehículos pesados, la primera iniciativa para combatir estas emisiones fue adoptada con la COM(2014)285 “Estrategia para reducir el consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub> en vehículos pesados” [13]. En la serie de documentos que acompañan a esta comunicación, se pone de manifiesto la ausencia de límites o de control de la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por los vehículos pesados, tal y como como se establecen para los vehículos ligeros, debido a la heterogeneidad de la gama de vehículos pesados, que en muchas ocasiones son fabricados ad-hoc para los transportistas. En tal sentido cabe añadir que no se dispone hasta la fecha de normas comunes y reconocidas internacionalmente para medir las emisiones de toda la gama de vehículos pesados, por lo que la información de partida para establecer una regulación para este subsector del transporte por carretera resulta insuficiente [82]. En esta línea se ha propuesto recientemente crear un sistema de vigilancia para los vehículos pesados en la UE a través de un reglamento que se espera que se publique en el 2019 y que plantea que los fabricantes informen con datos precisos de las emisiones de CO<sub>2</sub> de sus camiones de nueva fabricación, con el fin de recopilar información que permita en un futuro establecer límites a sus emisiones de una manera idónea y uniforme.

Dada esta situación, podemos afirmar que la legislación para el control de las emisiones de CO<sub>2</sub> en los vehículos pesados llegaría con retraso en Europa en comparación con Japón que introdujo su legislación en 2007, los Estados Unidos en 2011, Canadá en 2012 y últimamente China [13,82]. No obstante, cabe destacar que de forma paralela existen estrategias para reducir la intensidad de GEI en el ciclo de vida de los combustibles usados en el transporte por carretera apoyado en la Directiva sobre Calidad del Combustible 2009/30/CE [83], que fija como objetivo para el año 2020 reducir la intensidad de GEI en un 10% por unidad de energía del combustible. Esta Directiva obliga a los productores reducir al menos el 6% los GEI en el ciclo de vida de los combustibles fósiles usados en el transporte por carretera en comparación con el nivel de emisiones de 2010, mediante el uso de combustibles alternativos y métodos de producción más eficientes.

A pesar de la ausencia de medidas de control de las emisiones de CO<sub>2</sub> durante la operación de los vehículos, el sector del transporte y, en concreto, el transporte de mercancías, se ha visto afectado de forma indirecta en las últimas décadas por la adopción de normas voluntarias para la contabilización de estas emisiones y de consumo de energía en otros sectores como consecuencia de su aporte a la huella de carbono en el ciclo de vida de la mayoría de productos, bienes o servicios. La huella de carbono fue definida por primera vez en literatura científica por Høgevold en 2003 [84], para contabilizar los GEI de acuerdo con los indicadores del *Global Warming Potential (GWP)*. El cálculo de esta huella se ha hecho popular a partir de la entrada en vigor de la Directiva 2003/87/CE [85] que requería un reporte obligatorio de las emisiones de GEI por parte de las empresas de los subsectores energéticos e industriales con mayor uso de energía, y que eran responsables del 45% del total de emisiones de GEI. Las empresas de los sectores difusos<sup>2</sup>, no incluidos hasta 2009 en el Esquema de Comercio de Emisiones (ECE) [86], comenzaron a interesarse en su huella de carbono, debido a los beneficios que podía traer su medición a su organización y a sus productos como, por ejemplo, un mayor valor de mercado, un aumento de valor de la marca, una mejora de la reputación

---

<sup>2</sup> Sectores difusos: sectores cuyas fuentes de emisión están poco concentradas, dificultando el control y reducción de emisiones. Los sectores difusos son el de transporte, agrario, comercial e institucional y de gestión de residuos.

frente a los clientes, unas primas de seguro reducidas, así como una mejora de las calificaciones de crédito [87].

Esto originó el desarrollo de múltiples esquemas y metodologías de aplicación voluntaria, que no seguían una guía estandarizada, tomando diferentes alcances y límites del sistema, metodologías y factores de emisión propios, lo que daba lugar a sesgos en la información reportada. Como respuesta a la búsqueda de un método consistente y aceptado ampliamente, que sirviera para la comparabilidad de los resultados entre empresas así como para su aceptación y el aumento de la confianza por parte de los consumidores, surgieron normas específicas en varios países, como las conocidas normas de la Organización Internacional de Normalización (ISO- por sus siglas en inglés) como la ISO 14067 que detalla los principios y el marco de requisitos para la cuantificación de la huella de carbono de los productos, y la ISO 14064 para la huella de carbono en las organizaciones. Para las metodologías relacionadas con la huella de carbono de producto, el enfoque del ciclo de vida es la base común, la norma ISO 14044:2006 [88] se considera el documento de referencia básico.

Para la huella de carbono de las empresas, la orientación metodológica existente es menos avanzada y prescriptiva que para la huella de carbono del producto, y sólo algunas de estas metodologías se basan en un enfoque de ciclo de vida. Entre las metodologías para la huella de carbono de producto que se basan en la ISO 14044:2006, diferentes a la ISO 14067, se encuentra la PAS 2050 del Reino Unido, que especifica los requisitos para la evaluación de las emisiones de GEI asociados al ciclo de vida de bienes y servicios (productos); el repositorio de buenas prácticas BPX 30-323, el cual fue preparado bajo la ley francesa “Grenelle I”, que establece el prospecto de regulación para la comunicación de la información ambiental relacionada con el producto; la *International Reference Life Cycle Data System* (ILCD); el *Greenhouse Gas Protocol Corporate Standard (GHG Protocol)*, desarrollado por el *World Resources Institute* y *World Business Council for Sustainable Development* [89].

Todas estas metodologías han evolucionado también hacia el cálculo de la huella ambiental del producto y de las organizaciones, ampliando el análisis a otros impactos diferentes al cambio climático; entre los cuales se encuentran el agotamiento de la capa de ozono, la toxicidad humana, la acidificación, la eutrofización terrestre y acuática, el agotamiento del agua y de los minerales, entre otros. Asimismo, han proliferado métodos e iniciativas diferentes para evaluar y comunicar este comportamiento ambiental de los productos y las organizaciones, generando confusión y desconfianza sobre estos informes. Por esta razón, la Comisión Europea ha publicado una guía para la elaboración de la “Huella Ambiental de Producto” y otra guía para la “Huella Ambiental de las Organizaciones”, basadas también en las mencionadas metodologías con enfoque de ciclo de vida, en la Recomendación 2013/179/UE [90] sobre el uso de métodos comunes para medir y comunicar el comportamiento ambiental de los productos y las organizaciones a lo largo de su ciclo de vida.

En cuanto a los impactos sociales, cabe mencionar que hasta la fecha no se han establecido normativas o metodologías oficiales o internacionalmente aceptadas para la medición y análisis de los impactos de tipo social. No obstante, la UE ha mostrado su interés en que se midan de forma sistemática los impactos sociales asociados al transporte como por ejemplo en

el caso de la accidentalidad, estableciendo en 2011 el objetivo de reducir casi a cero el número de víctimas fatales en accidentes de tráfico para el 2050 [91]. Asimismo, la UE ha financiado y contribuido al desarrollo de iniciativas como la financiación del proyecto *ExternE* para la contabilización y monetización de las externalidades sociales del uso de la energía en su ciclo de vida [92], del que se derivan para el sector del transporte los proyectos UNITE y RECORDIT para establecer políticas de tarificación del uso de infraestructura del con el fin de compensar los externalidades sociales y medioambientales [93].

Como se especifica posteriormente en esta tesis, la mayoría de las iniciativas del sector del transporte para la medición y el control sus impactos han seguido la filosofía desarrollada previamente por otras industrias basada en el análisis del ciclo de vida.

## 2.1. Desarrollo del análisis ambiental del ciclo de vida del sector

El ACV es una técnica que aborda los impactos de todos los procesos existentes a lo largo del ciclo de vida de un producto, bien o servicio “desde la cuna a la tumba”. El término de ACV, fue introducido a comienzos de los años 90 en una serie de talleres y seminarios organizados por la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC, por sus siglas en inglés), publicando en 1993 el informe *Guidelines for Life-Cycle Assessment: A Code of Practice* [94], en el que se describía una metodología de ACV que básicamente constaba de 4 componentes: Objetivo y alcance, inventario, análisis del impacto y análisis de mejoras [95].

Posteriormente, el SETAC publicó en 1996 el informe *Towards a Methodology for Life-Cycle Impact Assessment* [96], el cual sirvió de base para la elaboración de las primeras normas internacionales. La técnica de ACV fue descrita como una norma internacional por la Organización Internacional de Normalización con su norma ISO 14040 en 1997 [97], en donde se describen los principios y el marco de referencia para los estudios de ACV, y complementada con las normas ISO 14041:1998, ISO 14042:2000 y la ISO 14043:2000. Esta serie de normas han sido remplazadas por la ISO 14040:2006 [98] y la ISO 14044:2006 [88], en la que se detallan los requerimientos y directrices para llevar a cabo un correcto ACV

Por su carácter general, esta metodología puede ser aplicada tanto a productos como a organizaciones, siendo la base para el desarrollo de modelos y herramientas específicas que brindan instrucciones más precisas a empresas y cualquier tipo de organización, enfocándose a determinados sectores, ámbitos geográficos, categorías de impacto a evaluar, entre otras variables que han diversificado el tipo de reportes de impactos medioambientales. Si bien la mayoría de herramientas para la evaluación del impacto medioambiental en el sector del transporte se enfocan en el cálculo de GEI, también se pueden incluir otros tipos de impactos, como también incluir aspectos socioeconómicos en la evaluación del ciclo de vida de los productos y organizaciones.

Comúnmente los estudios de ACV o para el cálculo de huella de ambiental de productos se han enfocado en el proceso central de producción, siendo consideradas las actividades de transporte como fuentes indirectas o secundarias de consumo de energía y de impactos

medioambientales, por lo cual, la información relevante para determinar el aporte de los vehículos a esta huella era pobre o un muy general, teniendo en cuenta solamente la operación de los vehículos, sin considerar el ciclo de vida de los combustibles. Todo esto genera que los cálculos de la huella ambiental para la fase del transporte hayan sido poco precisos, convirtiéndose en un problema para las empresas donde la mayor proporción del consumo energético e impacto ambiental de sus productos es el generado por los desplazamientos de las materias primas, insumos y producto terminado.

En los últimos años, a partir de la comunicación COM(2014) 285 “Estrategia para la reducción de consumo de combustible y emisiones de GEI en vehículos de servicio pesado”, en donde entre otras estrategias se plantea la exigencia del reporte de huella de carbono aportado a los productos transportados [13], ha tomado fuerza el desarrollo de herramientas de contabilidad energética y de emisiones para el sector del transporte llegando a un nivel comercial. Estas herramientas se han basado principalmente en la norma europea EN-16258:2012 “Metodología para el cálculo y la declaración del consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero en los servicios de transporte (transporte de mercancías y de pasajeros)” [99], limitadas al reporte de emisiones de GEI del ciclo de vida del combustible, sin tener en cuenta los demás componentes del sistema del transporte.

### **2.1.1. Iniciativas para el cálculo de la huella de carbono en el transporte**

Con el objetivo de eliminar la incertidumbre en el cálculo de la huella de carbono para las industrias, transportistas, importadores y exportadores, la Comisión Europea cofundó el proyecto *Carbon Footprint of Freight Transport* (COFRET). El objetivo del proyecto COFRET era desarrollar y probar una metodología armonizada para el cálculo de la huella de carbono en el sector del transporte, a partir de las herramientas y metodologías existentes, combinando lo mejor de cada una para obtener la más completa metodología/herramienta oficial para Europa y para todo el mundo. El proyecto COFRET realizó una revisión de las iniciativas existentes, entre las cuales identificó un total de 102 herramientas de cálculo, metodologías (normas y guías), bases de datos (factores de emisión), entre otros reportes (proyectos de investigación, foros y canales de comunicación) relacionados con el cálculo de emisiones para el sector de transporte. En el reporte de evaluación de finales de 2011, se reconoció que la norma europea EN 16258 “*Methodology for calculation and declaration on energy consumptions and GHG emissions in transport services (goods and passengers transport)*”, que sería publicada en el 2012 por el Comité Europeo de Estandarización (CEN: French Comité Européen de Normalisation) [100], iba a ser la más importante contribución a dichas metodologías. Esta norma proporcionaría las especificaciones técnicas y requerimientos para el desarrollo de modelos para el cálculo y reporte de consumo de energía y emisiones de GEI en los servicios del transporte. Como consecuencia de esto, se sugirió que la nueva metodología que se pretendía desarrollar en el proyecto COFRET debía estar basada en la norma EN 16258 [101,102].

Entre las iniciativas para el cálculo de emisiones de GEI recomendadas en el proyecto COFRET, se encuentran [103]:

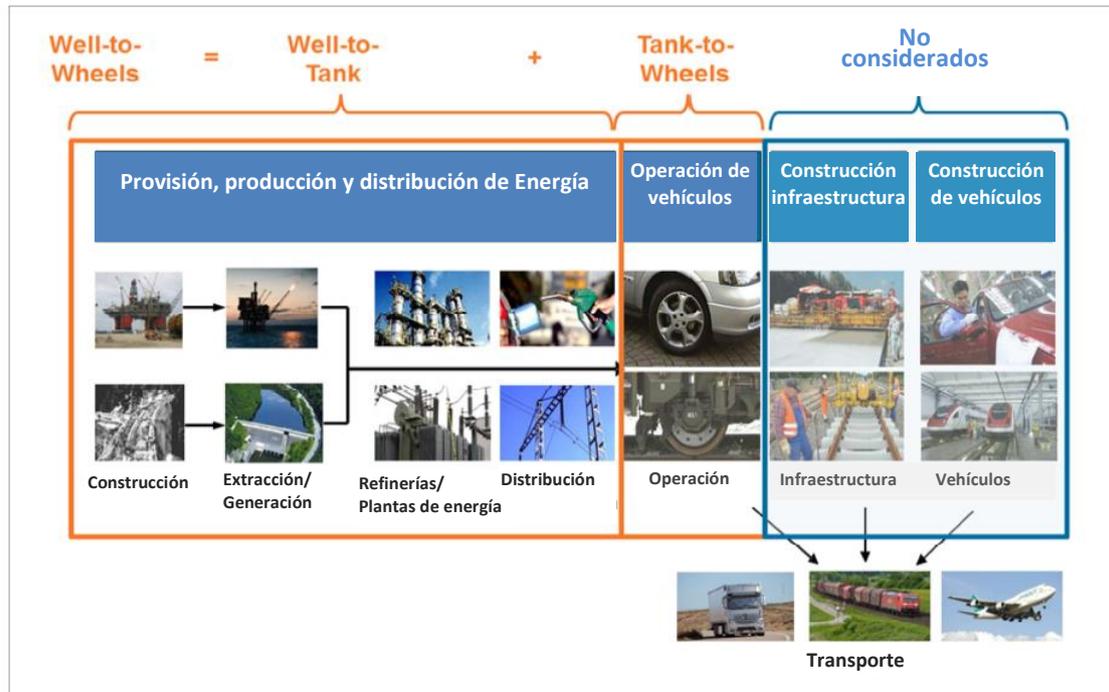
- **Metodologías:** la norma EN 16258 [99], *el GHG Protocol Corporate Standard* [104], las guías del DSLV (en alemán) y CLECAT [105], Odette [106], Panteia y Duoinlog [107], IPCC [108] la cual es compatible y complementaria con la guía “EMEP/EEA *air pollutant emission inventory guidebook 2013*” [109] y la guía para Reino unido DEFRA “*Guidance on measuring and reporting Greenhouse Gas (GHG) emissions from freight transport operations*” [110].
- **Herramientas de cálculo:** entre las hojas de Excel está la del “*Greenhouse Gas Protocol*” para emisiones móviles [111], “*Third Party Road Freight CO<sub>2</sub> emissions pilot*” (UK Low Carbon Transport Steering Group, 2011), *GREET Fleet Footprint Calculator* [112] y *Decarbonisation Prediction Model* [113]. Entre los softwares o las herramientas online está EcoTransIT [114], *NTM basic Freight Calculator* [115], *PTV Map & Guide* [116], *VERSIT+* [117], *WPCI Carbon Footprinting Calculator* [118] y el *LogEC- Logistics Emissions Calculator* [119] y *COPERT 4* [120].
- **Bases de datos:** son básicamente informes con factores de emisión actualizados periódicamente sobre los cuales se basan las herramientas de cálculo y las metodologías previamente citadas. Entre ellas está el documento *DEFRA GreenHouse Gas Conversion Factors* [121], *LIPASTO* [122], *HBEFA* [123], *GEMIS* [124], *Ecoinvent* [125] y *GHG reporting database* [126].

EMISIA, el desarrollador del *COPERT 4*, dispone de una base de datos la cual recopila la información de varias iniciativas como *Artemis* [127], *Corinair* [128], *MEET* [129] y *HBEFA* [123].

- **Reportes:** Documentos de los cuales las bases de datos, herramientas y metodologías han extraído factores de emisión de los experimentos realizados o recopilados por iniciativas como la *JEC Well-to-Wheels Analysis* [130] y también reportes como el *ECOSTAND Draft Roadmap* [131], el cual tiene el objetivo de desarrollar una metodología global para evaluar el impacto de los desarrollos en sistemas inteligentes del transporte.

Antes de la publicación oficial de la norma europea EN 16258 en el año 2012, entre las iniciativas anteriormente citadas, una de las más ajustadas a la metodología de ACV era la herramienta *NTM basic Freight Calculator*, la cual seguía la norma ISO 14048 relativa a la gestión y reporte de datos de los ACV [101]. Sin embargo, actualmente esta iniciativa y la mayoría existentes están siguiendo el enfoque recomendado por la EN 16258, que por otro lado solo tiene en cuenta el análisis WTW o ciclo de vida del combustible.

De la misma manera, la herramienta EcoTransIT, que es una de las más completas para el cálculo de emisiones y consumo energético en el sector del transporte de mercancías, ha definido sus límites de acuerdo a la EN 16258, Figura II.1.



**Figura II.1. Límites del sistema de procesos del transporte**  
 Adaptada de EcoTransIT [132]

### 2.1.2. La norma europea EN 16258

La norma EN 16258, Metodología para el cálculo y declaración del consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero en los servicios de transporte (transporte de mercancías y pasajeros), publicada en el 2012 por el Comité Europeo de Estandarización, es la primera norma a nivel internacional que armoniza y estandariza los procedimientos para cálculo y reporte de emisiones y energía para el sector del transporte, estando plenamente aceptada entre las empresas europeas de transporte [133].

La norma EN 16258 proporciona orientación sobre la determinación de los siguientes componentes para el cálculo de emisiones [134]:

- Base de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Estas son calculadas con base en el sistema de operación del vehículo (SOV), que se define como un conjunto coherente de operaciones del vehículo en determinado recorrido o tiempo. El SOV puede seleccionarse de acuerdo con los criterios del usuario. En todos los casos, el SOV incluirá los viajes en vacío relacionados con las operaciones de vehículos. La norma proporciona además un procedimiento sobre la forma de calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con un SOV específico, que es esencialmente una guía sobre cómo traducir el volumen de combustible o energía utilizado en la actividad del transporte en emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Principios de asignación de emisiones de CO<sub>2</sub> a la carga. El principio básico establece que la actividad del transporte debe ser cuantificada multiplicando la masa total de la mercancía transportada por la distancia recorrida. De esta manera, la unidad funcional

es la tonelada-kilometro (tkm). Las rutas de distribución y recolección son designadas como una excepción en esta norma; la distancia recorrida puede ser, o bien la distancia ortodrómica o la distancia más corta posible.

- Determinación de las emisiones a nivel de producto. Las emisiones a nivel de producto o envío se calculan como un porcentaje del importe total de las tkm realizadas en el SOV, de acuerdo con la proporción másica del producto en particular de la masa total transportada.

La norma EN 16258 permite la unificación de criterios en el cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> y proporciona una forma estandarizada sobre cómo las emisiones deben ser cuantificadas para los elementos de la cadena logística y, por lo tanto, representa una posible base para futuras iniciativas internacionales de normalización [134]. Asimismo, permite agregar con mayor exactitud el aporte de la etapa de transporte a la huella de carbono de los productos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en una solución unificada no es posible dar cabida a todos los factores que influyen en el transporte de mercancías como la legislación local, las operaciones, los informes de las empresas, las condiciones climáticas a lo largo del año, etc. Al mismo tiempo, un enfoque que pudiera aplicarse de manera general tiene que garantizar una alta aceptación de los usuarios [135]. Por lo anterior, cualquier futuro desarrollo de métodos para el cálculo de GEI necesita aunar sencillez, precisión y flexibilidad, asegurando una total transparencia [133]. La norma EN 16258, a pesar de sintetizar las mejores prácticas de las metodologías para el cálculo de emisiones de GEI, todavía ha de resolver ciertos aspectos, concretamente [133]:

- La ambigüedad respecto a la elección del SOV.
- La falta de "imparcialidad" con relación a la asignación de emisiones a las unidades individuales de carga.
- La falta de la prescripción en el intercambio de información y la contabilidad de las emisiones a lo largo de toda la cadena de transporte.
- La falta de método para la contabilidad las emisiones respecto a los nodos logísticos, tales como terminales, almacenes e instalaciones intermodales.

De acuerdo a la norma EN 16258, el SOV podría ser seleccionado a criterio del usuario, por lo que este podría basarse por ejemplo en: toda la actividad de la flota durante un año, sin discriminar los tipos de rutas ni la ubicación geográfica de estas; en todos los viajes entre dos ubicaciones específicas por cada trimestre; o en una ruta individual de recolección o entrega.

En cuanto a la falta de imparcialidad en la asignación de emisiones a las cargas individuales, basados en el principio de que las cantidades de emisiones calculadas deben estar relacionados con los entes que los ocasionan, la base tonelada-kilómetro es insuficiente. Por ejemplo, un envío combinado de productos ligeros (y voluminosos) y pesados dará lugar a emisiones principalmente asignadas al producto más pesado, mientras que el vehículo estaría

con una capacidad de volumen limitada, lo que requiere movimientos adicionales de otros vehículos; por lo tanto, se generarían mayores consumos y emisiones para satisfacer la demanda de transporte que se dejó de atender por transportar estos productos de baja densidad. Por otro lado, si un vehículo hace un desvío de su ruta para recoger otra carga, la carga inicialmente transportada se le imputaría una asignación de una mayor cantidad de CO<sub>2</sub>, mientras que la carga adicional no incluiría este sobrecoste de emisiones previo a su recogida [96].

El tercer problema se relaciona con el hecho de que la norma está orientada a los proveedores de servicios de transporte y no a los usuarios de los servicios de transporte. La norma debería incorporar un mecanismo de información que permita a la parte responsable del envío sumar las emisiones de la cadena de transporte. Esto significa que el cumplimiento de la norma debería incluir no sólo la capacidad de calcular las emisiones dentro de una actividad de transporte, sino también un reporte obligatorio a la parte responsable del envío. Para las situaciones en que la información primaria no está disponible, o los datos por defecto no son accesibles, la norma también debería prever una guía para la estimación de los datos [135].

El cuarto problema de la norma EN 16258 es que no proporciona orientación sobre estimaciones de emisiones de CO<sub>2</sub> en los nodos como terminales intermodales, almacenes, centros de distribución y otros tipos de instalaciones logísticas que enlazan las operaciones de transporte. Hay en marcha actividades de investigación, tales como *el Green Efforts Project* [136], lo que resultaría en una guía para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en las terminales para el transporte de mercancías. Los resultados de esta y otras actividades de investigación deben ser considerados en los futuros esfuerzos de armonización [135]. La norma EN 16258 excluye en su metodología el cálculo de las emisiones de GEI generadas en los nodos del transporte, debido a que su enfoque está en el ciclo de vida de los combustibles, en donde se miden básicamente las emisiones generadas desde la producción, transporte, almacenamiento y distribución de combustibles, hasta el uso de estos combustibles en los vehículos, es decir, su enfoque es un análisis WTW.

Por lo anterior, si se busca analizar la cadena completa del transporte de mercancías, incluyendo los nodos de transporte como terminales, centros de distribución, almacenes, etc., se debe complementar el análisis usando los lineamientos de otras normas más amplias para el cálculo de la huella de carbono de producto como la ISO 14067 y de las organizaciones como la ISO 14064. Mientras que, si se desea incluir otras categorías de impacto, además de las emisiones de GEI causantes del cambio climático, se debe ir más allá a una metodología más amplia para el Análisis del Ciclo de Vida como la serie ISO 14040.

### **2.1.3. Aplicación de las normas ISO al sector del transporte**

A pesar de que las normas ISO para el ACV referenciadas con las series 14040, como también las específicas para el cálculo de la huella de carbono de productos y organizaciones, 14067 y 14064, respectivamente, no están enfocadas directamente al servicio de transporte ni a las operaciones logísticas que tienen relación con el transporte de mercancías en los diferentes niveles de la cadena, por su carácter amplio y flexible, pueden funcionar como guía para la

elaboración de una metodología para el análisis del ciclo de vida del sistema integrado de transporte de mercancías. De acuerdo a la norma ISO 14067, su implantación facilitará el cálculo para las emisiones de GEI de los productos y servicios, así como también el cálculo del consumo de energía en el ciclo de vida. Si bien la filosofía de esta metodología está basada en el análisis del ciclo de vida, en las directrices dadas por esta norma, para el aporte de GEI en la fase del transporte de estos productos, solo se incluirían las generadas en la operación de los vehículos, es decir, las emisiones en la fase TTW, además de no proporcionar una guía específica o reglas para el cálculo de estas emisiones aportadas por el transporte [134].

En resumen, la serie ISO 14064 comprende tres normas para la orientación de organizaciones, empresas y gobiernos para el cálculo de GEI [134]:

- ISO 14064-1:2006 “Gases de efecto invernadero. Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero”.
- ISO 14064-2:2006 “Gases de efecto invernadero. Parte 2: Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento en las remociones de gases de efecto invernadero”.
- ISO 14064-3:2006 “Gases de efecto invernadero. Parte 3: Especificación con orientación para la validación y verificación de declaraciones sobre gases de efecto invernadero”.

La serie incluye los servicios de transporte, aunque analizados a nivel de empresa. No se da orientación para el cálculo de las emisiones al nivel del envío o nivel de producto. La norma ISO 14064 es compatible con el cálculo de las emisiones resultantes de actividades de transporte propias de las organizaciones, pero excluye los servicios de transporte realizados por terceros [134].

Por lo anterior, con el fin de desarrollar una metodología que permita evaluar de manera cuantitativa el impacto medioambiental del sistema de transporte de mercancías, incluyendo el impacto de contaminantes generados por terceros que están relacionados directamente en las operaciones, como la fabricación de vehículos, las operaciones de reparación y mantenimiento y de otros impactos ambientales, es necesario basar el desarrollo en una metodología en normas como la ISO 14040 y 14044. Adicionalmente, debido a la naturaleza de algunos agentes involucrados en la logística del transporte, es necesario incorporar en el desarrollo de la metodología de guías como la recientemente publicada ISO/TS 14072:2014 [137], la cual proporciona requisitos adicionales y directrices para una aplicación efectiva de las normas ISO 14040 e ISO 14044 para las organizaciones.

A pesar de que el ACV ha sido ampliamente normalizado y simplificado metodológicamente para casos específicos, las normas ISO para el análisis de ciclo de vida están enfocadas en el estudio de impactos medioambientales, dejando a un lado el análisis social y económico, los cuales complementarían el ACV para facilitar la toma de decisiones y la mejora continua de los procesos involucrados en el ciclo de vida de un producto o servicio.

## 2.2. Orígenes y desarrollo del análisis social y económico del ciclo de vida

Hasta ahora, el impacto del ciclo de vida de los productos, bienes y servicios ha sido ampliamente estudiado desde un punto de vista medioambiental. Sin embargo, en los últimos años, con la apertura de mercados, la internacionalización de las empresas, así como la tercerización de muchas operaciones de fabricación de productos a países en vías de desarrollo, ha tomado importancia el hecho de conocer si los productos o servicios adquiridos, están conectados con actividades con impactos negativos tanto sociales como económicos en su ciclo de vida. Es por esto que en los últimos años se han desarrollado aproximaciones para el **Análisis Social y socioeconómico del Ciclo de Vida (ASCV)**, y de **Análisis de Costes del Ciclo de Vida (ACCV)**, con el fin de ampliar la perspectiva de la sostenibilidad en sus tres dimensiones (social, medioambiental y económica), conocida como *Triple Bottom Line* [138], o con el concepto de las 3P's (*People, Planet and Profit/Prosperity*).

Si bien la Comisión Mundial sobre el Medioambiente y el Desarrollo de las Naciones Unidas (WCED, por su siglas en inglés) en 1987 y en la conferencia de Rio de Janeiro en 1992 [55] declaró que la sostenibilidad debe incluir 4 dimensiones: medioambiental, social, económica y cultural; esta última no ha sido considerada como una dimensión adicional para estudios de análisis de ciclo de vida, ya que las variables que la afectan, relacionadas con la educación, los valores y las costumbres, pueden ser incluidas normalmente en la dimensión social, llamada en algunos estudios como dimensión socio-cultural [139].

Por lo anterior, diversos autores también han propuesto integrar las 3P's en una sola metodología de ACV, llamada Análisis del Ciclo de Vida para la Sostenibilidad (ACVS) [140–144]. Sin embargo, debido a las dificultades para la integración de los 3 diferentes ACV, por sus diferencias en la definición de objetivos y alcance, límites de los sistemas, unidades funcionales y demás factores que implica un completo ACV, el desarrollo de un ACVS no ha trascendido de las discusiones teóricas y casos de estudio aislados.

Cabe mencionar que en un ACV normalmente se cuantifican y evalúan los impactos negativos de un proceso sobre el medioambiente, mientras que en un ASCV y un ACCV se pueden analizar tanto impactos negativos como positivos. Por ejemplo, las actividades de una empresa en una región específica generarían impactos positivos (inyección de capital en la comunidad local, creación de puestos de trabajo, mejoramiento de infraestructura, pago de impuestos, etc.), como también efectos negativos (condiciones indignas de trabajo, accidentes, abuso de los derechos humanos, etc.) [145]. Así, a pesar de existir abundantes discusiones teóricas y varios casos de estudio acerca de cómo desarrollar una evaluación social y de costes del ciclo de vida enfocados a productos, resulta necesario un mayor grado de desarrollo a nivel científico [141], en particular cuando el análisis se enfoca a las organizaciones. Se trata por lo tanto de un campo de estudio que debe ser explorado y desarrollado, ya que, a diferencia de los impactos medioambientales, los impactos sociales son escasamente determinados por los flujos físicos, sino más bien por la forma en que una organización actúa frente a los grupos de interés (empleados, comunidad local, gobierno/administración pública, clientes, etc.) [146].

Por esta razón el uso de una perspectiva organizacional, y no de producto o servicio (enfocada a los flujos de la unidad funcional determinada por el volumen, masa o número de productos) podría ser más apropiada para realizar un ASCV, ya que la organización podría superar las dificultades de relacionar aspectos sociales a la unidad funcional, si la unidad de análisis es la organización entera [147].

Por todo lo anterior, podemos afirmar que hasta la fecha no se dispone de una norma o certificación específica para el ASCV ni el ACCV, aunque haya ido aumentando el grado de consenso acerca de que estos análisis deberían desarrollarse a partir de las mismas fases descritas para el ACV por la ISO 14044:2006 [88].

### **2.2.1. El análisis Social y Socioeconómico del Ciclo de Vida (ASCV)**

Como punto de partida, cabe destacar la inclusión de indicadores sociales y socioeconómicos en el ACV fue presentada por la SETAC, en 1993, a través del informe *A Conceptual Framework for Life-Cycle Impact Assessment* [148] en el que se propuso integrar la categoría de impacto sobre el bienestar social derivado de un impacto sobre el medioambiente. A partir de esta iniciativa, investigadores y profesionales intentaron introducir los aspectos sociales en estos análisis, pero se concluyó que si un ACV de un producto o servicio toma en cuenta el impacto social, este ya no sería un ACV tradicional. Por esto, se ha introducido la metodología de ACV con criterio social y socioeconómico con el nombre simplificado de Análisis Social del Ciclo de Vida (ASCV) [142].

En 1994, El Comité Interinstitucional sobre las Directrices y Principios (ICGP, por sus siglas en inglés) definió a su vez los impactos sociales como "todas las consecuencias sociales y culturales para poblaciones humanas de cualquier acción pública o privada que alteren las formas en que las personas viven, trabajan, juegan, se relacionan entre sí, se organizan para satisfacer sus necesidades y en general, integrarse como miembros de la sociedad" [149].

Posteriormente, las primeras directrices para el ASCV surgieron tras la iniciativa del Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (UNEP) y de la SETAC a finales de 2003, reconociendo la necesidad de integrar los indicadores sociales en el ACV. Esta tarea, además de la necesidad de conocer las implicaciones sociales y socioeconómicas del ciclo de vida de los productos comercializados en los países desarrollados, fue motivada también por los obstáculos que la metodología del ACV estaba teniendo para ser aplicada en los países en vías de desarrollo. El ACV convencional, el cual era requerido por empresas de países desarrollados a los proveedores de países en vías de desarrollo, no tuvo mucha aceptación por parte de los países en desarrollo, debido a que además los ACV ponían de relieve solamente aspectos ambientalmente negativos de sus procesos y que el gasto derivado por el ACV no se justificaba, ya que las preocupaciones en estos países estaban dirigidas más en mejorar los aspectos sociales y económicos en sus regiones, como disminuir los índices de pobreza, de desempleo, condiciones indignas de trabajo, etc. Ante esa situación, el grupo de trabajo UNEP/SETAC con su *Life Cycle Initiative* publicó en el año 2009 el documento *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products* [142]. Las directrices incluidas en este documento

sugieren analizar 6 categorías de impacto social: 1) Derechos humanos; 2) Condiciones de trabajo; 3) Salud y seguridad; 4) Patrimonio cultural; 5) Gobernanza; 6) Repercusiones socioeconómicas. Sin embargo, como estas categorías de impacto pueden ser muy generales y abstractas, la UNEP/SETAC define con más concreción la necesidad de analizar dos grupos de subcategorías; un grupo relacionado con las 6 categorías de impacto anteriores y el otro relacionado con los Stakeholders o grupos de interés (los trabajadores, consumidores, comunidad local, sociedad y otros actores de la cadena de valor). Asimismo, estas directrices proponen una serie de subcategorías de impacto social a evaluar y también una clasificación relacionada con el *stakeholder* que sería principalmente afectado por cada subcategoría, Tabla II.4.

**Tabla II.4. Clasificación de subcategorías de impacto por Stakeholder para el ASCV, UNEP/SETAC [142]**

| Grupo de interés<br>(Stakeholder)                 | Subcategoría de impacto   |
|---|---|
| Trabajadores                                      | Trabajo infantil<br>Explotación laboral/trabajo forzado<br>Igualdad de oportunidades/discriminación<br>Libertad de asociación de trabajadores<br>Salario justo<br>Horario laboral justo<br>Salud y seguridad en el trabajo<br>Beneficios sociales/seguridad social  |
| Clientes  | Salud y seguridad<br>Transparencia en temas sociales/medioambientales<br>Confidencialidad con la información de los clientes<br>Mecanismos de retroalimentación con los clientes<br>Responsabilidad con el fin de vida  |
| Comunidad local                                   | Acceso a los recursos materiales<br>Acceso a los recursos inmateriales<br>Deslocalización y migración<br>Respeto a las tradiciones locales/patrimonio cultural<br>Condiciones de vida saludables<br>Respeto a los derechos de las comunidades indígenas<br>Participación de la comunidad<br>Creación de empleo local<br>Condiciones de vida seguras |
| Sociedad  | Compromiso público en temas de sostenibilidad<br>Contribución a la economía nacional<br>Prevención y mitigación de conflictos armados<br>Desarrollo tecnológico<br>Corrupción   |
| Otros actores<br>(Empresarios, proveedores, etc.) | Relaciones con los proveedores<br>Competencia desleal<br>Promoción de la responsabilidad social<br>Respeto por los derechos de la propiedad intelectual   |

Ante estos antecedentes, puede afirmarse que la medición de bienestar social, como parte de la evaluación de los aspectos sociales, es un campo de estudio aún en desarrollo, a pesar de que ha sido discutido por décadas. No cabe duda que el bienestar social haya sido definido a través de diferentes conceptos o abstracciones; entre los más conocidos se encuentran: la calidad de vida, nivel de vida y desarrollo humano; mientras que existen otros como la satisfacción con la vida, cumplimiento de las necesidades humanas básicas, y la utilidad y felicidad. Y queda claro que estos conceptos son de carácter multidimensional, los cuales cubren normalmente mediciones del conocimiento o preparación académica o profesional de las personas, la amistad, la libre expresión, la integridad física, la salud, la seguridad

económica, la libertad, el afecto, la riqueza y el ocio [150]. No obstante, queda abierto el desarrollo de metodologías integradas que sean de aplicación para el sector transporte.

De hecho, las diferencias en el tipo de indicadores utilizados en los ASCV, frente a los utilizados en los ACV que básicamente requieren de información cuantitativa, además de necesitar de métodos especiales de recolección de datos, también requiere que sean analizados y aplicados por investigadores con experiencia a través de enfoques multidisciplinares con el fin de reducir las ambigüedades en los resultados de los ASCV que incluyan la evaluación de impactos sociales y económicos de esta naturaleza [142].

Otra diferencia que plantea este análisis es la recolección de datos, ya que el ASCV se debe dirigir desde el nivel operativo hasta el nivel gerencial de la organización, mientras que el ACV trabaja con datos a nivel de proceso o producto. Cabe resaltar que si bien un ASCV evalúa los datos recopilados a nivel gerencial que tienen un impacto en la comunidad local, comúnmente analizados también con las metodologías de Responsabilidad Social Corporativa (RSC) como la norma *Social Accountability SA8000*, el ASCV incorpora datos a nivel de proceso, que son internos en la organización y que afectan a sus trabajadores, impactos que no tiene en cuenta los RSC.

### **2.2.2. El Análisis de Costes del Ciclo de Vida (ACCV)**

El término de Análisis de Costes del Ciclo de Vida o *Life Cycle Costing (LCC)* fue utilizado por primera vez en 1965 en un reporte llamado *Life Cycle Costing in Equipment Procurement* [151], centrado en la adquisición de productos de larga vida útil como los vehículos militares para el Departamento de Defensa de los Estados Unidos [152,153]. Sobre la base de estas ideas, se comenzó a implementar este tipo de análisis sobre otros productos también de larga vida como son la maquinaria industrial o las infraestructuras (carreteras y vías férreas, edificios, etc.). Desde entonces, muchas empresas han aplicado estas metodologías y desarrollado las suyas para analizar los costes de sus procesos y sus inversiones.

A pesar de que las metodologías de ACCV surgen antes que las de ACV ambiental, aún no hay establecida una norma internacional reconocida como la serie ISO 14040 para los ACV medioambientales. Por esto, con el fin de apoyar estudios de análisis de ciclo de vida que abarquen las tres dimensiones de la sostenibilidad, el grupo de trabajo del UNEP/SETAC *Life Cycle Initiative*, luego de publicar las guías para la elaboración de ACV y ASCV, ha desarrollado para los ACCV el documento *Environmental life-cycle costing: a code of practice* [154], con base en las mismas 4 fases establecidas en la norma ISO 14040, con el fin de facilitar la aplicación y definición de un sistema de límites consistente para poder complementar los ACV [155].

En un ACCV se analizan todos los costes asociados con el ciclo de vida de un producto que sean asumidos directamente por los participantes de los procesos, como proveedores, productores, usuarios y los encargados del proceso del fin de la vida útil del producto [141]. La mayoría de las veces los costes directos evaluados en el ACCV son negativos, sin embargo, cuando de los procesos se obtienen beneficios medioambientales o sociales, pueden surgir “costes positivos” como por ejemplo venta de bonos de carbono, reducción de impuestos, subvenciones por

generación de empleo, etc. Hay que tener en cuenta que también, en el caso de un ASCV, se pueden evaluar costes derivados de impactos sociales, pero estos serían costes indirectos del proceso o costes externos, por lo que dada a su integración con el ASCV, estos costes externos asumidos por la sociedad se contabilizaran solamente en el ACCV para no incurrir en doble contabilidad [142,156].

Cabe resaltar que un ACCV suele incluir los costes asociados a la investigación, desarrollo y diseño de productos, de estrategias de mercadeo y demás procesos previos a la introducción de un producto, mientras que en general, un ACV, se refiere al ciclo de vida “físico” del producto o servicio, por lo que varios autores sugieren que cuando se pretende compatibilizar un ACCV con un ACV, el Análisis de Costes del Ciclo de Vida debe ser llamado ACCV medioambiental (ACCV-m) para evidenciar que los límites de este análisis de costes están adheridos al ciclo de vida físico [141,155,157], además de indicar que de manera especial, a diferencia de un ACCV convencional donde solo se contabilizan los flujos reales de dinero en un producto, este ACCV-m contabilizaría las externalidades en el ciclo de vida ambiental, es decir, que el sistema internalizaría los costes externos asociados a los impactos ambientales. Sin embargo, Heijungs *et al.* [158] señalan el hecho de que el ACCV sea medioambiental no implica siempre la inclusión de los costes externos medioambientales ni lo restringe a incluir los costes internos medioambientales como el coste del tratamiento de residuos. El ACCV-m simplemente se refiere a que tiene en cuenta las perspectivas de múltiples *stakeholders* y es consistente con un ACV, no como los ACCV convencionales que evalúan solo los costes desde la perspectiva de un único *stakeholder*, comúnmente el usuario del producto, que incluye el precio de compra y los gastos del uso/operación y mantenimiento.

Ante las ambigüedades en la definición de un ACCV, se han identificado básicamente 4 tipos de ACCV [159]: ACCV financiero (ACCV-f), ACCV medioambiental (ACCV-m), ACCV medioambiental completo (ACCV-mc) y ACCV social (ACCV-s). El ACCV-f sería básicamente el ACCV convencional que se ha descrito en los anteriores párrafos, el cual se enfoca en los costos directos asumidos directamente por un actor, generalmente la empresa o por el usuario. El ACCV-m va más allá del ACCV-f incluyendo además costos medioambientales directos, es decir, no internaliza impactos medioambientales monetizados, sino costos directos como los gastos de tratamiento de residuos, gastos por medidas de adaptación al cambio climático, impuestos por emisiones de CO<sub>2</sub>, etc. Por otra parte, el ACCV-mc, concepto menos aplicado por la comunidad científica, pero que debe ser tenido en cuenta, ya que este va más allá que el ACCV-m al internalizar los impactos medioambientales mediante la monetización de estos. Sin embargo, el procedimiento para convertir estos impactos medioambientales en unidades monetarias es en muchas ocasiones complicado [159]. Por último, el ACCV-s considera todos los costos a cargo de cualquier persona en la sociedad, ya sea hoy o en el futuro. Deben cuantificarse y monetizarse los impactos de un producto o actividad evaluada en temas como la salud pública y el bienestar humano. Como el análisis se lleva a cabo desde una perspectiva social, los pagos realizados por la empresa en impuestos, *royalties* o donaciones deben restarse en el balance de costos sociales totales [160].

En definitiva, para la elaboración de un ACCV, además de definirse claramente el alcance y objetivo del estudio, debe definirse el tipo de metodología utilizada, ya que dependiendo del

tipo de ACCV elaborado, los resultados del mismo podrían ser o no utilizados paralelamente con resultados derivados de un ACV o un ASCV. Es decir, para la elaboración de un ACCV-mc o un ACCV-s, pueden ser usados los resultados monetizados de un ACV o un ASCV, respectivamente. Sin embargo, estos no pueden ser mezclados en un proceso de toma de decisiones, ya que, por ejemplo, si el impacto medioambiental de una actividad es muy alto según los resultados del ACV, este impacto al ser monetizado, también podría tener un alto impacto en el ACCV-mc en similares proporciones, cayendo en una posible doble contabilidad si se consideran ambos resultados en la toma de decisiones.

Es por lo anterior que, si se plantea presentar resultados individuales de un ACCV, la elaboración de un ACCV-mc o de un ACCV-s sería recomendable. Por otro lado, para presentar los resultados de un ACCV acompañados de resultados de ACV o de ASCV, sería más recomendable realizar un ACCV-f o un ACCV-m.

### **2.3. Estudios publicados de ACV, ASCV y ACCV del transporte por carretera**

A continuación, se analiza el estado del arte de los estudios y resultados obtenidos hasta la fecha basados en el análisis ambiental, social y económico en ciclo de vida de los componentes principales de un sistema del transporte por carretera, tanto los que los consideran individualmente como los que incluyan varios de estos componentes en el mismo estudio. El objetivo es determinar los métodos de recolección de datos, las fuentes de información y los métodos de evaluación utilizados, así como identificar las limitaciones y carencias que puedan ser cubiertos por las metodologías de evaluación de impactos propuestas en esta tesis.

#### **2.3.1. Estudios de Análisis de Ciclo de Vida (ACV)**

La mayoría de los estudios del impacto medioambiental del transporte por carretera se han concentrado en el transporte de pasajeros. Existen numerosos estudios para determinar qué medio de transporte tiene los menores impactos medioambientales con el fin de apoyar a las administraciones públicas en la toma de decisiones sobre la implantación de nuevos sistemas de transporte masivo de pasajeros en las ciudades, como también para determinar la cantidad de carbono que se dejaría de emitir con estos nuevos proyectos.

En el caso del transporte de mercancías por carretera, la optimización de costes ha sido la prioridad tanto para los fabricantes de vehículos como para los usuarios hasta que las administraciones han comenzado a mostrar interés en los impactos medioambientales de la operación de los camiones, incluyendo estos vehículos en los paquetes de estrategias para el cumplimiento de compromisos de reducción de emisiones contaminantes.

A pesar de que la mayoría de los ACV para el sector del transporte de mercancías por carretera se han enfocado en el cálculo de emisiones de GEI, siguiendo las directrices de la norma EN 16258, existen también estudios individuales que se apartan del enfoque del combustible, aplicados a los demás elementos del sistema de transporte de mercancías como las carreteras y centros logísticos, vehículos, así como plantas de desmantelamiento y lugares para la

disposición final de estos elementos. Hay que tener en cuenta que el impacto de los elementos involucrados en el fin de vida, suelen incorporarse en los ACV de las infraestructuras o de los vehículos, por lo que no es común encontrar un ACV específicamente elaborado para una planta de desmantelamiento o para los procesos específicos de tratamiento de residuos de automóviles como el publicado por Ciacci *et al.* [161].

### 2.3.1.1. Estudios de ACV en vehículos

Los primeros ACV enfocados a la fabricación de los vehículos, su uso y disposición final se realizaron por los fabricantes de camiones en los años 90, con el fin de identificar los focos principales de desperdicio de energía que contribuían a una mayor contaminación, para así tomar medidas para obtener ahorros y menor impacto medioambiental [162,163]. Aunque la mayoría de fabricantes no han realizado los ACV basados en la metodología descrita por la ISO 14040, han seguido lineamientos similares desde sus inicios. Algunos fabricantes de camiones como el grupo Daimler AG, quienes tienen las marcas de camiones Mercedes-Benz para el mercado europeo y Freightliner para el americano, han estado usando ACV por más de 20 años, recopilando gran cantidad de información y experiencia con más de 100 ACV individuales para partes de los vehículos como de los camiones completos, desarrollados por los expertos del grupo de Diseño para el Medioambiente, DfE<sup>3</sup> [162].

Por su parte el grupo norteamericano PACCAR Inc., fabricante de las marcas de camiones Peterbilt y Kenworth para el mercado Americano y DAF para el europeo, han enfocado su política ambiental considerando los impactos ambientales en todo el ciclo de vida de sus productos desde su desarrollo a la disposición final [164,165]. DAF desarrolló una herramienta de uso interno para realizar ACV a todas las partes nuevas, empleada principalmente en el departamento de Ecodiseño, hasta que en 2006 se comienza a aplicar a los camiones completos [164]. En la actualidad, sus análisis ACV se realizan en una entidad externa que utiliza la metodología ISO 14040, el software SimaPro y las bases de datos de EcoInvent [166].

La empresa sueca Scania AB, del grupo Volkswagen, también ha adoptado una estrategia medioambiental con el fin de disminuir los impactos medioambientales en el ciclo de vida de sus productos. Sus principales enfoques son la reducción de consumo de recursos y energía, como también cumplir con los requerimientos de los clientes en cuanto a bajo consumo de combustible y bajas emisiones. La optimización en el ciclo de vida, diseñando para la reutilización y reciclabilidad, es una de las 14 áreas relevantes en su política de sostenibilidad [167]. Antes de 2006, año en el que se comienzan a implantar los ACV, en Scania se habían realizado Declaraciones Ambientales de Producto para algunos camiones, sin estar claro si estas estaban basadas en los resultados de análisis de ciclo de vida [168].

El grupo sueco Volvo AB, productor de camiones Renault y la estadounidense Mack, ha estado entre los fabricantes más interesados en una política de reducción de impacto ambiental basada en el ciclo de vida. Tras comprobar que la mayor parte de contaminación es producida

---

<sup>3</sup> Diseño para el medioambiente (*Design for Environment*) es un programa creado en 1992 por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), con el fin de prevenir la contaminación ambiental y los riesgos sobre la salud humana.

durante la fase de uso de los vehículos y solo el 12% de las emisiones es atribuible a los materiales y energía del proceso de fabricación de los vehículos, ha centrado su I+D en los motores diésel para mejorar la eficiencia del combustible y reducir las emisiones. Los numerosos ACV realizados desde 1990 por Volvo AB han servido para generar una base de datos interna que se utiliza para el desarrollo de sus productos. Mientras que su primera DAP<sup>4</sup> para los clientes se publicó en 2001 [169] y una de las más recientes es la publicada en el 2013 [170], para una tractora Renault modelo T 4x2, Euro VI, en donde se reporta que el 94% de las emisiones de GEI se genera en la fase de uso del vehículo, dado que la mayor parte de materiales de vehículo pueden ser reciclados.

Por su parte la marca IVECO, del grupo italiano CNH Industrial N.V (fusión de los grupos Fiat Industrial S.p.A. y CNH Global N.V.), comenzó a utilizar la metodología de ACV en 2008. Aunque inicialmente sirvió para identificar alternativas ecológicas a los fluidos refrigerantes de los sistemas de aire acondicionado, su uso se ha extendido al proceso de fabricación de los vehículos en general. En estos ACV se ha incorporado la variable usuario, llegándose a la conclusión de que unos adecuados hábitos de conducción pueden reducir el consumo de combustible entre un 15 y 20 % [171]. Según sus propios informes, en promedio el 85% de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los productos de IVECO en su ciclo de vida corresponde a la fase de uso. En los últimos informes de sostenibilidad, la empresa reconoce la importancia creciente que el tema de los ACV tiene entre sus clientes y por ello está aumentando sus esfuerzos para elaborar ACV en base a la ISO 14040 de la mayor cantidad de sus productos en colaboración con universidades italianas [52].

El fabricante alemán MAN SE es uno de los últimos en aplicar la metodología de ACV para evaluar el impacto ambiental de sus productos. Si bien estaban realizando cálculos de Huella de Carbono para sus productos basados en el *GHG Protocol Product Life Cycle Standard* [172], en donde establecían que más del 90% de las emisiones de GEI correspondían a la fase de uso de sus camiones teniendo en cuenta el análisis WTW, es hasta el año 2013 que informan sobre el lanzamiento del proyecto de ACV basado en la ISO 14064 para comenzar en 2015 con el fin de incluir más categorías de impacto como la acidificación, el potencial de creación de ozono fotoquímico, la eutrofización y el agotamiento del ozono [173,174].

### **2.3.1.2. Estudios de ACV de los combustibles**

Últimamente, los ACV se han restringido casi de forma exclusiva al impacto de las emisiones de CO<sub>2</sub> cuyo estudio se ha visto simplificado por el uso de herramientas para el cálculo de la huella de carbono [175]. Sin embargo, estos cálculos de huella de carbono para el sector del transporte normalmente se refieren al ciclo de vida combustibles o análisis WTW, siendo diferente a un ACV de un vehículo el cual incluiría también las fases de fabricación y de fin de vida. La gran mayoría de estos estudios están apoyados en los factores de emisión y herramientas citadas en el apartado 2.1.1 sobre iniciativas para el cálculo y reporte de consumos energéticos y emisiones en el transporte. Con la ayuda de estas herramientas

---

<sup>4</sup> Declaración Ambiental de Producto: es un documento certificado bajo la norma ISO 14025 como una compilación de datos ambientales cuantificados para un producto bajo las categorías y parámetros especificados en la serie de normas ISO 14040 de análisis de ciclo de vida. EPD®

pueden realizarse estudios globales para el cálculo de emisiones de GEI y consumo energético de una flota de vehículos o por todo el sistema de transporte de un país, ya que como se ha mencionado, la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida por un determinado tipo de combustible depende de la cantidad consumida de este, mas no del tipo de vehículo. La oficina de Transporte y Calidad del Aire de la US EPA, se encarga de realizar cada año la estimación de GEI generado por el sector de transporte en los Estados Unidos. Se utiliza el modelo *Lifecycle Emissions Model (LEM)* desarrollado en el Instituto de Estudios del Transporte de la Universidad de California-Irvine y la herramienta *The Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Transportation GHG Emissions Report Use in Transportation (GREET)* desarrollada por Argonne National Laboratory [112]. En China, investigadores de la Universidad de Tsinghua han realizado cálculos y proyecciones WTW de consumo energético y emisiones de GEI para una variedad de combustibles usados en el transporte por carretera basados en la herramienta *GREET*, modificando los factores WTT para el escenario del país asiático [176–179].

El *American Center for Life Cycle Assessment – ACLCA* presentó un estudio en el que se hace un análisis comparativo de consumos de combustible entre diferentes tipos y marcas de camiones de largo recorrido clase 8b (>28 ton de peso bruto) para los Estados Unidos y sus equivalentes Europeos de 28 a 34 toneladas de peso bruto, con una carga transportable de 22 toneladas. Estos análisis modelados con las herramientas GaBi4 y MOVES 2004, considerando la producción del diésel, concluyen que los camiones estadounidenses generaban mayores emisiones de CO<sub>2</sub> debido al mayor consumo de combustible por kilómetro y por los bajos factores de carga frente a los europeos. Por otro lado, los camiones estadounidenses generaban menos emisiones N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub> y MP debido a la aplicación límites más estrictos de la normas US EPA 2007 [180].

Se pueden encontrar estudios y revisiones sobre ACV para fuentes de energía alternativas y convencionales utilizadas en el transporte, considerando el ciclo de vida completo (WTW) o solamente la fase de producción (WTT). Así existen estudios para el biometano o biogás [181–195]; para biocarburantes líquidos tradicionales (biodiésel, Bioetanol, Dimetil Eter y Etil terbutil éter) [175,176,196–297], biocarburantes avanzados de los procesos BTL, GTL (*Gas-to-liquid*) o Fisher-Tropsch [298–306], biocarburantes a partir de algas o microalgas [307–325], GNC [190,210,326–330], GNL [210,331–336], hidrógeno comprimido o licuado de diferentes fuentes fósiles o renovables [310–323] y electricidad [177,351–363]. En la mayoría de los estudios citados se compara el comportamiento medioambiental de combustibles y fuentes de energía alternativa con el de los derivados del petróleo (diésel y gasolina), por lo que en esas mismas referencias pueden encontrarse datos correspondientes a su ACV. En general, apenas se realizan ya estudios individuales para los combustibles tradicionales, principalmente porque los métodos de producción de estos combustibles han alcanzado su pico de desarrollo. Por ello, para la etapa WTT de estos combustibles los factores de emisión utilizados en la mayoría de estudios y bases de datos para ACV son prácticamente iguales, variando solo un poco por las distancias en el transporte del petróleo a la planta refinadora y del producto final a las estaciones. Un ejemplo reciente de ACV realizados para estos combustibles de origen fósil es el presentado por Rahman *et al.* [364] en donde destacan el impacto de la distancia del transporte del crudo y del combustible en Norte América. Otros ACV específicos para los

combustibles tradicionales se encuentran en [365–369] y otros más generales comparando varios tipos de combustibles en [210,330,370–372].

A partir de la revisión bibliográfica, puede observarse que las bases de datos utilizadas por las herramientas para realizar ACV incluyen hasta la fecha factores de emisión para el ciclo de vida (WTW) de la mayoría de los combustibles mencionados. Estos datos normalmente están disponibles para las emisiones de CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, dado que estos factores están basados en la cantidad de combustible consumido. No obstante, hay otro grupo de gases contaminantes cuyos factores de emisión no dependen de la cantidad de combustible y varían de vehículo en vehículo, requiriendo de pruebas y mediciones que permitan estimar factores de emisión específicos para gases como el CO, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> y partículas volátiles. Por esta razón, para que sean incluidos estos factores de emisión en las bases de datos, se necesita un amplio soporte científico.

Para esta fase de uso de combustibles (TTW) en el transporte por carretera, las bases de datos desarrolladas en la actualidad sólo incluyen factores de emisión específicos para uso del diésel y gasolina, existiendo algunas que incluyen el biodiésel y gas natural como la guía *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* [373], aunque en esta se aclara que solo los factores de emisión para camiones diésel tienen alta precisión, ya que la experimentación con camiones a gasolina y gas natural no ha sido suficiente para garantizar estadísticamente la confiabilidad de los factores. En estos casos, para la investigación resulta aceptable adoptar estos factores de emisión comparando con otras bases de datos fiables. En el caso de encontrar mucha variabilidad en los factores de emisiones para determinado combustible y vehículo en las fuentes consultadas para la etapa TTW, podrían obtenerse a partir de bibliografía disponible de los últimos años o de experimentación propia.

### **2.3.1.3. Estudios de ACV en infraestructuras**

La infraestructura utilizada en el transporte de mercancías por carretera está integrada básicamente por las carreteras, estaciones de servicio y centros logísticos como almacenes, terminales intermodales y aparcamientos. De estas infraestructuras, el impacto de las carreteras ha sido el más ampliamente estudiado, debido al interés que despierta para la sociedad en general su construcción y dado que afecta tanto a usuarios del transporte de mercancías y de pasajeros, como a las comunidades y ecosistemas en su área de influencia. En cuanto a las infraestructuras, como se resumen en la Tabla II.5, los estudios publicados hasta la fecha difieren ampliamente acerca de qué fases del ciclo de vida son consideradas estas infraestructuras.

El estudio de la fase de uso se centra en los vehículos que recorren diariamente las carreteras, y es la que permite la comparabilidad de los resultados de los ACV con otras tipologías de carreteras y establecer si un nuevo proyecto ayudaría en su ciclo de vida a reducir las emisiones globales.

**Tabla II.5. Casos de estudio de ACV en carreteras**

| Referencias                           | Fase del ciclo de vida |      |   |                         |                               |               |                 |             |
|---------------------------------------|------------------------|------|---|-------------------------|-------------------------------|---------------|-----------------|-------------|
|                                       | Autores                | Año  | Extracción -<br>producción de<br>materiales | Movimiento<br>de tierra | Construcción<br>Pavimentación | Mantenimiento | Tráfico/<br>uso | Fin de vida |
| Häkkinen y Mäkele [374]               |                        | 1996 | x   |                         | x                             | x             | x               | x           |
| Horvath y Hendrickson [375]           |                        | 1998 | x   |                         | x                             |               |                 | x           |
| Mroueh <i>et al.</i> [376]            |                        | 2001 | x   | x                       | x                             | x             | x               |             |
| Stripple [377]                        |                        | 2001 | x   | x                       | x                             | x             | x               |             |
| Chappat y Bilal [378]                 |                        | 2003 | x   |                         | x                             | x             | x               |             |
| Park <i>et al.</i> [379]              |                        | 2003 | x   | x                       | x                             | x             |                 | x           |
| Peuportier [380]                      |                        | 2003 | x   |                         | x                             | x             | x               | x           |
| Treloar <i>et al.</i> [381]           |                        | 2004 | x   |                         | x                             | x             | x               |             |
| Hoang <i>et al.</i> [382]             |                        | 2005 | x   |                         | x                             | x             |                 |             |
| Zapata y Gambatese [383]              |                        | 2005 | x   |                         | x                             | x             |                 | x           |
| Athena Institute [384]                |                        | 2006 | x   |                         | x                             | x             |                 |             |
| Birgisdottir <i>et al.</i> [385]      |                        | 2006 | x   | x                       | x                             | x             |                 |             |
| SUSCON [386]                          |                        | 2006 | x   | x                       | x                             | x             |                 |             |
| Garrain y Vidal [387]                 |                        | 2008 | x   |                         | x                             |               | x               |             |
| Huang <i>et al.</i> [388]             |                        | 2009 | x   |                         | x                             | x             |                 |             |
| Sayagh <i>et al.</i> [389]            |                        | 2010 | x   |                         | x                             | x             |                 |             |
| ECRPD [390]                           |                        | 2010 | x   |                         | x                             | x             | x               |             |
| Milachowski <i>et al.</i> [391]       |                        | 2011 | x   | x                       | x                             | x             | x               |             |
| Loijos [392]                          |                        | 2011 | x   |                         | x                             | x             | x               | x           |
| Cass y Mukherjee [393]                |                        | 2011 | x   | x                       | x                             |               |                 |             |
| Huang <i>et al.</i> [394]             |                        | 2012 | x   | x                       | x                             | x             |                 |             |
| Melanta <i>et al.</i> [395]           |                        | 2012 | x   | x                       | x                             |               |                 |             |
| Butt <i>et al.</i> [396]              |                        | 2012 | x   |                         | x                             | x             |                 | x           |
| Vidal <i>et al.</i> [397]             |                        | 2013 | x   | x                       | x                             | x             | x               | x           |
| Barandica <i>et al.</i> [398]         |                        | 2013 | x   | x                       | x                             | x             |                 |             |
| Santero <i>et al.</i> [399]           |                        | 2013 | x   |                         | x                             | x             | x               | x           |
| Araujo <i>et al.</i> [400]            |                        | 2014 | x   | x                       | x                             | x             | x               | x           |
| Celauro <i>et al.</i> [401]           |                        | 2015 | x   | x                       | x                             | x             |                 |             |
| Fernandez-Sanchez <i>et al.</i> [402] |                        | 2015 | x   | x                       | x                             | x             |                 |             |
| Mladenovic <i>et al.</i> [403]        |                        | 2015 | x   |                         | x                             |               |                 |             |
| Giani <i>et al.</i> [404]             |                        | 2015 | x   |                         | x                             | x             |                 | x           |
| Anthonissen <i>et al.</i> [405]       |                        | 2015 | x   |                         | x                             | x             |                 | x           |
| Yang <i>et al.</i> [406]              |                        | 2015 | x   |                         |                               |               | x               |             |
| Anastasiou <i>et al.</i> [407]        |                        | 2015 | x   | x                       | x                             | x             |                 | x           |

Además de los límites considerados, los ACV realizados para carreteras se diferencian en el detalle con el que se abordan los distintos componentes. Algunos detalles particulares como la utilización de materia prima reciclada [376,402] y diferentes aditivos y texturas para la superficie del cemento y el asfalto se destacan en [385,391,399], impacto de las actividades de mantenimiento [408], movimientos de tierra y uso del suelo y la deforestación [376,395,398].

La comparabilidad de los ACV desarrollados por diferentes autores a determinadas carreteras resulta compleja debido a las condiciones particulares de cada una, como las condiciones geotécnicas, intensidad de tráfico, clima, etc. [409]. La fase inicial de excavaciones y movimientos de tierra no es considerada o poco detallada por algunos autores, mientras que en el ACV realizado por Barandica *et al.* [398] para 4 carreteras en España, se tuvo en cuenta esta fase, la cual resultó aportando entre el 60 y 85% de las emisiones totales de GEI en el ciclo de vida de cada proyecto. Los autores de ese estudio afirman que este gran impacto de la fase de movimiento de tierra podría ser a causa de la especial orografía de país lo que obliga a la elaboración de mayor cantidad de terraplenes, túneles y viaductos, o simplemente por la subestimación de esta fase en otros estudios. Si bien en el citado estudio realizado en España es importante la fase de inicial de movimientos de tierra, no se considera el tráfico ni la fase de fin de vida, es decir, el desmantelamiento de la carretera, debido a que la mayoría de carreteras obsoletas en España no se remueven, sino que se reconstruyen o se abandonan.

Por lo anterior, aunque en la mayoría de ACV de carreteras se tenga como unidad funcional el km de carretera o de carril construido, las emisiones por km presentan mucha variabilidad entre estudios de diferentes autores, e incluso entre proyectos analizados por el mismo autor bajo iguales parámetros. Un ejemplo de ello puede observarse en los resultados extraídos del citado estudio de Barandica *et al*, en donde una autovía de cuatro carriles generaba un total de 15 200 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq/km, mientras que otra autovía similar generaba 50 300 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq/km, diferencias principalmente a causa de los movimientos de tierra.

Las conclusiones sobre revisiones bibliográficas de ACV de carreteras realizadas por algunos autores [392,410] ponen de relieve la ausencia de resultados coincidentes en cuanto a consumo energético o emisiones entre diferentes proyectos, lo cual hace muy difícil la extrapolación de resultados obtenidos para proyectos determinados, en particular debido a los distintos criterios adoptados para seleccionar los límites del sistema a evaluar, la disponibilidad y calidad de los datos y la experiencia o el perfil de los investigadores.

Como resultados destacar de estudios anteriores que arrojan datos relevantes a pesar de la amplia dispersión de los resultados obtenidos a través de la bibliografía, puede citarse Muench [410] quien a través de la evaluación de 14 artículos sobre ACV de carreteras, concluye que en promedio la energía utilizada durante la construcción de la carretera es la equivalente a la usada por los vehículos que la circulan entre 1 y 2 años, y que se traduce en un rango de emisiones de CO<sub>2</sub> entre 125 a 375 Mg/km de carril construido.

Para el caso de las estaciones de servicio, puede referenciarse al estudio de Lucas *et al*. [411] quienes estudiaron el impacto específico de estaciones de recarga de hidrógeno y electricidad en el escenario portugués. Sin embargo, para los nodos de transporte, centros logísticos o terminales intermodales, no se han encontrado hasta la fecha estudios de ACV específicos para estas infraestructuras. De hecho, la mayoría de los estudios de ACV para el transporte de mercancías no incluyen el impacto de la fase de construcción de estas infraestructuras que, a pesar de que no conlleve gran cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>, puede causar por su emplazamiento un impacto ambiental y social que debería ser tenido en cuenta también por la concentración de vehículos transitando a bajas velocidades en la zona que elevan las emisiones contaminantes y de ruido, aunque no sean generadas directamente por el terminal o centro logístico. Sin embargo, dada la falta de información para la elaboración de los correspondientes inventarios del ciclo de vida, el análisis de los centros logísticos no es considerado en este trabajo.

#### **2.3.1.4. Estudios de ACV integrados**

A partir de la revisión bibliográfica, puede afirmarse que hasta la fecha los estudios de evaluación integrada en ciclo de vida de los combustibles, vehículos e infraestructura son poco numerosos y normalmente están limitados al impacto medioambiental de determinadas emisiones. Entre estos trabajos pueden citarse los estudios de Marheineke [412], que incluye el ciclo de vida de los camiones y las carreteras para el caso de Alemania, o el de Stodolsky [413] en el que se comparan las emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte férreo y por carretera. En este estudio los autores concluyen que el transporte por tren genera 3 veces menos emisiones que los camiones en términos de tkm transportada, considerando la fabricación de vehículos, la producción de combustible y la fase de uso, y quedando sin embargo excluida del ciclo de

vida la infraestructura. La infraestructura sin embargo se incluye en el estudio de Dimoula *et al.* para el caso de Grecia [414], quienes concluyen que en la construcción de las líneas férreas se emite en promedio el doble de GEI que durante la construcción de carreteras, mientras que durante la fase de tráfico, el transporte por carretera emite 22 veces más GEI por tkm transportado que el transporte por tren.

Desde otra perspectiva, en el trabajo de Spielmann y Scholz [415], en el que se pretende desarrollar un inventario para los servicios de transporte de mercancías se consideran los procesos de combustibles, infraestructura y vehículos para los modos por carretera, férreo y fluvial. En este estudio se incluyen además de los GEI, NOx, MP y los COV, las emisiones al suelo y al agua de metales pesados como zinc y cadmio y los m<sup>2</sup> de tierra ocupados. El inventario del ciclo de vida de los servicios del transporte del citado estudio está basado en los datos de *EcoInvent* v1.1 [416] y complementado con información de otros reportes [417–420] y artículos científicos con el fin de obtener datos específicos para realizar una comparación entre el sector de transporte de mercancías suizo y europeo.

Facanha y Horvath [53] realizaron un estudio comparativo de los modos de transporte por carretera, férreo y aéreo en Estados Unidos, evaluando las emisiones de CO<sub>2</sub>, NOx, MP<sub>10</sub>, CO y SO<sub>2</sub>. En este estudio se concluye que utilizando un camión clase 8b (> 28 ton), en la fase TTW se producen el 76% de emisiones CO<sub>2</sub> y solo el 18% de emisiones de MP<sub>10</sub>, debido a que la mayor proporción de MP<sub>10</sub> es aportada por la construcción y mantenimiento de infraestructura, mientras que la fabricación y mantenimiento del vehículo serían los principales generadores de emisiones de CO, Figura II.2.

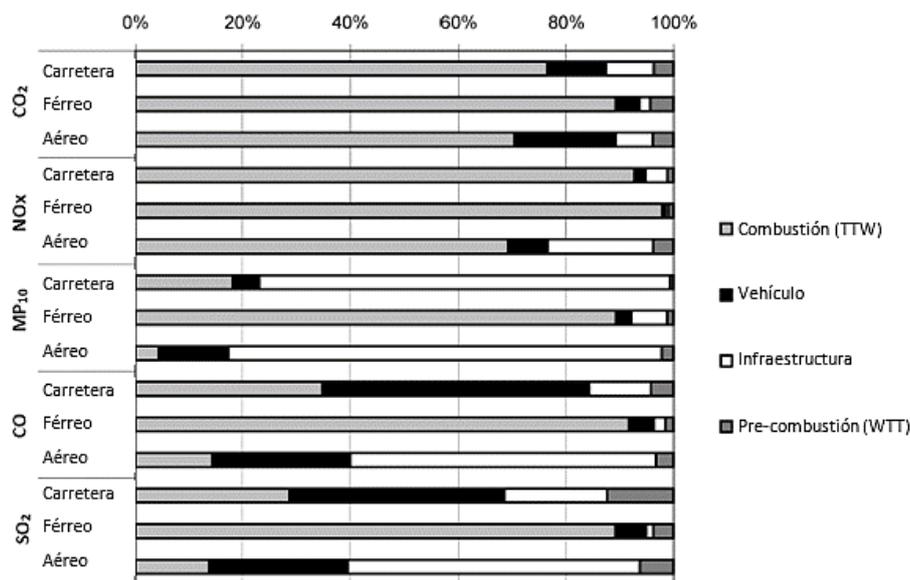


Figura II.2. Distribución de emisiones asociadas al transporte de mercancías por procesos del sistema [53]

En otro trabajo, Chester [421] resume los resultados de varios estudios de ACV en la línea del transporte de mercancías en los que se utilizan los factores de emisión obtenidos por Facanha y Horvath [53] y por Nahlik [422], Figura II.3. Chester detalla también las bases de datos y herramientas usadas para cada proceso; la construcción de vehículos es modelada con el software *SimaPro*, que utiliza la base de datos de *Ecoinvent*; para la construcción,

mantenimiento y reparación de infraestructura se usan herramientas propias [423,424]; y para la producción de combustibles la herramienta *REET* del *US DOE Argonne National Laboratory* [112].

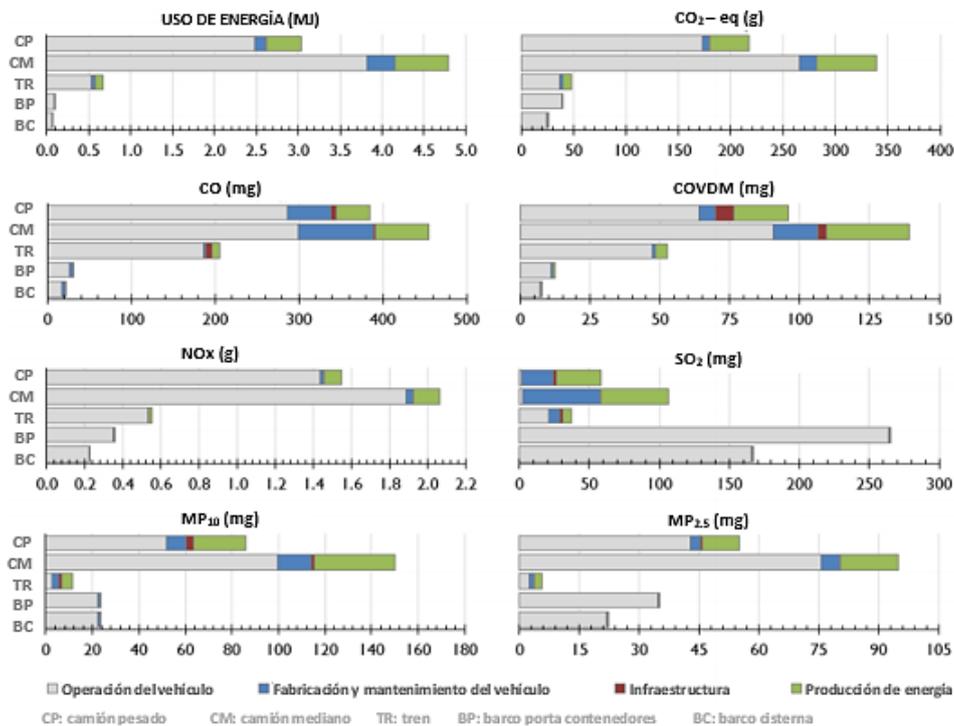


Figura II.3. Consumo energético y emisiones por tkm de mercancías transportadas en California [422]

Comparando los resultados de la Figura II.2 y la Figura II.3 se observa que los trabajos de Facanha y Horvath [368] y de Nahlik [372] se enfocan en las emisiones de GEI, CO, compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM), NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y MP, al igual que la mayoría de estudios citados, dejando a un lado otros potenciales impactos sobre el medioambiente que puede generar el sistema. Se observa también que en los resultados de la Figura II.3 la contribución de los impactos asociados a la infraestructura es muy baja para cada una de las emisiones consideradas. Los autores de dicho estudio afirman que el impacto de la infraestructura es mínimo debido a que el volumen de mercancía transportada por estas carreteras es muy alto, principalmente de servicios de larga distancia y gran tonelaje, por lo que la asignación del impacto de las infraestructuras a cada tkm transportado es muy bajo [422].

Si bien estos estudios son los más completos en cuanto a inventarios del ciclo de vida ambiental del transporte de mercancías que hay hasta la fecha, están enfocados al escenario estadounidense. Por lo tanto, dadas las diferencias detectadas entre los estudios realizados en Norteamérica y en Europa en cuanto a legislación y control de emisiones, pueden dar lugar en diversas fases de cada proceso a una mayor o menor cantidad de determinados contaminantes, derivados de los materiales usados, las distancias recorridas o la exigencia de procesos especiales para el tratamiento de residuos, entre otros.

### 2.3.2. Estudios de Análisis Social de Ciclo de Vida (ASCV)

Si bien los estudios sobre impactos sociales y socioeconómicos en el ciclo de vida aún no han sido estandarizados como los ACV para la evaluación del impacto ambiental, se pueden encontrar aproximaciones que analizan estos impactos ya sea desde el objetivo de calcular y monetizar los impactos sociales para ser internalizados mediante el cálculo de costes externos del transporte o diferentes estudios como los relacionados con el tema de la RSC.

La mayoría de los estudios disponibles hasta la fecha sobre costes externos del transporte [194,425–427], contabilizan y expresan en términos monetarios los impactos negativos de la operación del transporte, que no son asumidos directamente por el usuario (costes internos), al tratarse de costes finalmente asumidos por la sociedad en general al objeto de compensar o mitigar estos impactos. Estos costes externos (externalidades negativas de la actividad) incluyen, entre otros, los costes para el tratamiento de los problemas de salud y estrés debido al ruido y la contaminación del aire, la pérdida de tiempo y de calidad de vida debido a la congestión, la pérdida de capital humano derivada de la accidentalidad y el relativo impacto humano, los costes para la naturaleza y el paisaje por la ocupación del suelo y efecto barrera que provocan trastorno visual y trastorno en la vida animal o los efectos sociales generados por el cambio climático como el estrés, la migración, la carencia de alimentos, entre otros.

A pesar de que estos estudios sobre externalidades analizan los impactos sociales del transporte, se enfocan más que todo a los impactos de la operación directa de los vehículos y la mayoría de estos son relacionados con costes sociales derivados de impactos medioambientales, mientras que en un ASCV se analizan también los impactos sociales más relacionados con el comportamiento de las empresas involucradas en el sistema del transporte con sus clientes, comunidad local, sociedad en general, proveedores o con sus trabajadores en temas de derechos humanos, salud y seguridad, generación de empleo, condiciones de trabajo, igualdad, entre otras [142]. Por todo esto, los resultados de estudios de externalidades del transporte solo se tendrían en cuenta para la elaboración del ACCV en donde se contabilizarán además de los costes directos o internos, estos costes externos derivados de los impactos sociales y ambientales.

En el caso de los estudios de RSC, cabe plantear que los informes de RSC no tienen en cuenta el ciclo de vida de sus productos o servicios en la mayoría de los casos, enfocándose en los impactos de las decisiones a nivel organizacional durante la operación de la compañía. El concepto de RSC, definido de diferentes maneras por organismos internacionalmente reconocidos, Tabla II.6, es el más aceptado y aproximado a los objetivos que persigue un ASCV, de la manera en que se pretende analizar los impactos sociales en su entorno al considerar que la empresa debe prestar atención no sólo a los accionistas sino a todos los grupos o individuos que son afectados por la actividad [428].

**Tabla II.6. Definiciones de Responsabilidad Social Corporativa- RSC**

| Fuente   | Definición   |
|--|--|
| ISO 26000 Guía de Responsabilidad Social [429]                                       | “La responsabilidad social es la responsabilidad de una organización ante los impactos que sus decisiones y actividades ocasionan en la sociedad y el medioambiente, a través de un comportamiento transparente y ético que contribuya al desarrollo sostenible, incluyendo la salud y el bienestar de la sociedad; tome en consideración las expectativas de sus partes interesadas; cumpla con la legislación aplicable y sea coherente con la normativa internacional de comportamiento; y esté integrada en toda la organización y se lleve a la práctica en sus relaciones.”  |
| Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) [430]              | “La responsabilidad social corporativa es el compromiso continuo que deben adoptar las empresas para contribuir al desarrollo económico sostenible, trabajando con los empleados, sus familias, la comunidad local y la sociedad en general para mejorar su calidad de vida.”  |
| Comisión europea [37]  | “La mayoría de las definiciones de la responsabilidad social de las empresas entienden este concepto como la integración voluntaria, por parte de las empresas, de las preocupaciones sociales y medioambientales en sus operaciones comerciales y sus relaciones con sus interlocutores.”   |
| Foro de Expertos en RSE del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España [431] | “La Responsabilidad Social de la Empresa es, además del cumplimiento estricto de las obligaciones legales vigentes, la integración voluntaria en su gobierno y gestión, en su estrategia, políticas y procedimientos, de las preocupaciones sociales, laborales, medio ambientales y de respeto a los derechos humanos que surgen de la relación y el diálogo transparentes con sus grupos de interés, responsabilizándose así de las consecuencias y los impactos que se derivan de sus acciones. Una empresa es socialmente responsable cuando responde satisfactoriamente a las expectativas que sobre su funcionamiento tienen los distintos grupos de interés.” |

A medida que las empresas han incorporado los objetivos de la RSC en sus operaciones, para mejorar o reducir los impactos negativos en la sociedad o medioambiente y así contribuir al desarrollo socioeconómico local, ha surgido la necesidad de certificar dicha gestión. Esto con el fin de mostrar los avances en el tema de responsabilidad social y a la vez utilizar estos resultados como herramienta publicitaria para obtener mejor reputación y aceptación social.

Entre las certificaciones relacionadas con la RSC más populares se encuentra la ISO 26000, OHSAS 18001 y la SA 8000, de las cuales, a través de los informes de sostenibilidad que estas normas exigen y que son publicados por las empresas, es posible obtener información importante para la realización del ASCV. Sin embargo, esta forma de publicidad con el tema de la RSC ha sido ampliamente criticado, ya que en muchas ocasiones se afirma que pueden servir para ocultar información sobre otros impactos negativos de la empresa o desviar la atención de otros problemas más graves [432].

A pesar de que el ASCV y el RSC puedan tener objetivos similares a los de la RSC, Russi *et al.* [433] identificaron las principales diferencias como se resume en la Tabla II.7.

**Tabla II.7. Diferencias entre ASCV y RSC [433]**

| Materias               | ASCV  | RSC   |
|------------------------|---|---|
| Objetivo               | Ayudar en la elección entre productos /políticas  | Minimizar los impactos negativos de las empresas y maximizar los positivos  |
| Tipologías de impactos | Impactos socioeconómicos  | Impactos socioeconómicos y ambientales  |
| Alcance                | Impactos en todo el ciclo de vida de los productos (por lo menos idealmente)  | Impactos a nivel de la empresa  |
| Ámbito                 | Impactos asociados al producto  | Impactos debidos a la organización empresarial y a la gestión de la empresa   |
| Metodología            | Metodología parecida al ACV (normas ISO 14040). Algunas etapas (cuantificación, agregación) están todavía en fase de desarrollo | No hay una metodología establecida y generalmente aceptada, sino una batería de herramientas que pueden ayudar en la implantación de la RSC |

No obstante, a pesar de sus diferencias, el grupo de trabajo de la UNEP/SETAC considera que estas herramientas siguen siendo complementarias en la manera en que la RSC proporciona

orientación y un marco conceptual que serviría como punto de partida para el ASCV, a la vez que el ASCV puede brindarle información y una metodología consistente a la RSC [142]. Por estos motivos, es claro que los reportes de RSC de las empresas relacionadas con el sector del transporte podrían alimentar el proceso de elaboración de los inventarios del ciclo de vida de los casos de estudio de ASCV.

De manera específica para el sector del transporte, se encuentran publicados estudios de ASCV básicamente relacionados con la producción de biocarburantes, dada la preocupación de muchos sectores por los posibles impactos sociales negativos en los países en vías de desarrollo productores de estos recursos. Bajo las líneas directrices establecidas por la UNEP/SETAC [142], fue desarrollado un estudio sobre biocombustibles por Blom y Solmar [434] para la identificación de los impactos sociales generados por el uso de biocarburantes (biogás, biodiésel y bioetanol) utilizados en Suecia. Este estudio, además de analizar la aplicabilidad de las directrices para el ASCV en la evaluación de biocarburantes, se identifican los impactos sociales más relevantes, principalmente motivados por el análisis de la producción de bioetanol procedente de Brasil, ya que existían reportes sobre condiciones de trabajo casi de esclavitud en los cultivos de caña de azúcar brasileña [435] y sobre la relación entre la producción de este tipo de biocarburantes de primera generación y el aumento del precio de los alimentos [436].

En este ASCV para los biocarburantes utilizados en Suecia se analizó el biodiésel de aceite de colza producido localmente y el importado de Alemania y Dinamarca, el bioetanol de caña de azúcar producido en Brasil y el biogás generado a partir de lodos de depuradoras locales. Los límites del sistema a analizar abarcan desde la producción hasta el transporte a la gasolinera, descartando la fase de uso, así como el análisis de la infraestructura involucrada. En otras palabras, se hizo un análisis WTT. Por tal motivo, de los grupos de interés recomendados por la UNEP/SETAC en la Tabla II.4, la categoría de los clientes fue excluida y se seleccionaron subcategorías relacionados con la salud y la seguridad, la igualdad de oportunidades, los derechos humanos, las condiciones de trabajo y las repercusiones económicas.

Años más tarde, Manik *et al.* [437] realizan el ASCV para el biodiésel de aceite de palma en Indonesia, utilizando la metodología de la UNEP/SETAC y complementada con encuestas a expertos y datos de fuentes secundarias. Se estudiaron 24 criterios sociales, agregados en 5 categorías de impacto social: derechos humanos, condiciones de trabajo, patrimonio cultural, repercusiones socioeconómicas y gobernanza. El alcance de este estudio abarcó todas las etapas de la cadena de suministro desde el desmonte de tierras (remoción de vegetación nativa), plantación, recolección y extracción del aceite de palma, y el transporte de aceite de palma crudo hacia el puerto. El proceso de conversión o refinado del biodiésel en los países importadores fue excluido del análisis. Se tuvieron en cuenta también los *stakeholders* sugeridos por la UNEP/SETAC (Tabla II.4) a excepción de los Clientes.

Ekener-Petersen *et al.* [438], realizaron un amplio ASCV de los carburantes usados para el transporte en Europa: el diésel y la gasolina producidos a partir de petróleo importado de Rusia, Noruega y Nigeria; el biodiésel de colza procedente de Lituania; y el bioetanol a partir de caña de azúcar de Brasil, trigo francés y maíz de Francia y EE.UU. Se aplica la metodología de la

UNEP/SETAC [142] apoyados con la información de la base de datos *Social Hotspot Database-SHDB* [439]. La SHDB consiste en una serie de indicadores sociales agrupados en 5 categorías para 57 sectores (idénticos a los de la base de datos del *Global Trade Analysis Project (GTAP)* [440]) y 227 países caracterizados por nivel de riesgo [441].

**Tabla II.8. Estructura de la base de datos SHDB [439]**

| Categorías sociales    | Derechos de los trabajadores | Salud y seguridad        | Derechos humanos              | Gobernanza       | Infraestructura de la comunidad    |
|------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------|------------------------------------|
| Subcategorías sociales | Trabajo infantil             | Accidentes y fatalidades | Derechos de los indígenas     | Sistema jurídico | Hospitales                         |
|                        | Trabajo forzado              | Riesgos y toxicidad      | Conflictos sociales           | corrupción       | Agua potable                       |
|                        | Horas de trabajo             |                          | Equidad de género             |                  | Sanidad                            |
|                        | Salarios                     |                          | Problemas con la salud humana |                  | Niños sin estudio                  |
|                        | Pobreza                      |                          |                               |                  | Granjeros o granjas convencionales |
|                        | Empleo de migrantes          |                          |                               |                  |                                    |
|                        | Libertad de asociación       |                          |                               |                  |                                    |
|                        | Desempleo                    |                          |                               |                  |                                    |
| Leyes laborales        |                              |                          |                               |                  |                                    |

Aunque cubre gran cantidad de indicadores para cada categoría de impacto, en la SHDB no aparecen definidos los subsectores específicos de producción de biocarburantes. Siguiendo el trabajo de Taheripour *et al.* [442], Ekener-Petersen *et al.* identificaron la producción de etanol de caña de azúcar dentro del sector de químicos, caucho y plástico; la producción de etanol de trigo y maíz en el sector de procesamiento de alimentos y la producción de biodiésel en el sector de vegetales y las semillas oleaginosas.

Adicionalmente, Ekener-Petersen *et al.* [438] realizan una exhaustiva revisión bibliográfica de estudios relacionados con los impactos sociales en cada etapa del ciclo de vida de los carburantes seleccionados, con el fin de comparar los hallazgos con las subcategorías sugeridas por la UNEP/SETAC y con la valoración de estas en la SHDB, determinando así la rigurosidad y relevancia de estas herramientas para este subsector. Esta evaluación indica que la mayoría de indicadores están cubiertos por las directrices y las bases de datos, con algunas excepciones como las relaciones del poder en la sociedad, los cambios indirectos en el uso de tierras y el acceso a la tierra cultivable, este último no cubierto solo por la SHDB.

Otra limitación de la base de datos SHDB es que contiene información a nivel de país, lo que compromete la precisión de un análisis concreto, ya que en un mismo país pueden existir algunas empresas con mayores impactos sociales que otras, razón por la cual este ASCV puede identificar los potenciales riesgos y no los riesgos reales de estos sistemas analizados. En términos generales, podría afirmarse que la SHDB debería incorporar información más detallada que incluya más subsectores y que puedan dividirse los países en regiones, al menos en el caso de países grandes, en los que las condiciones socioeconómicas varían considerablemente entre sus regiones, obteniendo así mayor exactitud en cuanto a los resultados. No obstante, el uso de estas bases de datos puede apoyar el análisis de inventario de un ASCV acompañado de la revisión de estudios y reportes locales sobre los impactos sociales de cada actividad, con el fin de triangular la información recopilada entre diversas fuentes y aumentar la fiabilidad de las conclusiones.

En síntesis, los resultados del ASCV del estudio de Ekener-Petersen *et al.* [438] indican que el mayor nivel de riesgos sociales puede ocurrir en la extracción del petróleo de Rusia, mientras

que el menor nivel es para el petróleo de Noruega. Los principales riesgos en el ASCV del petróleo de Rusia son los relativos a las condiciones laborales, el derecho a la asociación y a la huelga y a los salarios dignos. Uno de los hallazgos inesperados tras el ASCV fue el alto riesgo de generarse trabajo infantil en el cultivo de maíz de EE.UU. para la producción de etanol.

Otros autores han incluido análisis sociales en la investigación de biocarburantes realizando estudios híbridos, basando el análisis ambiental en un ACV, mientras que para los aspectos sociales y económicos usan diferentes metodologías como Análisis de Decisión Multi-Criterio (MCDA), Optimización Multi-Objetivo (MOO) y Análisis de Entradas y Salidas (*Input-Output Analysis-IOA*) o sistemas de costes-beneficio [443,444].

Para la selección del mejor tipo de recursos lignocelulósicos entre 37 alternativas para la producción de biocarburantes C. Von Doderer y T.E. Kleunhans [445], teniendo en cuenta las 3 dimensiones de la sostenibilidad, realizan un ACV convencional para el aspecto medioambiental, mientras para los costes (financiero-económico) y social realizan un modelo de Presupuestos Multi-Periodo (MPB, por sus siglas en inglés), considerando el Valor Presente Neto y de la Tasa Interna de Retorno como indicadores financieros y únicamente el potencial de creación de empleos directos como indicador socioeconómico. Luego de realizar los inventarios y resultados, para realizar su interpretación usan el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) [446] el cual es un reconocido MCDA que utiliza un sistema de puntuación y ponderación a cada variable comparada en un diagrama de árbol. La ponderación se realiza con un grupo de 15 expertos que representaban los diferentes grupos de interés, dando casi un 25% de importancia o peso relativo a los resultados socioeconómicos para la toma de decisiones.

En esta misma línea de análisis de la sostenibilidad de los biocarburantes se han llevado a cabo varios estudios. Vinyes *et al.* [436], evalúan el proceso de recolección de aceite de cocina usado mediante 3 métodos diferentes (puerta a puerta, en las escuelas o en centros de recolección urbanos) para la producción de biodiésel, en el cual se enfocan en los impactos sociales relacionados con los trabajadores. Posteriormente, este ASCV es integrado con un ACCV y un ACV, aunque no describen al detalle los métodos de cálculo o de evaluación de los impactos utilizados. Van Eijck *et al.* [447] realizan una revisión de estudios relacionados con el cultivo de Jatrofa para producción de biodiésel, en donde para el análisis de los impactos sociales se encuentran 58 estudios que incluían uno o más aspectos relacionados con la seguridad alimentaria, la prosperidad local y bienestar, las condiciones de trabajo, propiedad de la tierra y el derecho a la tierra y equidad de género. La metodología de ninguno de esos estudios estaba basada en el ciclo de vida del combustible, siendo la mayoría de los estudios basados en información cualitativa de entrevistas personales y observación, enfocados al cultivo y procesamiento de la materia prima. Este análisis concluyó que los proyectos de producción de biodiésel a partir de Jatrofa no mostraban significativos impactos negativos durante su ejecución, pero si se presentaban efectos tras su finalización en las comunidades locales, por la pérdida de ingresos económicos, la dificultad de reinserción laboral y de reutilización de los suelos para cultivos tradicionales. De manera similar, Millazo *et al.* [448] en un análisis bibliográfico de estudios económicos, sociales y ambientales de la producción de biodiésel a partir de soja encuentran que es más sostenible, en términos de indicadores

sociales, la producción en los EE.UU. que en Brasil y Argentina. Cambero y Sowlati [449] realizan una revisión de estudios relacionados con las perspectivas económicas, sociales y medioambientales de la producción de biocarburantes de residuos forestales, encontrando estudios que utilizan modelos MCDA [450–452] o MOO [443,453] para integrar la dimensión social en la evaluación de la sostenibilidad de estos recursos. Malik *et al.* [454] utilizaron un ACV híbrido complementado con un IOA para evaluar la sostenibilidad de biocarburante de fuentes lignocelulósicas en Australia. Aunque estos estudios consideran la cadena de suministro desde la extracción del recurso y el transporte al punto de venta, no consideran el uso y disposición final, ni incluyen una variedad indicadores de impacto social adicionales a los derivados de análisis económicos como la cantidad de puestos de trabajos generados.

En cuanto al indicador social de la generación de empleo, puede afirmarse que se trata del indicador más usado por los investigadores que utilizan MCDA ya que su medición cuantitativa hace más objetivos y precisos los resultados, a diferencia de otros indicadores con información cualitativa de difícil estimación. Un ejemplo del uso de MCDA para los sistemas del transporte, diferente a los relacionados con la producción de carburantes, es el estudio desarrollado por Scarpellini *et al.* [455] en donde se diseña un modelo para la evaluar la inversión en nuevas tecnologías o eco-innovaciones en el transporte urbano de pasajeros, teniendo en cuenta también el impacto económico y social a través de curvas de ahorro-empleo-inversión. En este estudio se elige como indicador social la creación de empleo para garantizar la objetividad de los resultados, además por ser el empleo una de las principales preocupaciones de los últimos años entre la población española.

En cuanto a la existencia de estudios enfocados a otros elementos del sistema de transporte solo se ha encontrado el relacionado con el ciclo de vida de 6 procesos de mantenimiento de una carretera realizado por Elghali *et al.* [456]. En este estudio se realiza un intento de integrar el aspecto socioeconómico en la toma de decisiones a partir de un ACV, en el sentido de involucrar las percepciones de un grupo personas entrevistadas para la ponderación, mediante un MCDA, de cada categoría de impacto ambiental identificados en un ACV. Sin embargo, este tipo de inclusión de percepciones sociales para la evaluación de la sostenibilidad no está muy ligado al análisis que se pretende realizar en este trabajo, en donde la finalidad del estudio en su dimensión social y socioeconómica es tener en cuenta una serie de subcategorías de impacto como las recomendadas por las directrices para el ASCV de la UNEP/SETAC, Tabla II.4.

Recientemente, Ekener *et al.* [457] realizaron una revisión bibliográfica de aplicaciones del ASCV y de las directrices de la UNEP/SETAC con el fin de motivar la ejecución de análisis de impacto social al proponer la inclusión de subcategorías adicionales que permitan contemplar e incorporar impactos positivos en el ciclo de vida. Dicho estudio se realiza partiendo del anterior análisis para biocarburantes del mismo autor [438], basado en la SHDB, base de datos limitada solo a los impactos negativos. Solo algunas de las subcategorías de impacto social propuestas en las directrices de la UNEP/SETAC podrían representar impactos positivos, como el empleo local, compromiso público con los problemas de sostenibilidad, la contribución al desarrollo económico y tecnológico. Sin embargo, la ausencia de un impacto negativo, como el trabajo infantil, puede considerarse como impacto positivo, especialmente en sectores donde el trabajo infantil es una práctica común.

Desde el punto de vista de las características del empleo generado, cabe mencionar que el empleo local podría considerarse como un impacto menos positivo si se tratara de empleo que no cumpliera unas mínimas condiciones, siendo este un aspecto poco estudiado en la literatura en la materia. Se destaca, además, que la mayoría de estudios que intentan incluir impactos positivos de este tipo se han basado en encuestas y entrevistas a los *stakeholders*, aunque esto puede ser complicado para realizarse en todo el ciclo de vida. Así, los métodos de análisis multi-criterio MCDA pueden ser útiles para solventar esta complejidad de la gran cantidad de información y analizar así los impactos positivos y negativos, incluso sin tener que monetizarlos para ser comparados con otros tipos de ACV en una misma unidad funcional, sino en escalas numéricas normalizadas para comparar tanto variables cuantitativas como cualitativas. Aunque se necesita de un *decision-maker* experimentado y un grupo de *stakeholders* para poder utilizar los MCDA junto con los ACV eficientemente. Adicionalmente, los MCDA sirven para ponderar determinadas subcategorías de impacto, ya que dependiendo de la región, algunas de estas pueden ser más importantes que otras [457].

### 2.3.3. Estudios de Análisis de Costes de Ciclo de Vida (ACCV)

Mucho antes que los ACV ambientales, el sector del transporte ha venido realizando estudios análogos al análisis de costes del ciclo de vida. Estos estudios han sido básicamente análisis de rentabilidad de las inversiones, en los que se analizan los flujos monetarios desde la compra de edificaciones o equipos, su uso y mantenimiento, hasta su disposición final (venta de segunda mano, chatarra, reciclaje, entre otros); mientras que, para productos manufacturados, básicamente son análisis de costes de producción desde la entrada de la materia prima hasta la venta al distribuidor o al consumidor final. Estos estudios de viabilidad económica y financiera, normalmente se realizan sin traspasar los límites de la empresa. No obstante, ciertos grupos empresariales con presencia o intereses en los diferentes niveles de las cadenas productivas, se han ido aproximando a esta perspectiva de análisis del ciclo de vida económico, incluyendo todos los procesos desde la etapa de investigación y desarrollo de un producto, la extracción y transporte de materias primas, su producción, uso, hasta la disposición final del producto. Su principal objetivo ha sido calcular y optimizar los costes de fabricación de sus productos, así como reducir los costes de uso y mantenimiento durante su vida útil tanto para productos que serían utilizados por las mismas empresas o por sus clientes, brindando una ventaja competitiva de sus productos en el mercado. Por todo esto, hay gran cantidad de información bibliográfica en el ámbito del análisis de costes de productos o servicios realizados con diferentes límites y enfoques en su ciclo de vida.

Aunque el término de Análisis de Costes del Ciclo de Vida (ACCV) fue utilizado por primera vez en 1965 en el reporte llamado *Life Cycle Costing in Equipment Procurement* [151], hasta la fecha no existe una metodología normalizada y reconocida internacionalmente para su estudio.

En el sector de la automoción han proliferado estudios similares a un ACCV, aunque utilizando la teoría de Coste total de la Propiedad (*Total Cost of Ownership – TCO*), que fue definida en 1995 por L. Ellran [458] como una filosofía y herramienta de compra, con el fin calcular el coste real de tener un producto o servicio desde el punto de vista del comprador o usuario. En este

sentido, el cálculo del TCO contempla los costes que afectarían al propietario del vehículo solo desde el momento de la compra y durante su uso, aunque también se podrían incluir costos de disposición final o un ingreso por su valor residual. Un ejemplo de estos estudios, es el informe divulgado por la empresa Iveco sobre el TCO de sus camiones de largo recorrido *Stralis Hi-Way*, en el que los costes en su ciclo de vida corresponderían en un 8% a la inversión inicial (compra del camión), 5% mantenimiento y reparación, 36% consumo de combustible, 33% costes salariales del conductor y un 18% a los peajes e impuestos [459].

En este ámbito de análisis, Bhadury *et al.* [460] desarrollaron un modelo de optimización para la adquisición de camiones para el transporte de mercancías en Norte América, basándose en las metodologías TCO o ACCV que fueron consideradas como similares o equiparables por estos autores. Por esta razón, en su modelo en el cual incluyen los ingresos generados por cada camión para encontrar la relación coste-beneficio, la base para el cálculo de costes del ciclo de vida es mencionada como TCO/LCC o simplemente la fase TCO. De manera similar, la mayoría de los estudios encontrados de ACCV que involucran vehículos, al día de hoy, realizan un TCO, evidenciándose que la metodología de ACCV aún presenta vacíos o confusiones en su definición.

Entre los primeros estudios que mencionan el uso de la metodología de ACCV en el sector del transporte, para el caso de la infraestructura, se encuentra el análisis para la optimización en el diseño de puentes de acero desarrollado por Lee *et al.* en 2004 [461]. Los autores emplean la terminología del ACCV para el desarrollo de modelos de optimización en los costes totales de estos puentes con el fin de determinar si la optimización de los costes iniciales de construcción afectaría a los costes totales del ciclo de vida por el incremento en los costes directos e indirectos de rehabilitación de los puentes. El coste inicial incluiría los costes de planeación, diseño, movimientos de tierra y construcción de la estructura, mientras que los costes de rehabilitación quedan determinados por la probabilidad de que concurren circunstancias que requieran de un desembolso o coste directo para su reparación o generen costes indirectos como por ejemplo pérdidas humanas o lesiones en accidentes, costes para el usuario (costes de tiempo de espera, costes operación de vehículos, costes de seguridad y accidentes, costes de comodidad y conveniencia y costes ambientales [462]) y pérdidas socioeconómicas por la afectación de los sectores industriales de la región. En dicho estudio concluyen que, si bien optimizando los costes iniciales se obtienen costes más bajos en esta etapa, se incrementan demasiado los costes de rehabilitación, acumulando costes totales en su ciclo de vida más altos que un diseño convencional, mientras que optimizando tanto los costes iniciales como los de rehabilitación se logra obtener costes totales alrededor de un 30% más bajos frente a un diseño convencional.

Lee *et al.* [463], continuando con esta misma línea de investigación, complementan su anterior trabajo agregando los factores de estrés ambiental como la corrosión y el tráfico de camiones a los modelos de costes de mantenimiento y rehabilitación dada la influencia de estos factores en la fatiga de los materiales, incrementando la probabilidad de fallo de la estructura. Encuentran que, con el fin de optimizar los costes totales del ciclo de vida, se incrementan ligeramente los costes iniciales dados los gastos adicionales para prevenir daños por corrosión y fatiga, pero que son compensados con inferiores costes de rehabilitación. Aunque en estos

estudios se refieren al ACCV, no tienen en cuenta el fin de vida o disposición final del puente de acero, etapa importante dado el valor del acero para reciclaje y los costes que implica el desmantelamiento de su estructura.

Chan *et al.* [464] y List [465] también han resaltado la necesidad de realizar análisis de costes en el ciclo de vida de las carreteras para estimar la sostenibilidad financiera del proyecto durante su vida útil estimada. Martin y Thoresen [466], con el fin de estimar los costes del desgaste de las carreteras relacionado con la carga de vehículos de transporte de mercancías, diseñaron la herramienta FAMLIT- *Freight Axle Limits Investigation Tool*, un modelo para el ACCV del pavimento, teniendo en cuenta variables como el tipo de material de la carretera, el clima y el número de ejes de los camiones. Qiao *et al.* [467] evaluaron los efectos del cambio climático en el mantenimiento de las carreteras, concluyendo que con la implementación de estrategias de mantenimiento se puede mitigar el impacto en los costes del ciclo de vida de la carretera. Similarmente, Ding *et al.* [468] encontraron óptimo el ACCV de una carretera cuando se realizaban mantenimientos preventivos al pavimento. Basu *et al.* [469] evaluaron un ACCV para carreteras con 7 diferentes tipos de pavimento, en donde los de base de asfalto reciclado reducirían los costes del ciclo de vida de la carretera. Mientras que Winne *et al.* [470] estudiaron la selección de pavimentos para la mitigación del ruido en las carreteras, identificando los segmentos de la carretera en donde el pavimento de baja emisión de ruido sería preferido con base en el número de residencias cerca de la carretera con el fin de optimizar los costes su ciclo de vida. Moretti *et al.* [471] realizaron un ACCV para los túneles de carreteras comparando 3 tipos de pavimentos, en donde el hormigón es el óptimo por ser más blanco que el asfalto, reduciendo los costes de iluminación del túnel. Santos y Ferreira [472] desarrollaron un modelo de ACCV para la evaluación de estructuras de pavimento flexible para ciclos de vida de más de 40 años para ser aplicado a carreteras.

Para la parte de vehículos, se han desarrollado ACCV y ACV para vehículos eléctricos ligeros de pasajeros [473] y de distribución urbana de mercancías usando un ACV híbrido con un IOA [356] y un TCO [474]. Du *et al.* [475] realizan un ACCV adaptado de un TCO, es decir, calculan los costes del ciclo de vida para el cliente o dueño del vehículo (compra y operación del vehículo), para comparar los ahorros en costes de combustible por el uso de materiales livianos como el magnesio en la fabricación de los vehículos.

Para los combustibles, hay estudios tanto desde el punto de vista de los productores en donde básicamente se evalúan los costes de producción de cada tipo de combustible como desde el punto de vista del usuario que son básicamente TCOs. Para el primer caso, un ejemplo es el ACV y análisis económico del biodiésel presentado por Varanda *et al.* [265], en el cual se incluyen las materias primas y la producción del biodiésel, pero no incluye la construcción de la planta, la distribución ni el uso de biodiésel.

Hackney y De Neufville [476] publicaron un análisis de diferentes combustibles alternativos usados en vehículos ligeros de pasajeros considerando el ciclo de vida, destacando los combustibles líquidos producidos a partir del gas natural como el metanol por su buen desempeño y bajos costes. Zhou *et al.* [477] realizaron un análisis multicriterio considerando indicadores de ciclo de vida en vehículos ligeros. Goedecke *et al.* [427] realizaron un análisis

de costes del ciclo de vida para el usuario y además realizaron un análisis de costes para el cual los autores incluyeron los costes externos (contaminación del aire) y los mismos costes asumidos por el usuario, concluyendo que la tecnología con menores costes sociales son los vehículos con GNC en Tailandia. Mientras que, en la misma institución tailandesa, Nguyen *et al.* [478] publicaron un año después el ACCV para el etanol producido de mandioca, desde el cultivo de la mandioca hasta la distribución del etanol para ser mezclado un 10% con la gasolina, lo cual reduciría muy poco los precios en la estación de servicio. Mbarawa [479] determinó que el uso de mezclas de aceite de clavo con diésel convencional no sería competitivo a pesar de que el impacto ambiental de las emisiones se valora económicamente en los costes del ciclo de vida. Ong *et al.* [480] realizan un ACCV para el biodiésel a partir de aceite de palma en Malasia, mientras que Hu *et al.* [481] estudian el biodiésel a partir de soja en China, concluyendo que es esencial que se implementen políticas fiscales y de subsidios para que puedan competir frente el diésel convencional. Ren *et al.* [482] desarrollan en China un modelo de optimización de costes de la logística de biocarburantes bajo una perspectiva del ACCV. Weinberg y Kaltschmitt [483] analizaron los costes de diferentes biocarburantes obtenidos de la madera, encontrando el metano como la mejor opción. Li *et al.* [426] realizaron ACCV para el gas natural sintético del carbón producido en China para calefacción, uso doméstico y en transporte público, comparándolo con combustibles como el carbón, GN, GLP, diésel y metanol, en donde teniendo en cuenta también costes externos, concluyeron que solo es rentable para el uso doméstico.

Luo *et al.* [254] realizan un ACCV comparativo entre el bioetanol a partir de caña de azúcar de Brasil y la gasolina, en donde el bioetanol resultaría óptimo dependiendo de los precios del petróleo y del tratamiento tributario. Para el bioetanol a partir de recursos lignocelulósicos, Daylan y Ciliz [484], teniendo en cuenta costes de producción del bioetanol y la gasolina a partir de la herramienta de ACCV de GaBi4, encontraron que usando mezclas del 85% de bioetanol en la gasolina se reducirían en 23% los costes de operación de los vehículos. Sawaengsak *et al.* [485] determinaron que los costes de producción del biodiésel a partir de microalgas en Tailandia deben reducirse en un 50% para ser competitivos frente al diésel convencional.

Yao *et al.* [486] realizan un ACCV para el uso de hidrógeno como combustible, producido por diferentes métodos en China, concluyendo que se obtienen menores costos utilizando el hidrógeno obtenido a partir del reformado del gas natural, transportado en forma comprimida en cilindros por carretera hasta las estaciones de servicio y utilizado en vehículos de motor de combustión interna. Beal *et al.* [487] y Quinn y Davis [307] estudiaron varios tipos de biocarburantes a partir de algas determinando que en el corto plazo ninguno sería competitivo ante los precios actuales del petróleo. Meyer y Weiss [488] estudiaron en Alemania la viabilidad económica de la producción de hidrógeno y biogás a partir de microalgas, encontrando que los costes en el ciclo de vida para cada combustible exceden a los obtenidos de fuentes convencionales, incluso para el año 2030; aunque se podría obtener una producción menos costosa cambiando de ubicación a un lugar con mayor radiación solar.

Mientras que Lee *et al.* [349], demostraron que el uso de hidrógeno a partir de energía eólica en coches ligeros con pila de combustible es más económico que el uso de la gasolina en Corea

del Sur, considerando el hidrógeno libre de impuestos. Gabbar *et al.* [489] realizaron ACCV para vehículos ligeros a gasolina convertidos a GNC, encontrando retornos de la inversión en promedio de 7 años. Streimikiene *et al.* [490] compararon diferentes carburantes y tecnologías en vehículos ligeros donde el biodiésel y el GNC serían las opciones más económicas para el usuario. Uusitalo *et al.* [194] estudiaron la viabilidad económica del uso del biogás en el transporte teniendo en cuenta costes externos y políticas tributarias en Finlandia, en donde para los productores y distribuidores sería rentable en mediana y gran escala, mientras que para el usuario de vehículo urbano de pasajeros sería rentable en recorridos anuales de más de 60 000 km o de alrededor de 40 000 km si hay beneficios tributarios por el uso del biogás. Dimitrova y Maréchal [491] realizaron un análisis tecno-económico de diferentes configuraciones de vehículos híbridos eléctricos frente a un vehículo ligero convencional a gasolina, determinando que los costes totales del ciclo de vida (150 000 km) serían similares en todos los casos, alrededor de 20 000 euros. Shahraeeni *et al.* [328] compararon los costes de reemplazar el uso de diésel por GNC en las flotas de camiones ligeros de reparto semi-urbano en Canadá, estimando ahorros alrededor de 30 000 dólares en el ciclo de vida de estos vehículos. Zhao *et al.* [492] determinaron que utilizando camiones eléctricos ligeros para reparto urbano se obtendrían ingresos adicionales entre 20 000 y 50 000 dólares frente al uso de un camión diésel en su ciclo de vida, considerando la venta de los excedentes diarios de electricidad de sus baterías a la red.

La tendencia encontrada en la mayoría de estudios que intentan realizar un análisis económico considerando el ciclo de vida de los procesos involucrados en el transporte, es medir paralelamente el impacto ambiental mediante un ACV y el desempeño económico mediante diferentes indicadores, considerando la vida útil de cada producto o servicio. Estos estudios, que ya se han mencionado anteriormente, serían los llamados ACV híbridos.

Otros estudios bastante extendidos, son los que además de medir impacto ambiental por medio de un ACV, monetizan estos impactos para adherirlos a la evaluación económica de estos procesos, son conocidos como análisis o contabilización de costos externos o externalidades.

Goh y Yang [493] resaltaron la importancia de tener en cuenta los costes sociales y ambientales en un ACCV, ya que hasta este momento la mayoría de estos estudios no los habían considerado. En dicho estudio, para la construcción y operación de una autovía en Australia, los *stakeholders* afirmaron, a través de entrevistas semiestructuradas para valorar el grado de percepción de diferentes impactos, que los costes sociales que tendrían más importancia para los expertos serían los relacionados con los accidentes de tráfico, mientras que los ambientales serían los relacionados con la contaminación del agua.

Nocker *et al.* [425] presentaron un informe basado en la metodología ExternE para el cálculo de las externalidades del sistema de transporte sobre la salud pública, materiales y agricultura con el fin establecer una metodología unificada para la contabilización y monetización de las externalidades medioambientales y sociales del uso de la energía en su ciclo de vida, con el objetivo de guiar las políticas del medioambiente, energía y transporte [92]. El trabajo inicialmente se enfocaba en la evaluación de los costes externos de las diferentes fuentes de

energía para la generación de electricidad. Si bien estos procesos incluían el transporte de las materias primas y combustibles hasta las plantas de producción y de generación de electricidad, no fue hasta el año 1998 [494] cuando se incluyó también el ciclo de vida de las energías cuyo uso final fuera el sector del transporte de acuerdo con los resultados del *Externe Transport Project* entre el periodo 1996-1997 por el *Institute for the Rational Use of Energy* [495]. De esta manera, para las operaciones del transporte son considerados los costes externos sobre el medioambiente y las personas debido a las emisiones contaminantes del aire, el ruido y los accidentes de tráfico.

A partir de estos resultados, la metodología resultante fue utilizada en proyectos europeos en el sector del transporte como el *UNITE (Unification of accounts and marginal costs for transport efficiency)* y *RECORDIT (Real cost reduction of door-to-door intermodal transport)*. El proyecto UNITE provee a las administraciones públicas un marco para establecer una política de tarificación del uso de la infraestructura del transporte como los costes de peajes en las carreteras con el fin de compensar los externalidades sociales y medioambientales. Mientras que el RECORDIT, ha sido desarrollado para calcular los costes internos y externos del transporte intermodal de mercancías considerando las emisiones en la fase de uso y en el ciclo de vida [93]. Otros estudios y metodologías para cuantificar o internalizar los costes externos del transporte por carretera se han publicado en [44,58,496–506]. Aunque varios de estos estudios utilizan factores de conversión de cantidad de emisiones a unidades monetarias obtenidos de otras publicaciones, generan la sobrestimación del valor económico total de las externalidades, ya que no consideran los efectos de sustitución y compensación [504,507], por ejemplo, las emisiones evitadas por el uso de bioetanol en lugar de la gasolina.

En el campo de estudio de la asignación de valor monetario de los impactos medioambientales, los métodos de evaluación de impactos de los ACV como LIME<sup>5</sup>, EPS<sup>6</sup>, ReCiPe<sup>7</sup>, entre otros [508], también han proporcionado factores de conversión de daños medioambientales a unidades monetarias. En el caso de ReCiPe, son presentados los factores basados el costo marginal de reducción por kg de las emisiones generadas para cada categoría de impacto, representativos para Holanda en el periodo 2000-2010 [509]. Sin embargo, dada la representatividad temporal de los datos, el autor sugirió posteriormente no utilizar esta información para estudios actuales [510]. Para el caso de las tres categorías de daños finales del método ReCiPe: salud humana, calidad del ecosistema y disponibilidad de recursos; fueron presentados factores basados en diferentes estudios utilizando diversos métodos de cálculo, con base en los costos de los daños asociados a precios del mercado o a la disposición a pagar (*willingness to pay- WTP*) de la persona afectada para evitar un impacto negativo, o la disposición a aceptar (*willingness to accept -WTA*) el pago como compensación si se produce un impacto negativo [511].

---

<sup>5</sup> LIME: *Life cycle Impact assessment Method based on Endpoints*. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba, Ibaraki, Japan.

<sup>6</sup> EPS: *Environmental Priority Strategies*. Center for Environmental Assessment of Product and Material Systems (CPM), Chalmers University of Technology

<sup>7</sup> ReCiPe: el método es llamado de esta manera dado que proporciona una “receta” para la evaluación de los impactos de inventarios de ciclo de vida. Además, el acrónimo representa las iniciales de las instituciones colaboradoras: RIVM and Radboud University, CML, y PRÉ Consultants.

Además de que cada análisis del valor monetario de las externalidades varía dependiendo del contexto de cada país, los factores obtenidos a través de las diferentes métodos pueden verse afectados por aspectos demográficos como la desigualdad social en cada país, especialmente cuando se utilizan métodos WTP o el WTA [494]. Asimismo, los costos de la mano de obra y de los materiales utilizados para mitigar los impactos varían de un país a otro dependiendo de su disponibilidad y otros aspectos del mercado. Otro factor que hace poco representativa la utilización de factores de monetización de impactos calculados en otros países es la capacidad de compra de cada moneda y las tasas de descuento o índices de inflación que puedan haber ocurrido en un periodo determinado, en caso de utilizar factores de reportes publicados muchos años atrás.

A pesar de que cada análisis del valor monetario de las externalidades varía dependiendo del contexto de cada país, la mayoría de los estudios anteriores coinciden en que el elemento que mayores costes externos aporta al sistema del transporte es la operación de vehículos de gran tonelaje, contribuyendo al deterioro de construcciones y carreteras y también causando accidentes y congestión [44]. Algunos estudios relacionados con la infraestructura utilizada por el transporte de mercancías como centros logísticos o terminales intermodales consideran que los impactos negativos sobre la sociedad y medioambiente son casi despreciables en todo el sistema. En un estudio elaborado por Janic [512] para la modelización de costes de la cadena logística se tienen en cuenta los costes externos de la operación y mantenimiento de estas terminales, considerando solamente el uso de electricidad usada por las grúas de movimiento de contenedores. Por otro lado, los demás efectos negativos que pueden causar estas terminales como la congestión, el ruido y los accidentes se consideran despreciables. Por ejemplo, no se presenta congestión ni ruido si se ubican las terminales lejos del casco urbano, mientras que si están en el interior de las ciudades la congestión es mínima y el ruido es considerado como parte del ruido del ambiente urbano, mientras que los accidentes de tráfico son eventos de rara ocurrencia [512].

## **2.4. Conclusiones**

En la actualidad, resulta evidente que en la evaluación de estrategias cuyo objetivo principal sea la reducción del impacto medioambiental tenga que tenerse en consideración los aspectos ligados a la sostenibilidad en todas sus dimensiones, es decir, que se trate de estrategias que sean socialmente responsable a la vez que económicamente viables.

Es en este punto de equilibrio donde las aproximaciones a las metodologías ASCV y de ACCV adquieren mayor relevancia para el sector del transporte, no solo para evaluar la sostenibilidad del servicio del transporte de mercancías, sino para contribuir al desarrollo y normalización de las metodologías existentes de aplicación a este sector que es tan relevante para la economía mundial. De hecho, en la actualidad no hay una norma o certificación específica para el ASCV ni el ACCV, lo que se ha sugerido es que estos análisis se deben realizar con base en las mismas fases descritas para el ACV por la ISO 14040.

Puede afirmarse que las empresas están en la actualidad cada vez más preparadas para realizar estudios de ACV guiados por la metodología ISO 14040, debido a la popularización de

los reportes de huella de carbono en sectores como el del transporte a partir de la inclusión de los sectores difusos en el Esquema de Comercio de Emisiones. No obstante, la implementación de medidas de disminución de emisiones de GEI en el sector del transporte de mercancías por carretera ha sido voluntaria, debido principalmente a que en la UE no se han impuesto límites en las emisiones de GEI en vehículos de servicio pesado. Así, para el sector del transporte, se identifica la norma europea EN 16258 como la más importante contribución a las metodologías de cálculo de huella de carbono. Esta norma proporciona las especificaciones técnicas y requerimientos para el desarrollo de modelos para el cálculo y reporte de consumo de energía y emisiones de GEI en los servicios del transporte. Sin embargo, el enfoque de esta norma solo tiene en cuenta el análisis WTW o ciclo de vida del combustible.

Por lo anterior, para analizar la cadena completa del transporte de mercancías, es decir, los componentes principales del sistema del transporte (vehículos, infraestructura y combustibles), se debe complementar el análisis usando los lineamientos de normas más amplias como la serie ISO 14040 para los ACV, que permitan incluir además de las emisiones de GEI causantes del cambio climático, otras categorías de impacto medioambiental.

A tal fin, debe tenerse en consideración que en el sector del transporte, se encuentran bastantes estudios de ACV para vehículos, infraestructura y los diferentes tipos de combustibles usados en el transporte de mercancías por carretera. No obstante, cabe destacar que en la mayoría de ACV para combustibles que consideran la fase de uso, solamente se reporta el impacto en el potencial del calentamiento global, relacionado con las emisiones de GEI, ya que para otras categorías de impacto, relacionadas con gases como el CO, NO<sub>x</sub>, MP, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> y COV, se requieren factores de emisiones específicos dependiendo del tipo de vehículo y la carretera. Los estudios que evalúan detalladamente esta fase de uso, normalmente son para vehículos ligeros de pasajeros, siendo muy poca la información disponible sobre el comportamiento de combustibles alternativos en vehículos comerciales. Por lo cual, para esta fase de uso de combustibles (TTW), las bases de datos solo incluyen factores de emisión específicos para uso del diésel y gasolina, existiendo algunas que incluyen el biodiésel y el gas natural. Algunas bases de datos como la guía *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* establecen que solo los factores de emisión para camiones diésel tienen alta precisión, ya que la experimentación con camiones a gasolina y gas natural no ha sido suficiente para garantizar estadísticamente la confiabilidad de los factores emisión.

Para el proceso de infraestructura, se encuentran varios estudios de ACV para la construcción de carreteras. Sin embargo, hay una alta dispersión en los resultados de la mayoría de estudios, principalmente por la definición de límites del sistema en el ACV realizado, en donde se incluyen o excluyen fases importantes como los movimientos de tierra o la fase de tráfico.

A pesar de que el ACV ha sido ampliamente normalizado, las normas ISO para el análisis de ciclo de vida están enfocadas en el estudio de impactos medioambientales, dejando a un lado el análisis social y económico, los cuales complementarían el análisis de estrategias en el sector del transporte para facilitar la toma de decisiones y la mejora continua de los procesos involucrados en el ciclo de vida de un producto o servicio. En un ACV, normalmente se cuantifican y evalúan los impactos negativos de un proceso sobre el medioambiente, mientras

que en los ASCV y ACCV se pueden analizar tanto impactos negativos como positivos. A pesar de existir abundantes discusiones teóricas y varios casos prácticos sobre cómo desarrollar una evaluación social y de costes del ciclo de vida, enfocados a productos, aún se necesita un mayor progreso científico. Además, cuando el análisis se enfoca en las organizaciones, es un campo de estudio que debe ser explorado y desarrollado, ya que los impactos sociales son escasamente determinados por los flujos físicos, sino más bien por la forma en que una organización actúa frente a los grupos de interés o *stakeholders* (trabajadores, clientes, comunidad local, sociedad y otros actores de la cadena de valor). Así, no obstante se hayan desarrollado ASCV bajo los mismos parámetros de la ISO 14044, persiste el problema de la heterogeneidad y en algunas ocasiones la subjetividad que puede llegar a tener el análisis de los impactos sociales y socioeconómicos, a diferencia de los impactos ambientales estudiados en un ACV, lo cual dificulta alcanzar un consenso para la elaboración de una norma internacional para los ASCV. Cabe resaltar además que si bien un ASCV evalúa los datos recopilados a nivel gerencial que tienen un impacto en la comunidad local, comúnmente analizados también con las metodologías de Responsabilidad Social Corporativa (RSC) como la norma *Social Accountability SA8000*, el ASCV incorpora datos a nivel de proceso, que son internos en la organización y que afectan a sus trabajadores, impactos que no tiene en cuenta los RSC.

La guía para la elaboración de un ASCV más completa para los objetivos de esta tesis es la descrita por la UNEP/SETAC, la cual propone analizar dos grupos de categorías. Un grupo relacionado con 6 categorías de impacto social 1) Derechos humanos; 2) Condiciones de trabajo; 3) Salud y seguridad; 4) Patrimonio cultural; 5) Gobernanza; 6) Repercusiones socioeconómicas; y el otro grupo relacionado con los *stakeholders*.

En el sector del transporte, solo se han publicado tres estudios detallados bajo las directrices de la UNEP/SETAC para los ASCV, los cuales se han realizado para la producción de biocarburantes, dada la preocupación de muchos sectores por los posibles impactos sociales negativos en los países en vías de desarrollo productores de estos recursos. Entre los métodos utilizados la elaboración de los inventarios del ciclo de vida se encuentra la realización de entrevistas a los *stakeholders* para evaluar su percepción acerca de los impactos sociales causados por operaciones agrícolas. Los otros dos estudios realizan el inventario a partir de fuentes secundarias como la base de datos *Social Hotspot Database-SHDB* o de reportes locales o internacionales disponibles en internet.

Como observación en tal sentido, cabe mencionar que la base de datos SHDB, a pesar de cubrir varios indicadores para cada categoría de impacto, está diseñada para subsectores específicos. Otra limitación de la base de datos es que contiene información a nivel de país, lo que compromete la precisión de un análisis concreto ya que en un mismo país pueden existir algunas empresas y regiones con mayores impactos sociales que otras. Adicionalmente, la SHDB es útil para valorar los potenciales impactos sociales negativos, pero no valora potenciales impactos positivos derivados de la actividad evaluada. Para las categorías consideradas en la SHDB, podría valorarse positivamente la ausencia de un impacto negativo en determinada categoría.

En el caso de los ACCV, los estudios en el sector del transporte son numerosos. No obstante, puede observarse que a pesar de que las metodologías de análisis de costes del ciclo de vida surgen antes que las de análisis de ciclo de vida ambiental, aún no hay establecida una norma internacional reconocida como la serie ISO 14040. Esto es principalmente porque aún no se ha logrado un consenso sobre el concepto del ACCV, ya que diferentes autores realizan este tipo de estudios con alcances y objetivos muy diferentes, en donde la mayoría básicamente realizan análisis de costes financieros.

Es por esto que es importante contribuir al desarrollo de metodologías de ACCV, en donde además de evaluar los costos financieros en el ciclo de vida de un producto o una actividad, se incluyan los costes medioambientales y sociales directos o las externalidades que pueden afectar económicamente a una sociedad. Estas externalidades, como el deterioro de infraestructuras, del medioambiente y de la calidad de vida, empobrecen a mediano y largo plazo las comunidades en donde no se tienen identificadas, las cuales podrían ser controladas mediante políticas públicas que puedan, por ejemplo, con impuestos o sanciones, internalizar estos daños en el ciclo de vida económico de la actividad responsable.

En el sector del transporte han proliferado hasta la fecha estudios que indican la utilización de una metodología de ACCV, pero en realidad la mayoría usa la teoría de Coste total de la Propiedad, la cual calcula el coste real de tener un producto o servicio desde el punto de vista del usuario. Básicamente, estos estudios serían ACCV financieros, ya que consideran únicamente los costos directos que son asumidos por el usuario o por la empresa cuando se realizan desde el punto de vista del productor. Los demás estudios que incluyen costos indirectos o externalidades que serían cubiertos por la sociedad, serían catalogados como ACCV medioambientales completos o ACCV sociales, cuyos resultados difícilmente pueden ser usados en otros estudios dada la heterogeneidad de cada contexto geográfico y demográfico.

A pesar de existir reportes sobre costos externos del transporte como el ExternE, UNITE o los elaborados para los métodos de evaluación de impactos de ACV como ReCiPe, de los que podrían utilizarse los factores de conversión de impactos medioambientales o sociales a valores monetarios, los resultados obtenidos no serían representativos en países diferentes a los considerados en dichos estudios. Esto se debe a que pueden existir grandes diferencias en los costos de los daños, de la prevención o de mitigación de determinado impacto dadas las características de cada ciudad como la densidad poblacional, las variables meteorológicas, la calidad de los ecosistemas, entre otras.

Es por esto que, si se pretende realizar la monetización de las externalidades del ciclo de vida de un producto o servicio, debe realizarse un exhaustivo estudio para determinar cuánto dinero en realidad se necesitaría para mitigar los impactos generados en determinada ciudad o región de un país. La elaboración de este tipo de estudios sería sumamente complicada en países no industrializados en donde no se cuenta con suficiente información local o de países similares de los cuales se puedan extrapolar datos esenciales para los cálculos necesarios. Asimismo, como se ha mencionado anteriormente, incorporar los resultados de un ACCV que incluya costes externos monetizados en un análisis de la sostenibilidad del ciclo de vida del servicio de transporte, podría generar la doble contabilización de los impactos

medioambientales o sociales, afectando el índice de sostenibilidad obtenido para el servicio evaluado y menospreciando los costos financieros directos considerados, en otras palabras, los costos de capital y de operación y mantenimiento directos tendrían muy poca relevancia en los resultados finales si se consideraran los costos externos monetizados.

Por todo lo anterior, se hace evidente que aún hay lagunas en la aplicación de estudios de ACCV y ASCV en el sector del transporte que sigan una metodología estandarizada y que pueda ser interpretada por cualquier interesado. Asimismo, para que este tipo de metodologías prosperen, deben de alinearse los intereses de quien los aplica y de quien los demanda, por lo que es importante que su aplicación no implique altos costos y que sus resultados generen impactos positivos en el corto y mediano plazo para las empresas.

En la revisión bibliográfica también se encontraron ambigüedades con la definición de ACV integrados y ACV híbridos. Se evidencia que en algunas publicaciones se le llama ACV integrado cuando se analizan además del impacto medioambiental, los impactos económicos o sociales de un proceso o producto, mientras que otros autores consideran que en los ACV integrados se analizan solo impactos ambientales para varios subprocesos paralelamente, como por ejemplo para las infraestructuras, combustibles y vehículos, en el caso del sector del transporte.

Basados en la mayor proporción de estudios publicados, se define en este trabajo como ACV integrado a una metodología para el análisis del impacto medioambiental en el ciclo de vida de varios componentes o subprocesos relacionados entre sí y que hacen parte de un producto proceso principal. Por otro lado, se define como ACV híbrido a una metodología en la cual se analizan los impactos medioambientales, económicos y/o sociales en el ciclo de vida de un único producto o proceso.

Para los objetivos de esta tesis, se pretende abordar tanto los ACV híbridos como los ACV integrados, es decir, se desarrollará una herramienta que permita el análisis híbrido de los ACV integrado de los componentes del sistema de transporte. El desarrollo de este modelo es descrito detalladamente en el capítulo V.

En definitiva, si se plantea realizar los ACV, ACCV y ASCV, además de realizarse de acuerdo a las mismas fases descritas por la ISO 14040 para el ACV, una metodología híbrida-integrada debe alinearse, con un enfoque y límites del sistema comunes, para poder interrelacionar las variables y obtener resultados que permitan una toma de decisiones acertada. La hibridación de las tres dimensiones de la sostenibilidad, de igual forma que la evaluación individual de cada dimensión en el ciclo de vida, no pretenden indicar si un producto o servicio es bueno o malo, pero si permiten tener información más amplia que ayude a evaluar estrategias y tomar decisiones para realizar inversiones o modificar procesos establecidos al interior de las organizaciones.



## CAPÍTULO III.

# ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL SISTEMA DEL TRANSPORTE: MEDIOAMBIENTAL, SOCIAL Y SOCIOECONÓMICO

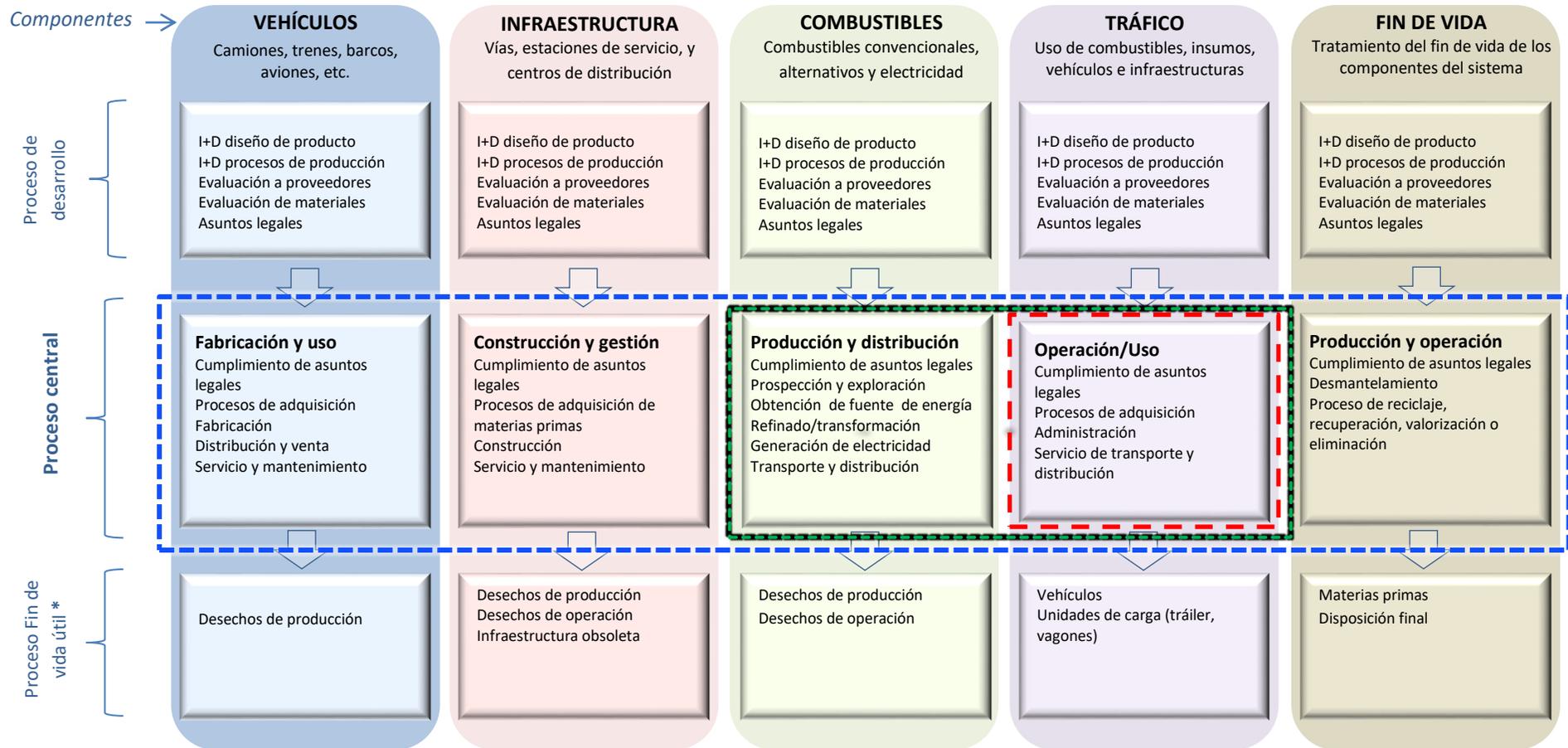
De acuerdo con indicaciones de la norma ISO 14044:2006 [88], para abordar un ACV es necesario establecer el objetivo y los límites del sistema a evaluar, que en este caso, es el conjunto de actividades que hacen posible la ejecución de un servicio de transporte de mercancías por carretera.

En la Figura III.1 se representan todos componentes involucrados en el sistema del transporte de mercancías y se definen los límites del presente estudio.

Con los límites establecidos para el ciclo de vida de los procesos centrales de cada *componente* del sistema de transporte y teniendo en cuenta que los componentes de Fin de Vida y Tráfico están incluidos en los tres componentes principales (Vehículos, infraestructura y combustibles) [513], se obtiene el nuevo sistema simplificado en la Figura III.2.

La Figura III.2 servirá como punto de partida para especificar al detalle las actividades incluidas y excluidas en cada análisis de ciclo de vida elaborado. Este establecimiento de límites y alcance de análisis de ciclo de vida medioambiental o social y socioeconómico es una fase determinante donde está en juego la posibilidad de caer en errores como la doble contabilidad [142,156]. Este problema se debe prever en el momento de asignar principalmente las actividades de operación de los vehículos, ya que estas actividades utilizan tanto combustibles como la infraestructura. Por ejemplo, en el caso de tener en cuenta el impacto de los residuos de asfalto generados por la fricción o abrasión de los neumáticos con la superficie de las carreteras, ¿este debería ser asignado como un impacto de los vehículos o de las carreteras? Asimismo, el tipo de material de la superficie de la carretera podría llevar a un mayor desgaste de los neumáticos y por ende requerir un reemplazo prematuro de neumáticos en el vehículo, ¿es justo que este impacto se contabilice en el ciclo de vida del vehículo?

Todas esas cuestiones se deben resolver teniendo en cuenta también la disponibilidad y calidad de datos para cada caso específico durante la fase de análisis de inventario, en donde pueden refinarse los límites del sistema y las actividades incluidas en este.



\*Incluye los residuos llevados al componente de Fin de Vida para su reutilización o reciclaje

 Límite del presente estudio

 Límite análisis *Well-to-Wheels*

 Límite análisis *Tank-to-Wheels*

**Figura III.1. Componentes del sistema de transporte.**

Adaptada de NTM [514]



Figura III.2. Procesos centrales del sistema de transporte

Debido a que las condiciones de operación de los vehículos pueden variar de una región a otra y por lo tanto sus relativos impactos, en esta misma fase en donde se definen los límites del sistema, se tiene en cuenta la cobertura geográfica del estudio. De esta manera, se deberán realizar los diferentes análisis de ciclo de vida a un caso específico de estudio en una región determinada, especialmente para el ASCV, debido a que la interacción de las empresas involucradas en el sistema tienen mayores impactos en los grupos de interés o *stakeholders* más próximos a su área de operación [515].

En este capítulo se describe la metodología propuesta para el desarrollo de los ACV y de los ASCV de manera individual. La descripción de la metodología de un ACCV se excluye de este trabajo dado que, como fue identificado en el Capítulo II, el ACCV más apropiado para ser considerado en un análisis híbrido para la sostenibilidad de un producto o servicio es el ACCV financiero, el cual es básicamente un análisis de costes directos que cada empresa maneja con

claridad y cuyo desarrollo no representa una novedad que pueda generar un aporte adicional a los datos en esta tesis.

### **3.1 Metodología de Análisis del Ciclo de Vida (ACV)**

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una técnica descrita internacionalmente bajo la norma ISO 14040 [98], que aborda los aspectos ambientales y potenciales impactos de todos los procesos existentes a lo largo del ciclo de vida de un bien o servicio, desde la extracción de materias primas, producción, almacenaje, transporte y utilización hasta su total desmantelamiento y disposición final. Básicamente, esta técnica, se desarrolla mediante 4 fases diferenciadas y correlativas:

- Definición de objetivos y alcance; en donde además se define la función y límites del sistema, unidad funcional, categorías de impacto y método de evaluación de impacto.
- Análisis de inventario; en donde se elabora un inventario de datos de todas las entradas y salidas de cada proceso del sistema evaluado.
- Evaluación de impactos; a través de la clasificación, caracterización, normalización, agregación y ponderación de las salidas en categorías de impacto intermedias y finales, relacionadas con la salud humana, el ecosistema y la disponibilidad de recursos.
- Interpretación de resultados; con el fin de establecer las conclusiones y recomendaciones de acuerdo con el objetivo y alcance definidos.

En esta propuesta se diseña el enfoque metodológico sobre cómo abordar el sistema de transporte de manera integrada, se describen las categorías de impacto y las fuentes de información, métodos de cálculo para la elaboración de los correspondientes inventarios de cada uno de los procesos del sistema y los métodos de evaluación de impactos más apropiados para garantizar la consistencia y transparencia de los resultados.

#### **3.1.1. Definición de objetivos y alcance**

Además de definir la función y los límites del sistema y la unidad funcional, en esta fase se deberán identificar las categorías de impacto a evaluar, así como los requisitos de calidad de los datos. El objetivo es garantizar la consistencia de los resultados esperados para cada una de las actividades a evaluar en cada componente, lo que dependerá de la cantidad y calidad de los datos existentes. Es por esto que, la definición inicial del alcance y actividades incluidas podrían ser modificadas durante la elaboración del inventario de datos a medida que se analice la calidad de los datos obtenidos, eliminando así incertidumbre en los resultados.

### 3.1.1.1. Delimitación del sistema

Dada la interacción de los diferentes componentes del sistema del transporte, en donde el proceso de Tráfico es el núcleo del sistema, realizar análisis individuales a cada componente no es conveniente, ya que existen impactos que deben ser analizados en conjunto (*e.g.* la abrasión de los neumáticos y la superficie de carreteras). Otro proceso importante, que tampoco puede ser analizado individualmente es el proceso de fin de vida, porque también puede funcionar con las salidas de los demás componentes. Además, sus salidas forman a su vez parte de un gran número de entradas de estos componentes que la alimentan, mediante la reutilización de piezas y material reciclado en la fabricación de vehículos, producción de combustibles y construcción y mantenimiento de carreteras, contribuyendo a la economía circular en este sector.

La función del sistema, es básicamente el servicio de transporte de determinada cantidad de mercancía de un punto a otro en un tipo específico de vehículo. De esta manera, la definición del sistema del ACV para el proceso de tráfico de una forma más simplificada, en donde se tienen en cuenta estrictamente los flujos físicos, es representada en la Figura III.3.

Cabe resaltar que, la definición de la función del sistema es fundamental cuando se pretende comparar dos sistemas diferentes, por lo que es necesario que realicen la misma función [516]. Es decir, no es igual comparar un sistema de transporte de pasajeros en vehículos ligeros con sistemas de transporte de mercancías en trenes o camiones, en donde los impactos medioambientales son asignados a diferentes unidades funcionales y, por ende, no pueden ser comparadas.

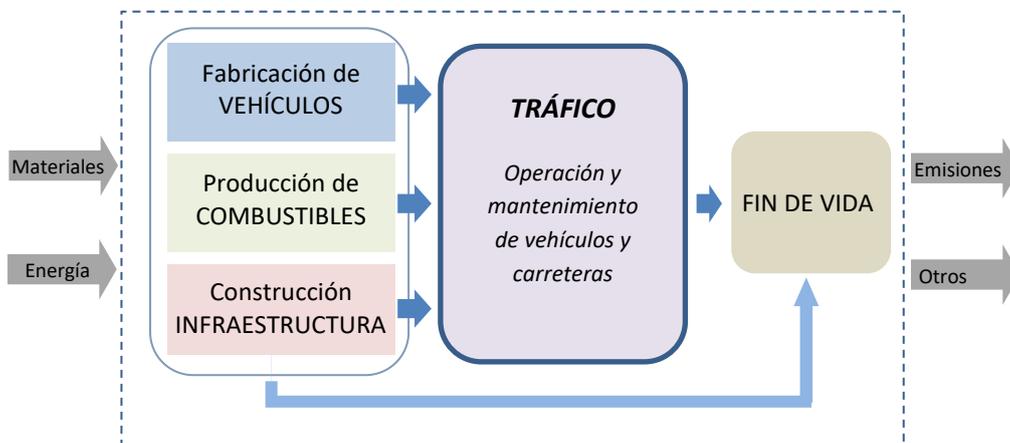


Figura III.3. Límites del sistema de transporte simplificado

En esta delimitación del sistema, el Tráfico pasa de ser un componente a ser el proceso principal del sistema en donde se incluyen también las actividades de operación y mantenimiento de los vehículos e infraestructura, ya que sin existir el tráfico o los servicios de transporte (movilidad de pasajeros o mercancías en vehículos motorizados), el mantenimiento de vehículos e infraestructura no se llevaría a cabo (suponiendo que un vehículo estacionado y una carretera sin uso no se deterioraran ni generaran impactos).

Las actividades del Fin de Vida se refieren básicamente al reciclaje, reutilización, valorización o eliminación de materiales de vehículos y carreteras, muchos de los cuales se utilizan en la fabricación de nuevos vehículos y en la construcción o mantenimiento de carreteras.

Además de las emisiones de la combustión, de partículas por la abrasión de frenos, neumáticos y superficie de carreteras y otros vertidos al medioambiente, hay otro tipo de salidas, generadas en los procesos de fin de vida como son los subproductos o materiales con usos en otros sectores económicos.

Para los casos a estudio, las actividades a considerar serían las indicadas en Figura III.2, aunque durante el análisis del inventario alguna puede ser excluida dada la falta de información o su irrelevancia en el sistema.

En cuando a la unidad funcional, en el sector del transporte es usual calcular las entradas y salidas por kilómetro recorrido. Sin embargo, como no todas las operaciones en el sector prestan exactamente los mismos servicios, es decir, un mismo vehículo puede transportar una o varias personas, como también cero o varias toneladas (t) de mercancías en carreteras con diversas condiciones, la evaluación de los flujos y eficiencia de los servicios del transporte debe realizarse en términos de pasajeros por kilómetro (pkm) en el caso del transporte de pasajeros o en términos de toneladas por kilómetro (tkm) para el transporte de mercancías.

Otro aspecto que debe ser definido dentro del alcance del sistema a evaluar, son los requisitos de la calidad de datos, como la cobertura temporal y geográfica, que se refiere a la antigüedad de los datos a utilizar y la procedencia de estos. Para procesos o métodos de producción bastante desarrollados como la fabricación de vehículos o la construcción de carreteras, que no presentan mucha variabilidad en cuanto al impacto ambiental, el ámbito o cobertura temporal y geográfica puede ser flexible, es decir, se podrían utilizar datos con antigüedad hasta de 10 años y de cualquier origen, aunque procurando en lo posible utilizar los más recientes y de procedencia nacional. En cuanto a la cobertura tecnológica, se debe definir si los datos se refieren a la mejor tecnología disponible o a una media ponderada de las tecnologías [516], lo cual dependerá de la base de datos utilizada para cada proceso en el análisis del inventario del ciclo de vida. Asimismo, la decisión de qué base de datos utilizar dependerá de la precisión, amplitud y representatividad de los datos buscada.

### **3.1.1.2. Tipología del ACV**

Dado que durante el servicio de transporte de una cantidad específica de mercancía de un punto a otro no existirían elementos variables en el tiempo, es decir, la eficiencia del motor del vehículo o el tipo de combustible no cambiaría, se considera la realización de un ACV estático en lugar de uno dinámico. De igual manera, para en cuanto al tipo de ACV según los resultados relativos a las decisiones y efectos en el sistema evaluado, se considera más adecuado un enfoque atributivo o descriptivo que un enfoque consecencial. Así, el objetivo será describir los impactos del servicio de transporte a partir del impacto aportado por los componentes del sistema, sin considerar efectos en la oferta, limitaciones o restricciones del mercado, es decir, la disponibilidad de cualquier producto requerido será total.

Si se utilizara un tipo de ACV con enfoque consecuencial u orientado al cambio, usado normalmente en evaluaciones a largo plazo, las decisiones con relación a cambios de tecnologías, métodos de fabricación y uso de materiales, así como los impactos de fase de uso del producto, podrían afectar la oferta de materiales. Por ejemplo, si con la fabricación de un producto se está afectando la disponibilidad o la composición del agua, la cual se usa posteriormente como una entrada del mismo proceso de fabricación, podría afectar este proceso generando mayor contaminación o deteriorando maquinaria, debiendo ser reemplazada o reparada con mayor frecuencia, aumentando los impactos medioambientales en el ciclo de vida del producto. Mientras que, en un ACV con enfoque atributivo, se hace referencia a la modelización basada en procesos lineales, destinada a proporcionar una representación estática de las condiciones medias [517], sin que las salidas del sistema afecten sus posteriores entradas de materiales o flujos de energía.

### 3.1.1.3. Categorías de Impacto

En la primera fase del ACV, se realiza una preselección de categorías de impacto a evaluar en función del conocimiento previo de las principales emisiones o impactos que tendría el sistema, así como también las principales preocupaciones a nivel mundial y local. La selección de las categorías de impacto o *midpoint categories*, está ligada a la selección del método de evaluación de impacto, que agrupa determinadas de categorías de impacto, así como sus factores de caracterización y agregación de sus resultados en categorías de daño final, conocidas como *Endpoint categories*, como los daños a la salud humana, a los ecosistemas y el agotamiento de los recursos, Figura III.4.

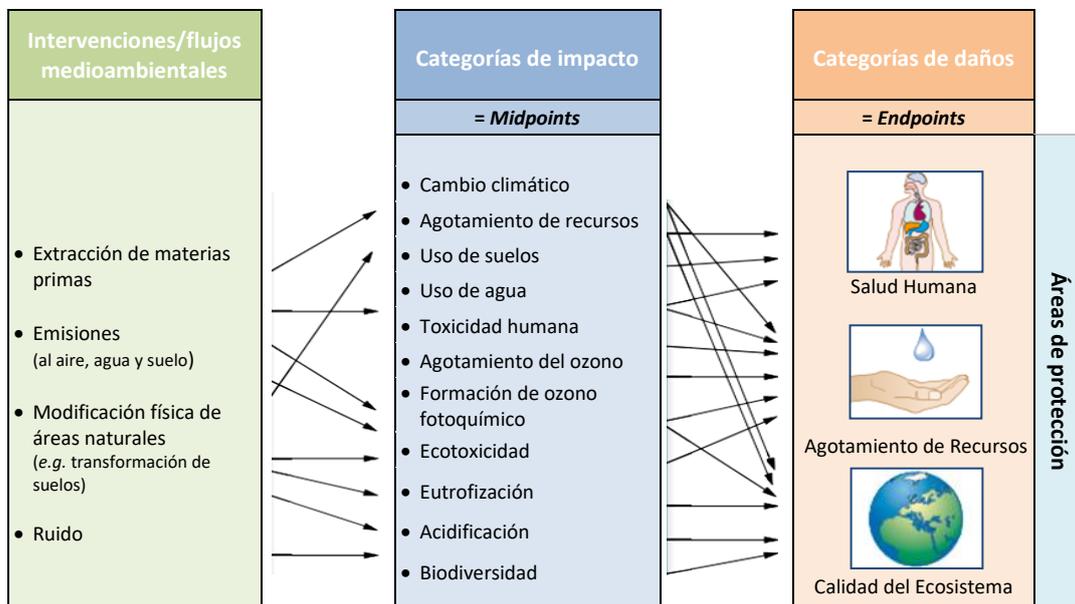


Figura III.4. Esquema de evaluación de impactos de un ACV.  
 Descrito por la UNEP/SETAC [518]

De acuerdo con la ISO 14044:2006 [88] el cálculo de las categorías de daños finales es opcional. La evaluación del impacto utilizando solamente las categorías de impacto es totalmente válida y sus resultados pueden ser comparables entre casos de estudio y obtenerse conclusiones y recomendaciones para estos.

Dependiendo de las categorías de impacto que se deseen considerar, se debe buscar el método de evaluación que incluya estas categorías que mejor describan los impactos finales del servicio o producto a evaluar.

El hecho de elegir un método de evaluación del impactos no significa que se deban evaluar todas las categorías de impacto incluidas en el marco de cada método; cada autor puede elegir las categorías de impacto de mayor interés. En los ACV para el sector del transporte se utilizan habitualmente hasta 5 categorías de impacto y se interpretan sus resultados sin llegar a agruparlos en categorías de daños finales. Entre las categorías de impacto más usadas se encuentran el Cambio Climático, la Acidificación, la Eutrofización, el Agotamiento del Ozono y el Consumo energético o agotamiento de recursos [215,285].

La mayoría de ACV para el sector se centran en los combustibles y analizan casi exclusivamente el impacto sobre el cambio climático, ya que este ha sido el problema de mayor preocupación a nivel mundial [175,199,257,270,330,372]. Entre los métodos de evaluación de impacto más usados para el análisis de categorías de impacto se encuentra el método CML (*Institute of Environmental Sciences at Leiden University*) 2001 [519] y el propuesto para por el IPCC [108], para analizar específicamente la categoría de cambio climático. Por otra parte, la mayor parte de los ACV en el sector del transporte que han analizado los daños finales han utilizado el método Ecoindicador 99 [175,520].

Por lo anterior, y considerando que en el sistema a analizar no solo se incluyen las actividades relacionadas con el ciclo de vida de los combustibles, es interesante considerar categorías de impacto adicionales, con el fin de identificar los potenciales impactos del sistema en categorías diferentes a las comúnmente evaluadas como el Cambio Climático o la Acidificación terrestre. Las categorías de impacto a utilizar en este trabajo son presentadas más adelante en la fase de evaluación de impactos del ACV.

### 3.1.2. Análisis de inventario

Durante la fase de análisis del inventario del ciclo de vida se recopila información de vehículos, infraestructuras y combustibles para el servicio de transporte de mercancías por carretera con el apoyo de bases de datos consolidadas y utilizadas por las propias herramientas para el análisis de ciclo de vida. Entre estas herramientas se encuentran las más generales para ACV como *SimaPro* [521], *GaBi* [522], *Gemis* [124]; las específicas para el sector del transporte como *Tremove* [523], *COPERT* [524], *MOVES* [525], *GREET* [112], *Decarbonisation Prediction model* [113], *EcoTransIT* [114], *GHG Protocol tool for mobile combustion* [111], *WPCI Carbon Footprinting Calculator* [118], *LogEC logistics Emissions calculator, Third Party Road Freight CO<sub>2</sub> emissions pilot model* [526], *NTM basic Freight Calculator* [115], *PTV Map & Guide* [116], *LogEC- Logistics Emissions Calculator* [119], *Versit+* [117]; y bases de datos como *Ecoinvent* [125], *IDEMAT* [527], *HBEFA* [123], *LIPASTO* [122], *GHG Reporting database* [126], *DEFRA GHG conversion factors* [121], *EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook* [373], *WTT- JEC research collaboration* [528] y *TNO reports* [210].

Para la selección de la base de datos y la herramienta informática de cálculo de impactos en el ciclo de vida se realizó un análisis de las últimas versiones encontradas de cada una de las

herramientas mencionadas en el anterior párrafo, en donde básicamente el primer criterio de evaluación fue la cantidad y calidad de factores de emisión proporcionados para vehículos de transporte de mercancías por carretera. En este criterio de calidad se valoró la inclusión de factores de emisión que tuvieran en cuenta el tamaño y tipo de vehículo, factores de carga, diversos tipos de combustible, tecnologías de control emisiones de contaminantes atmosféricos, gradiente de la carretera o perfil del recorrido, velocidad y la temperatura del motor (caliente o frío). Adicionalmente, se valoró la posibilidad de agrupar los contaminantes generados por la infraestructura, vehículos y combustibles, para obtener así el impacto por km y tkm de un servicio de transporte específico.

Del análisis se concluye que no existe una herramienta que facilite la agrupación de los impactos de todos los componentes del sistema de transporte y que al mismo tiempo facilite la modificación de criterios básicos del servicio del transporte como los factores de carga y los diferentes aspectos que afectan a los factores de emisión.

De las bases de datos evaluadas, *Ecoinvent* es la que más se acerca a los objetivos buscados para el ACV integrado propuesto en esta tesis, ya que incluye, además de los impactos del uso y producción de combustibles, los impactos del ciclo de vida de la fabricación y mantenimiento de vehículos y de carreteras en la estimación de las emisiones por tkm transportado. Sin embargo, la metodología usada por *Ecoinvent* no permite considerar factores de carga, velocidad del vehículo y gradientes de la carretera específicos para obtener resultados más precisos.

En primer lugar, *Ecoinvent* asume factores de carga promedio para cada tipo de vehículo, incluyendo viajes en vacío, por lo que si se necesitara calcular el impacto de un servicio específico de transporte de mercancía con un factor de carga conocido, por ejemplo para una carga completa, los resultados serían sobreestimados. Por otro lado, los factores de emisión y consumo de combustible también son factores promedio para cada tipo de vehículo, solamente con la posibilidad de seleccionar un tamaño de vehículo con la tecnología de control de emisiones (Euro) específica. Por todo esto, la utilización directa de los datos de *Ecoinvent* para el cálculo de las emisiones de la operación del vehículo es descartada, siendo necesario utilizar bases de datos específicas para estas emisiones como el *EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2016* [373].

A pesar de esto, la forma de asumir factores de carga promedio planteada por *Ecoinvent* es válida y necesaria cuando se pretende incluir el impacto de los vehículos y las carreteras a cada tkm transportada. Esto es debido a que los vehículos y las carreteras tienen una vida útil de varios años y son usados para viajes con carga completa, promedio o sin carga, por lo que la proporción correspondiente al ciclo de vida de cada uno de estos componentes tiene que ser asignada para cada tkm que el camión pudo haber transportado durante su vida útil [529].

Por ejemplo, como la unidad funcional es el tkm y no el km, tomar el impacto total de la fabricación de un camión y dividirlo por los 540 000 km que recorre en promedio en su vida útil, para asignarle el resultado a los km recorridos en un servicio específico es incorrecto, ya que es posible que en otros servicios el camión haya transportado mayor o menor cantidad de toneladas de mercancía. Por lo que entran en juego los factores de carga y viajes en vacío promedio de determinado tipo de camión en su región de operación durante su vida, para

obtener el aporte a cada tkm. Asimismo, como las carreteras duran muchos años, tienen diferentes vidas útiles y son usadas también por vehículos para el transporte de pasajeros y por camiones de diferentes tamaños y factores de carga, se necesitan estadísticas más precisas que indiquen la proporción de carretera usada en función de la cantidad de toneladas transportadas por diferentes tipos de camiones, con el fin de asignar la proporción del impacto de todo el ciclo de vida de los km de carretera recorridos a cada tkm transportada en el servicio específico.

Es por lo anterior, que aunque se conozcan los datos específicos de los materiales usados en la construcción de la carretera evaluada para un caso a estudio, para utilizar esta información, es necesario contar con las estadísticas sobre los vehículos que circulan por esta carretera para poder asignar el impacto específico en los tkm transportados por el servicio evaluado.

En definitiva, para la elaboración del inventario para la actividad de operación del vehículo se considerarán bases de datos detalladas que permitan considerar factores de carga, velocidad y gradientes de la carretera específicos como el reporte del *EMEP/EEA* [373]. Mientras que, para las demás etapas y actividades involucradas en todo el sistema del transporte como la construcción de carreteras y fabricación de camiones, así como sus actividades de mantenimiento y fin de vida, los inventarios se elaborarán a partir de estudios publicados en el país o región del caso a estudio seleccionado, y en caso de no existir información fiable, se obtendrán datos más genéricos, aunque consistentes, de la base de datos de *EcoInvent v3.4*. Adicionalmente, para realizar la asignación al servicio evaluado de los impactos asociados a la fabricación de vehículos y construcción de carreteras, así como los impactos de su mantenimiento, se utilizará la metodología seguida por *Ecoinvent*, como se describe en el documento *Transport Services. Ecoinvent report No.14* [529].

### **3.1.2.1. Inventario proceso de Tráfico**

El proceso principal de Tráfico contiene las actividades de la operación del vehículo y las actividades de mantenimiento del vehículo y de la carretera.

La elaboración del inventario del ciclo de vida de la operación del vehículo es considerada la más importante para este trabajo, ya que por la relevancia prevista de esta actividad en las emisiones atmosféricas totales del ciclo de vida del sistema del transporte, requiere una descripción precisa y detallada de todos los flujos que puedan afectar al medioambiente. Por esta razón, se ha desarrollado un método de cálculo complejo para estimar teóricamente las emisiones contaminantes de la operación del vehículo.

#### **3.1.2.1.1. Operación del vehículo**

Tras el análisis de las herramientas y bases de datos enfocadas al sector del transporte que se mencionan al principio de este apartado de Análisis de Inventario, se eligió el capítulo *1.A.3.b. Road Transport* del reporte *EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2016* [373] como el más apropiado para el cálculo de las emisiones y el consumo energético durante la operación del vehículo.

Los conductores o gestores de flotas conocen sus consumos de combustible y, por ende, pueden ser calculadas las emisiones de CO<sub>2</sub> multiplicando estos consumos por un factor medio de emisiones TTW de 3,16 kgCO<sub>2</sub>/kg de diésel, suponiendo 100% diésel fósil, de acuerdo con los valores predeterminados en el marco de la norma EN 16258 [132]. Asimismo, otros contaminantes como son el SO<sub>2</sub> y metales pesados contenidos en el combustible pueden ser calculados mediante factores de emisión por cantidad de combustible consumido. Sin embargo, hay contaminantes que no dependen proporcionalmente del consumo de combustible como las emisiones de CO, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, MP y COVDM, que depende de otros factores como la tecnología de control de emisiones y las condiciones de operación. Por esto, es necesario el uso de factores de emisión y una metodología que brinde resultados precisos para el caso a estudio evaluado.

Una de las herramientas que permite realizar una estimación de los consumos energéticos y emisiones considerando factores de carga es *EcoTransIT* [114]. Se trata de una de las herramientas gratuitas más completas para el cálculo emisiones de GEI y consumo energético WTW del transporte de mercancías, basada en factores de emisión del reporte HBEFA [123] para vehículos con norma Euro y de factores de emisión de MOVES [525] para vehículos con norma EPA. Esta herramienta, apoyada en *GoogleMaps*, calcula el consumo y emisiones para la mejor ruta entre dos puntos seleccionados, priorizando recorridos por autovías y considerando el tipo y tamaño del camión, la tecnología de control de emisiones, el factor de carga, el tráfico, la topografía de la carretera (llana, ondulada o montañosa) y las características del combustible por país.

La herramienta asume que, las emisiones de un camión, según la orografía de los países, es un 5% superior en países montañosos, mientras que en un países llanos es un 5% inferior al promedio establecido para países ondulados [132].

Con el fin de evaluar la fiabilidad de la herramienta *EcoTransIT* para trayectos en diferentes países, se realizó la prueba piloto para la ruta Pereira-Quibdó en Colombia para transporte de 10 t en camión convencional (pre-Euro) de PBV=16t. Los resultados de *EcoTransIT* (para camión Euro I, ya que no está la opción de convencional) indicaron un consumo TTW de entre 1950 MJ para 250 km. El consumo equivalente en litros, considerando el uso de diésel B10, con una densidad de 0,858 kg/l y contenido energético de 41,86 MJ/kg [530], fue de 21,7 l/100 km, mientras que el consumo real promedio era de 58 l/100 km.

Realizando el cálculo con los factores de consumo promedio *Tier 2 de EMEP/EEA* [373], para camiones convencionales entre 7,5-16 t de 7,77 MJ/km y para camiones entre 16-32 t de 10,72 MJ/km, tomando un promedio de 9,3 MJ/km para el camión evaluado de 16 t, se tendría un promedio de 25,7 l/100 km, cifra por debajo de la mitad del consumo real reportado por la empresa.

Por todo lo anterior, se propone una metodología para la estimación del consumo energético y las emisiones a partir de información más específica de las condiciones de operación del vehículo e información para cada tramo del recorrido evaluado como la velocidad y gradientes medios de la carretera, considerando ecuaciones *Tier 3* del reporte de *EMEP/EEA* [373].

### **Procedimiento de cálculo de consumo energético y emisiones de la operación**

El reporte EMEP/EEA *Emission Inventory Guidebook* 2016 [373] ofrece una guía para el cálculo del consumo energético y emisiones de la operación por uso de combustibles y aceite lubricante de motor en el capítulo 1.A.3.b.iii, para las emisiones por la abrasión de neumáticos y frenos en el capítulo 1.A.3.b.vi y la abrasión de la superficie de carreteras en el capítulo 1.A.3.b.vii [531].

La EMEP/EEA ha basado sus cálculos en herramientas como COPERT y Tremove, como también en datos de proyectos anteriores como ARTEMIS y CORINAIR. El reporte ofrece la posibilidad de cálculo mediante tres tipos de métodos con factores de consumo y emisiones, en función de la disponibilidad de datos.

- Método *Tier 1*: aporta factores de emisión en función de la cantidad (kg) de combustible, el cual puede calcularse mediante una tabla con cifras de consumo por km típico por tipo de vehículo.
- Método *Tier 2*: aporta factores de emisión y consumo de combustible por km recorrido, teniendo en cuenta el tipo de vehículo, el sub-segmento del vehículo y la tecnología de control de emisiones.
- Método *Tier 3*: incluye un procedimiento de cálculo más exhaustivo, considerando, además de las variables incluidas en el método *Tier 2*, variables como la velocidad, el factor de carga y el gradiente de la carretera.

Con el fin de obtener los resultados más precisos para estas actividades de operación de los vehículos en el ciclo de vida del sistema de transporte evaluado, es considerado el método de cálculo más preciso disponible para cada tipo de contaminante modelado. Cabe resaltar que los factores de emisión *Tier 2* y *Tier 3* disponibles para vehículos de transporte de mercancías son para motores diésel y gasolina, considerando factores de corrección para mezclas de biodiésel y bioetanol, respectivamente. Para motores propulsados con combustibles alternativos como gas natural, biocombustibles al 100%, hidrógeno, entre otros, aun no hay suficiente información para incluir factores de emisión en el reporte [373].

Los contaminantes que son estimados mediante los métodos presentados por el modelo EMEP/EEA [373], se encuentran clasificados en cuatro grupos:

- Grupo 1: contaminantes no dependientes directamente del consumo de combustible como las emisiones de CO, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, COVDM y MP<sub>2.5</sub>.
- Grupo 2: emisiones estimadas con base en el consumo de combustible y de aceite lubricante de motor, como el CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y metales pesados
- Grupo 3: emisiones de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), contaminantes orgánicos persistentes (COPs) y dioxinas y furanos.
- Grupo 4: emisiones de COVDM como alcanos, cicloalcanos, alquenos, alquinos, aldehídos y aromáticos, calculados como fracción del total de COVDM.

Además de estos contaminantes derivados del consumo de combustible, aceite y urea, se consideran las emisiones de material particulado derivadas de la abrasión de frenos, neumáticos y superficie de carretera.

El cálculo de cada uno de estos contaminantes se realiza a cada tramo del trayecto. La división del trayecto se realiza teniendo en cuenta cambios significativos en la zona de circulación (urbana o interurbana), número de carriles por sentido, su topografía o la tendencia en su gradiente. A partir de este modelo, se obtendría resultados más aproximados a la realidad, los cuales son presentados con más detalle en los casos a estudio para Colombia, Malasia y España en el Capítulo IV.

Los métodos de cálculo para cada grupo de contaminantes son detallados a continuación.

### Contaminantes del grupo 1

Para la estimación de las emisiones de CO, NO<sub>x</sub>, COV y MP<sub>2.5</sub> y del consumo energético se utiliza el método *Tier 3*, mientras que para las emisiones de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> se dispone de factores de emisión por tipo de vehículo, tecnología de emisiones y tipo de carretera. Las emisiones de COVDM son iguales a COV-CH<sub>4</sub>.

El método *Tier 3* del EMEP/EEA [373], desarrolla los coeficientes para cada tipo de vehículo y su tecnología de control de emisiones (convencional, Euro I –VI), factor de carga (0%, 50% y 100%) y el gradiente de la carretera (0%, ±2%, ±4% y ±6%), para ser aplicados en la ecuación (III.1), y así obtener los resultados en función de la velocidad del vehículo en cada tramo evaluado.

$$CE \text{ o } FE = \frac{\text{Alpha} \times V^2 + \text{Beta} \times V + \text{Gamma} + \frac{\text{Delta}}{V}}{\text{Epsilon} \times V^2 + \text{Zeta} \times V + \text{Eta}} \times (1 - FR) \quad (III.1)$$

Donde;

*CE o FE*: Consumo Energético (MJ/km) o Factor de Emisiones de CO, MP<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub> o COV (g/km)

*V*: velocidad del vehículo (km/h)

*FR*: factor de reducción

Los coeficientes (*Alpha, Beta, Gamma, Delta, Epsilon, Zeta y Eta*) y el *FR* son extraídos de la hoja Excel 1.A.3.b.i-iv *Road transport hot EFs Annex 2017*, adjunta en el reporte del EMEP/EEA [373].

A partir de los resultados obtenidos mediante la ecuación y coeficientes del EMEP/EEA para factores de carga del 0% y 100%, es posible calcular el factor de consumo o de emisiones para un factor de carga específico mediante la ecuación (III.2).

$$(CE \text{ o } FE)_{FC} = (CE \text{ o } FE)_{vacío} + ((CE \text{ o } FE)_{completo} - (CE \text{ o } FE)_{vacío}) \times FC \quad (III.2)$$

Donde:

$(CE \text{ o } FE)_{FC}$  = Consumo Energético (MJ/km) o Factor de Emisiones de CO, MP<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub> o COV (g/km) para un factor de carga específico

*FC* = factor de carga (entre 0 y 1)

Para el cálculo de las emisiones de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y NH<sub>3</sub> se usan directamente los factores de emisiones que se presentan la Tabla III.1 y III.2, III.3 y III.4, respectivamente. Adicionalmente se presenta la fracción de NO<sub>2</sub> contenido en el total del NOx previamente calculado, en la Tabla III.5.

**Tabla III.1. Factores de emisión de CH<sub>4</sub> para vehículos pesados (mg/km) [373]**

| Combustible | Sub-segmento del vehículo/<br>tecnología Euro | Tipo de carretera |       |         |
|-------------|---|-------------------|-------|---------|
|             |   | Urbana            | Rural | Autovía |
| Gasolina    | Todas las tecnologías                         | 140               | 110   | 70      |
|             | PBV<16t                                       | 85                | 23    | 20      |
| Diésel      | PBV>16t                                       | 175               | 80    | 70      |
|             | Buses urbanos e interurbanos                  | 175               | 80    | 70      |
| GNC         | Euro I  |                   | 6800  |         |
|             | Euro II                                       |                   | 4500  |         |
|             | Euro III                                      |                   | 1280  |         |
|             | EEV   |                   | 980   |         |

**Tabla III.2. Factores de reducción de emisiones de CH<sub>4</sub> por tecnología Euro para vehículos pesados (%) [373]**

| Combustible | Tecnología de control<br>de emisiones | Tipo de carretera |       |         |
|-------------|---------------------------------------|-------------------|-------|---------|
|             |                                       | Urbana            | Rural | Autovía |
| Diésel      | Euro II                               | 36                | 13    | 7       |
|             | Euro III                              | 44                | 7     | 9       |
|             | Euro IV                               | 97                | 93    | 94      |
|             | Euro V y posteriores                  | 97                | 93    | 94      |

**Tabla III.3. Factores de emisión de N<sub>2</sub>O para vehículos pesados (mg/km) [373]**

| Tipo de vehículo  | tecnología Euro       | Tipo de carretera |       |         |
|---|-----------------------|-------------------|-------|---------|
|   |                       | Urbana            | Rural | Autovía |
| Gasolina > 3.5t   | Todas las tecnologías | 6                 | 6     | 6       |
|   | Convencional          | 30                | 30    | 30      |
|   | Euro I                | 6                 | 5     | 3       |
|   | Euro II               | 5                 | 5     | 3       |
|   | Euro III              | 3                 | 3     | 2       |
|   | Euro IV               | 6                 | 7,2   | 5,8     |
| Rígido 7.5-12t  | Euro V                | 15                | 19,8  | 17,2    |
|   | Euro VI               | 18,5              | 19    | 15      |
|   | Convencional          | 30                | 30    | 30      |
|   | Euro I                | 11                | 9     | 7       |
|   | Euro II               | 11                | 9     | 6       |
|   | Euro III              | 5                 | 5     | 4       |
| Rígido y articulado<br>28t y<br>buses (todos los tipos) | Euro IV               | 11,2              | 13,8  | 11,4    |
|   | Euro V                | 29,8              | 40,2  | 33,6    |
|   | Euro VI               | 37                | 39    | 29      |
|   | Convencional          | 30                | 30    | 30      |
|   | Euro I                | 17                | 14    | 10      |
|   | Euro II               | 17                | 14    | 10      |
| Rígido y articulado<br>28-34t                           | Euro III              | 8                 | 8     | 6       |
|   | Euro IV               | 17,4              | 24,4  | 17,4    |
|   | Euro V                | 45,6              | 61,6  | 51,6    |
|   | Euro VI               | 56,5              | 59,5  | 44,5    |
|   | Convencional          | 30                | 30    | 30      |
|   | Euro I                | 18                | 15    | 11      |
| Articulado >34t   | Euro II               | 18                | 15    | 10      |
|   | Euro III              | 9                 | 9     | 7       |
|   | Euro IV               | 19                | 23,4  | 19,2    |
|   | Euro V                | 49                | 66,6  | 55,8    |
|   | Euro VI               | 61                | 64    | 48      |

**Tabla III.4. Factores de emisión de NH<sub>3</sub> para vehículos pesados (mg/km) [373]**

| Combustible     | Tecnología Euro       | Tipo de carretera |       |         |
|-----------------|-----------------------|-------------------|-------|---------|
|                 |                       | Urbana            | Rural | Autovía |
| Gasolina > 3.5t | Todas las tecnologías | 2                 | 2     | 2       |
|                 | Euro VI y anteriores  | 3                 | 3     | 3       |
|                 | Euro V                | 11                | 11    | 11      |
| Diésel          | Euro VI               | 9                 | 9     | 9       |
|                 | Buses urbanos         | 3                 | -     | -       |
|                 | Buses interurbanos    | 3                 | 3     | 3       |

**Tabla III.5. Fracción de NO<sub>2</sub> en las emisiones de NOx en vehículos pesados (%) [373]**

| Combustible | Tecnología Euro  | Fracción |
|-------------|------------------|----------|
| Diésel      | Convencional     | 11       |
|             | Euro I – Euro II | 11       |
|             | Euro III         | 14       |
|             | Euro IV          | 10       |
|             | Euro V           | 12       |
|             | Euro VI          | 8        |
|             | Euro III+CRT     | 35       |

#### Efecto de las mezclas de biodiésel en las emisiones:

Se ha determinado una variación en las emisiones promedio de CO, MP<sub>2.5</sub>, NOx y COV por el uso de mezclas de biodiésel en el combustible. La aplicación de las tasas de variación presentadas en la Tabla III.6 solo es recomendada para vehículos Euro III o anteriores, ya que para vehículos más modernos es más difícil de predecir esta variación por la implantación de sistemas de tratamiento de gases de escape [373].

**Tabla III.6. Tasas de variación en las emisiones para vehículos pesados diésel con mezclas de biodiésel [373]**

| Contaminante | Tipo de combustible |      |      |
|--------------|---------------------|------|------|
|              | B10                 | B20  | B100 |
| CO           | -5%                 | -9%  | -20% |
| MP           | -10%                | -15% | -47% |
| NOx          | 3%                  | 3,5% | 9%   |
| COV          | -10%                | -15% | -17% |

## Contaminantes del grupo 2

### Contaminantes derivados del consumo de combustible:

Para el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> se tienen en cuenta las características del combustible como el contenido de azufre (*s*), carbono (*c*), hidrógeno (*h*), oxígeno (*o*) y nitrógeno (*n*). En este sentido, a partir de estas características en términos másicos, para el CO<sub>2</sub>, se utilizan las ecuaciones (III.3), (III.4) y (III.5).

$$r_{H:C} = 11,916 \frac{h}{c} \quad (III.3)$$

$$r_{O:C} = 0,7507 \frac{o}{c} \quad (III.4)$$

$$E_{CO_2} = 44011 \times \frac{CE_m}{12011 + 1008 r_{H:C} + 16000 r_{O:C}} \quad (III.5)$$

Donde:

$E_{CO_2}$  = emisiones de CO<sub>2</sub> (kg)

$CE_m$  = consumo energético (kg)

En caso de utilizarse mezclas con biocombustibles, el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> se deberá realizar solo considerando la fracción de la mezcla correspondiente a diésel fósil [373], de acuerdo con los lineamientos de caracterización de emisiones de GEI del IPCC.

Para el cálculo de las emisiones de SO<sub>2</sub> se utilizan las ecuaciones (III.6) y (III.7):

$$S_m = s \times 10^{-6} \quad (\text{III.6})$$

Donde;

s = contenido de azufre en combustible en ppm (1 ppm= 10<sup>-6</sup> g/g combustible)

$$E_{SO_2} = 2 \times S_m \times FC_m \quad (\text{III.7})$$

Donde;

$E_{SO_2}$  = emisiones de SO<sub>2</sub> (g)

$S_m$  = contenido de azufre (g/g)

$FC_m$  = consumo energético (g)

Factores de emisión de metales pesados en partes por millón (ppm) contenidos en el combustible utilizado por vehículos pesados son presentadas en la Tabla III.7.

**Tabla III.7. Factores de emisión de metales pesados en el diésel en ppm (1 ppm= 10<sup>-6</sup> g/g combustible) [373]**

| Combustible | Plomo  | Cadmio  | Cobre  | Cromo  | Níquel | Selenio | Zinc  | Mercurio | Arsénico |
|-------------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|-------|----------|----------|
| Diésel      | 0,0005 | 0,00005 | 0,0057 | 0,0085 | 0,0002 | 0,0001  | 0,018 | 0,0053   | 0,0001   |

#### Contaminantes derivados del consumo de combustible:

El consumo de aceite lubricante de motor para camiones pesados diésel es en promedio 1,56 kg/10 000 km y un promedio de emisiones CO<sub>2</sub> de 4,86 g /km [373]. A partir de este consumo, la el contenido de metales pesados en partes por millón (ppm) en el aceite utilizado por vehículos pesados son presentadas en la Tabla III.8

**Tabla III.8. Factores de emisión de metales pesados en el aceite de motor en ppm (1 ppm= 10<sup>-6</sup> g/g aceite) [373]**

| Combustible | Plomo  | Cadmio | Cobre | Cromo | Níquel | Selenio | Zinc  | Mercurio | Arsénico |
|-------------|--------|--------|-------|-------|--------|---------|-------|----------|----------|
| Diésel      | 0,0332 | 4,56   | 778   | 19,2  | 31,89  | 4,54    | 450,2 | 0        | 0        |

#### Contaminantes derivados del consumo de urea:

En los motores diésel Euro V y Euro VI de vehículos pesados la urea es usada como agente catalizador para reducir las emisiones de NO<sub>x</sub>. El consumo de urea genera emisiones de CO<sub>2</sub>, cuyo factor de emisión promedio es de 0,26 kg CO<sub>2</sub>/litro de solución de urea o de 0,238 kg CO<sub>2</sub>/kg de solución de urea [373]. La solución de urea utilizada en los vehículos tiene un contenido de urea del 32,5% [532]. Si no se conoce la cantidad de urea consumida, se asume este consumo como el 6% o 3,5% del consumo de diésel en vehículos pesados Euro V o Euro VI, respectivamente [373].

### **Contaminantes del grupo 3**

Los factores de emisión, para vehículos pesados diésel, de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) y contaminantes orgánicos persistentes (COPs) en la Tabla III.9 y para las emisiones de dibenzo dioxinas policloradas (DDPCs), dibenzo furanos policlorados (DFPCs) y bifenilos policlorados (BPCs) son presentados la Tabla III.10.

**Tabla III.9. Factores de emisión de HAPs y COPs ( $\mu\text{g}/\text{km}$ ) [373]**

| Contaminante           | $\mu\text{g}/\text{km}$ |
|------------------------|-------------------------|
| Indeno(1,2,3-cd)pireno | 1,40                    |
| Benzo(k)fluoranteno    | 6,09                    |
| Benzo(b)fluoranteno    | 5,45                    |
| Benzo(ghi)perileno     | 0,77                    |
| Fluoranteno            | 21,39                   |
| Benzo(a)pireno         | 0,90                    |
| Pireno                 | 31,59                   |
| Perileno               | 0,20                    |
| Benzo(b)fluoreno       | 10,58                   |
| Benzo(e)pireno         | 2,04                    |
| Tripenileno            | 0,96                    |
| Benzo(j)fluoranteno    | 13,07                   |
| Benzo(a)antraceno      | 2,39                    |
| Fluoreno               | 39,99                   |
| Criseno                | 16,24                   |
| Fenantreno             | 23,00                   |
| Naftaleno              | 56,00                   |
| Antraceno              | 8,65                    |
| Coronene               | 0,15                    |
| Dibenzo(ah)antraceno   | 0,34                    |

**Tabla III.10. Factores de emisión de DDPCs, DFPCs y BPCs ( $\text{pg}/\text{km}$ ) [373]**

| Tecnología Euro | Contaminante ( $\text{pg}/\text{km}$ ) |      |      |
|-----------------|--|------|------|
|                 | DDPC                                   | DFPC | BPC  |
| Convencional    | 25                                     | 38   | 10,9 |
| Euro I          | 25                                     | 38   | 12,6 |
| Euro II         | 25                                     | 38   | 12,6 |
| Euro III        | 25                                     | 38   | 12,6 |
| Euro IV         | 25                                     | 38   | 12,6 |
| Euro V          | 0,31                                   | 0,45 | 0,15 |
| Euro VI         | 0,16                                   | 0,24 | 0,08 |

#### Contaminantes del grupo 4

En este grupo se especifica la fracción de alcanos, cicloalcanos, alquenos, alquinos, aldehídos y aromáticos que corresponden a un 96,71% del total de COVDM, Tablas III.11 y III.12. La cantidad residual, es decir, el 3,29% del total de COVDM, se consideran HAPs.

**Tabla III.11. Fracción de alcanos, cicloalcanos, alquenos y alquinos del total de emisiones de COVDM [373]**

|           | Contaminante   | % peso |
|-----------|----------------|--------|
|           | Etano          | 0,03   |
|           | Propano        | 0,1    |
|           | Butano         | 0,15   |
|           | Isobutano      | 0,14   |
|           | Pentano        | 0,06   |
| Alcanos   | Heptano        | 0,3    |
|           | 2-metilhexano  | 0,63   |
|           | 2-metilheptano | 0,21   |
|           | 3-metilhexano  | 0,35   |
|           | Decano         | 1,79   |
|           | 3-metilheptano | 0,27   |
|           | Alcanos $c>13$ | 27,5   |
|           | Cicloalcanos   | Todos  |
| Etileno   |                | 7,01   |
| Propileno |                | 1,32   |
| Alquenos  | Isobuteno      | 1,7    |
|           | 1,3-butadieno  | 3,3    |
|           | Acetileno      | 1,05   |

**Tabla III.12. Fracción de aldehídos y aromáticos del total de emisiones de COVDM [373]**

| Contaminante          | % peso           |      |
|-----------------------|------------------|------|
| Formaldehído          | 8,4              |      |
| Acetaldehído          | 4,57             |      |
| Acrolein              | 1,77             |      |
| Benzaldehído          | 1,37             |      |
| Crotonaldehído        | 1,48             |      |
| Metacrotina           | 0,86             |      |
| Butiraldehído         | 0,88             |      |
| Aldehídos             | Isobutanaldehído | 0,59 |
| Propionaldehído       | 1,25             |      |
| Hexanal               | 1,42             |      |
| I-valeraldehído       | 0,09             |      |
| Valeraldehído         | 0,4              |      |
| O-tolualdehído        | 0,8              |      |
| M-tolualdehído        | 0,59             |      |
| Tolueno               | 0,01             |      |
| M,p-xileno            | 0,98             |      |
| O-xileno              | 0,4              |      |
| 1,2,3-trimetilbenceno | 0,3              |      |
| 1,2,4-trimetilbenceno | 0,86             |      |
| 1,3,5-trimetilbenceno | 0,45             |      |
| Aromáticos            | Estireno         | 0,56 |
| Benceno               | 0,07             |      |
| Aromáticos c9         | 1,17             |      |
| Aromáticos c>13       | 20,37            |      |

### Contaminantes por la abrasión

La abrasión de frenos, neumáticos y de la superficie de las carreteras emiten materia particulada ( $MP_{>10}$ ,  $MP_{2.5-10}$  y  $MP_{<2.5}$ ), compuesta por elementos (metálicos y no metálicos) que se liberan al aire, agua y al suelo. La emisión de partículas por el uso de frenos y neumáticos se calcula en función del peso, número de ejes y la velocidad en cada tramo, por lo que el método usado es considerado *Tier 2+*.

Para el cálculo del total de materia particulada (TMP) de la abrasión de neumáticos de vehículos pesados se utilizan las ecuaciones (III.8) y (III.9) [373]:

$$LCF_N = 1,41 + (1,38 \times FC) \quad (III.8)$$

$$TMP_N = \frac{N_{ejes}}{2} \times LCF_N \times 0,0107 \times SCF_N \quad (III.9)$$

Donde:

$LCF_N$  = factor de corrección de carga para abrasión de neumáticos

$FC$  = factor de carga

$N_{ejes}$  = número de ejes del vehículo

$TMP_N$  = emisiones totales de material particulado de la abrasión de neumáticos (g/km)

$SCF_N$  = factor de corrección por la velocidad (V) para abrasión neumáticos:

Si la  $V < 40$  km/h;  $SCF_N = 1,39$

Si  $40$  km/h  $\leq V \leq 90$  km/h;  $SCF_N = (-0,00974 \times V) + 1,78$

Si  $V > 90$  km/h;  $SCF_N = 0,902$

Para el cálculo del TMP de la abrasión de frenos de vehículos pesados se tienen las ecuaciones (III.10) y (III.11) [373]:

$$LCF_F = 1 + (0,79 \times FC) \quad (III.10)$$

$$TMP_F = 3,13 \times LCF_F \times 0,0075 \times SCF_F \quad (III.11)$$

Donde:

$LCF_F$  = factor de corrección de carga para abrasión de frenos

$FC$  = factor de carga

$TMP_F$  = emisiones totales de material particulado de la abrasión de frenos (g/km)

$SCF_F$  = factor de corrección por la velocidad (V) para abrasión frenos:

Si la  $V < 40$  km/h;  $SCF_F = 1,67$

Si  $40 \text{ km/h} \leq V \leq 95 \text{ km/h}$ ;  $SCF_F = (-0,0270 \times V) + 2,75 \quad (III.12)$

Si  $V > 95$  km/h;  $SCF_F = 0,185$

Para el cálculo del TMP procedente de la abrasión de la superficie de las carreteras por vehículos pesados se utiliza un factor promedio de 0,076 g/km [373].

A partir de las emisiones TMP calculadas para cada origen, es necesario especificar qué tipo de partículas están contenidas en este total mediante las proporciones de la Tabla III.13.

**Tabla III.13. Fracción de  $MP_{>10}$ ,  $MP_{2.5-10}$  y  $MP_{<2.5}$  contenido en el TMP por origen [373,521]**

| MP            | Origen de emisiones |        |           |
|---------------|---------------------|--------|-----------|
|               | Neumáticos          | Frenos | Carretera |
| $MP_{>10}$    | 40%                 | 2%     | 50%       |
| $MP_{2.5-10}$ | 18%                 | 59%    | 23%       |
| $MP_{<2.5}$   | 42%                 | 39%    | 27%       |
| TMP           | 100%                | 100%   | 100%      |

Adicionalmente, en las emisiones TMP de neumáticos y frenos hay un contenido de diferentes elementos metálicos y no metálicos y de HAPs, los cuales se presentan en las Tablas III.14 y III.15, respectivamente.

**Tabla III.14. Contenido de elementos químicos en ppm del TMP de la abrasión de neumáticos y frenos (1 ppm= 10<sup>-6</sup> g/g TMP) [373]**

| Elemento   | Neumáticos | Frenos |
|--|------------|--------|
| Plata (Ag)                                       | 0,1        | 0      |
| Aluminio (Al)                                    | 324        | 2050   |
| Arsénico (As)                                    | 3,8        | 67,5   |
| Bario (Ba)                                       | 125        | 38520  |
| Bromo (Br)                                       | 20         | 40     |
| Calcio (Ca)                                      | 892        | 770    |
| Cadmio (Cd)                                      | 4,7        | 22,4   |
| Cloro (Cl)                                       | 520        | 1500   |
| Anión de cloro (Cl <sup>-</sup> )                | 600        | 1500   |
| Cobalto (Co)                                     | 12,8       | 6,4    |
| Cromo (Cr)                                       | 23,8       | 2311   |
| Cobre (Cu)                                       | 174        | 51112  |
| Hierro (Fe)                                      | 1712       | 209667 |
| Potasio (K)                                      | 280        | 523,5  |
| Litio (Li)                                       | 1,3        | 55,6   |
| Catión de magnesio (Mg <sup>2+</sup> )           | 166        | 44570  |
| Manganeso (Mn)                                   | 51         | 2460   |
| Molibdeno (Mo)                                   | 2,8        | 10000  |
| Catión de sodio (Na <sup>+</sup> )               | 645        | 7740   |
| Catión de amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) | 190        | 30     |
| Níquel (Ni)                                      | 29,9       | 327    |
| Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )          | 1500       | 1600   |
| Plomo (Pb)                                       | 176        | 6072   |
| Rubidio (Rb)                                     | 0          | 50     |
| Azufre (S)                                       | 1100       | 12800  |
| Antimonio (Sb)                                   | 2          | 10000  |
| Selenio (Se)                                     | 20         | 20     |
| Silicio (Si)                                     | 1800       | 67900  |
| Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> )         | 2500       | 33400  |
| Estaño (Sn)                                      | 0          | 7000   |
| Estroncio (Sr)                                   | 14,4       | 520    |
| Titanio (Ti)                                     | 378        | 3600   |
| Vanadio (V)                                      | 1          | 660    |
| Zinc (Zn)  | 7434       | 8676   |

**Tabla III.15. Contenido de HAPs en ppm del TMP de la abrasión de neumáticos y frenos (1 ppm= 10<sup>-6</sup> g/g TMP) [373]**

| Elemento            | Neumáticos | Frenos |
|---------------------|------------|--------|
| Benzo(a)pireno      | 3,9        | 0,74   |
| Benzo(b)fluoranteno | 0          | 0,42   |
| Benzo(k)fluoranteno | 0          | 0,62   |

Del total de la materia particulada producida por la abrasión de frenos, el 100% se libera al aire, mientras que del total de las producidas por la abrasión de neumáticos, el 14% pasa al aire, el 43% al agua y el 43% restante al suelo [125,521].

### 3.1.2.1.2. Mantenimiento del vehículo

Para la elaboración del inventario de datos de entradas y salidas del proceso de mantenimiento del vehículo, se parte de las cantidades establecidas para los flujos de materiales y energía considerados en las bases de datos de *Ecoinvent* para cada tipo de vehículo.

El inventario base de *Ecoinvent*, para el mantenimiento de camiones se encuentra detallado en el reporte *Transport services. Ecoinvent report No. 14* [529], el cual se viene utilizando desde la versión v2.0 (2007) hasta la más actual v3.4 (2017) de *Ecoinvent*.

En estos inventarios se incluyen los consumos de electricidad y calefacción de los talleres y elementos de limpieza, además de los materiales principales de las baterías, filtros de aire y aceite, frenos, neumáticos, tubos de escape y aceite lubricante de motor.

En los inventarios base, los flujos están estimados para una vida útil del vehículo de 540 000 km, considerando un recorrido anual promedio de 70 000 km [529], por lo que deberán ser ajustados a cada caso analizado.

No se considera en el mantenimiento el lavado de vehículos, ya que es difícil estimar en qué medida el agua es contaminada por este procedimiento y, además, la cantidad precisa de agua utilizada varía mucho en cada tipo lavado, la cual puede estar entre 300 y 2000 litros [47].

Para evitar el efecto de la vida útil del vehículo, se elabora el inventario para el mantenimiento anual del vehículo. Las cantidades de materiales como el caucho, acero, plomo y ácido sulfúrico, se ajustan en función de la frecuencia de recambio de neumáticos y baterías para el vehículo analizado

Dado que los impactos se calculan en base anual, estos se reparten proporcionalmente a los tkm transportados en el servicio evaluado en relación con el total de tkm transportados por el vehículo en el año.

### **3.1.2.1.3. Operación y mantenimiento de la carretera**

Para la elaboración del inventario de la operación y mantenimiento de carreteras, se utilizarían los flujos de materiales y energía anuales para la carretera específica utilizada en el servicio de transporte evaluado. Sin embargo, para la asignación de los impactos de la operación y mantenimiento al propio servicio, es necesario conocer el volumen de tráfico anual dicha carretera.

Por lo anterior, si no se conoce el volumen de tráfico por la carretera específica (total tkm o vkm), deberá realizarse una asignación con base en estadísticas al nivel nacional, por lo cual, el inventario deberá ser elaborado para la totalidad de la red vial del país.

Para elaborar el inventario promedio para la operación y mantenimiento de carreteras del país analizado, se utilizan como base los flujos energéticos y de materiales por metro-año para cada tipo de carretera utilizados por *Ecoinvent* [529] para la elaboración de su inventario genérico.

A partir de estos datos y con base en los km construidos de autovía, carreteras primarias, secundarias y terciarias en el país, se obtiene una cantidad promedio por metro-año de cada flujo de materiales y energía utilizados para la operación y mantenimiento de las carreteras en el país. Los flujos considerados para este inventario son la electricidad para iluminación de carreteras y ventilación de túneles, el glifosato para el control de hierba, la sal para control de hielo/nieve, pintura con y sin solventes para la demarcación de vías y el uso de vehículo ligero para realizar estas labores de mantenimiento.

El principio de asignación de impactos se realiza por vehículo-km (vkm) recorridos en el servicio evaluado frente a la totalidad de vkm recorridos en el año en el país. Se asignan por vkm y no por tkm, ya que las actividades consideradas en este inventario son las relacionadas con mantener la vía en condiciones óptimas de seguridad, sin considerar actividades de reparación de la superficie de la carretera, deteriorada por el peso de los vehículos, ya que estas actividades serán consideradas en el inventario del ciclo de vida de la construcción y reconstrucción de las carreteras.

### 3.1.2.2. Inventario proceso de Fabricación de Vehículos

Para cada análisis se elaboraría el inventario con los materiales y energía reportados por el fabricante del vehículo. En caso de no encontrarse la información específica para el vehículo utilizado en el servicio evaluado, se utilizaría el inventario creado por *Ecoinvent* para cada tipo de vehículo.

La base de datos de *Ecoinvent* cuenta con los flujos de materiales, energía y emisiones para camiones con PBV de 16t, 28t y 40t a partir de datos del fabricante *Volvo Truck Corporation*, mientras que los flujos energéticos y de agua en la planta de fabricación, además de los materiales utilizados en la construcción de esta planta, son considerados datos del fabricante *MAN Nutzfahrzeuge AG* [529]. La información de estos procesos está bastante consolidada, por lo que puede utilizarse para la elaboración del inventario de datos para camiones de similar PBV de otros fabricantes.

El impacto generado por la planta ensambladora de vehículos, incluido en el ciclo de vida de la fabricación de camión, principalmente asociado al uso del suelo, es asignando con base en una producción de 22 918 vehículos anuales y una vida útil de 50 años [529].

La asignación de impactos del inventario del ciclo de vida de fabricación del vehículo se realiza a los tkm transportados en el servicio específico con relación a las tkm transportadas en su vida útil, considerando la vida útil promedio del tipo específico de vehículo en el país evaluado.

### 3.1.2.3. Inventario proceso de Producción de Combustibles

Para la elaboración de este inventario se tiene en cuenta un análisis WTT, es decir, incluyendo la producción del combustible y su distribución hasta la estación de servicio. Para este proceso de producción de combustibles y electricidad a partir de distintas fuentes convencionales y no convencionales, se utilizará la base de datos de *Ecoinvent v3.4* [125], como punto de partida para elaborar los inventarios adaptados a los casos específicos.

A partir los inventarios disponibles para la producción y distribución de un combustible para un país específico, se modifican principalmente las entradas elaboradas para el país específico por las utilizadas en el país evaluado. Tanto para este, como para los inventarios de los demás procesos evaluados en el sistema de transporte, los principales flujos que son modificados son las entradas de electricidad, ya que el mix eléctrico de cada país varía considerablemente, aportando diferente carga ambiental a cada proceso. Asimismo, las entradas de materiales y

energía utilizados en la construcción de infraestructura se ajustan para el escenario local, teniendo en cuenta las proporciones de materiales nacionales e importados.

Entre las entradas que deben ser consideradas con detalle en la elaboración de este inventario para cada país, se encuentra el transporte de energía primaria y producto final mediante los diferentes modos (marítimo, férreo, carretero o por tubería) con las distancias medias recorridas del producto en cada modo para cada etapa de la cadena de suministro del combustible hasta el distribuidor minorista.

Los impactos que serían considerados a partir de este inventario, son los relacionados con todos los materiales utilizados en los procesos de transformación en producto final (*e.g.* refinado), además del tratamiento de aguas residuales, las emisiones de procesos y las descargas directas a los ríos. Para el transporte por tubería se considera el uso de energía para bombeo y las emisiones debidas a derrames, incluyendo el impacto de la construcción de las tuberías. Para el transporte en camión cisterna se incluyen todos los impactos por tkm considerados en este ACV, de manera genérica, como el uso de combustibles, la fabricación y mantenimiento del camión, la construcción y mantenimiento de carreteras y la producción del combustible.

Se consideran los materiales y uso de la tierra de la construcción de infraestructuras de transporte y almacenamiento, las emisiones por evaporación y tratamiento de efluentes, además de la electricidad y agua utilizada en la operación de las estaciones de servicio, excluyendo el impacto de la construcción de estas últimas.

#### **3.1.2.4. Inventario proceso de Construcción de Carreteras**

De manera similar al procedimiento de elaboración del inventario para la operación y mantenimiento de carreteras, es necesario conocer el volumen de tráfico en la carretera específica para realizar la asignación de los impactos al servicio de transporte de la construcción de esta carretera.

La asignación se realizaría mediante estadísticas precisas para la carretera evaluada como la cantidad de tkm y pkm movilizados y la cantidad de vkm recorridos por cada tipo de vehículo, por lo cual, si se cuenta con esta información, se procede con la elaboración de un inventario para esta carretera. En caso contrario, se deberá realizar un inventario con cantidades promedio para la construcción de carreteras en el país y realizar la asignación con estadísticas nacionales para el transporte por carretera.

Para realizar el inventario promedio para la construcción y reconstrucción de carreteras del país analizado, se utilizan como base los flujos energéticos y de materiales por metro-año para cada tipo de carretera utilizados por *Ecoinvent* [529] para la elaboración del inventario genérico.

A partir de estos datos y con base en los km construidos de autovía, carreteras primarias, secundarias y terciarias, así como la cantidad y longitud de puentes y túneles en el país, se obtiene una cantidad promedio por metro-año de cada flujo de materiales y energía utilizados para la construcción y reconstrucción de carreteras en el país.

Los datos adoptados por *Ecoinvent*, que suelen aplicarse por defecto en todos los ACV que utilizan procesos de transporte de mercancías, están basados en estadísticas de la red vial de Suiza. En el reporte del módulo de transporte de *Ecoinvent* [529], se indica que la precisión de los datos para la construcción de carreteras es alto, pero que la incertidumbre aumentaría si se aplica a otros países de Europa, ya que, por ejemplo, la proporción de túneles por km de carretera en Suiza es más alta que otros países europeos.

De acuerdo con lo anterior, en la medida en que la información estadística disponible lo permita, el inventario se debe ajustar con base en las distribuciones de km de carretera por tipo en el país evaluado y en el origen previsto de materiales y energía utilizados.

Para la asignación de los impactos a partir de estos datos específicos de la carretera utilizada, o a partir de datos nivel nacional para la red vial total del país, se podrían contemplar dos opciones:

- Asignación por vkm; es decir, a los km recorridos en el servicio se asigna la proporción con relación al total de vkm recorridos al año por todos los vehículos.
- Asignación por Gtkm (*Gross ton-km*); es decir, realizar una estimación con base en las toneladas brutas por km transportadas en el servicio evaluado frente al total anual de todos los vehículos, a partir de datos como las toneladas y pasajeros promedio movilizadas por tipo de vehículo en la carretera.

La opción de asignación por Gtkm es la más representativa, dado que los vehículos de transporte de mercancías, debido a su peso bruto, deterioran en mayor medida las carreteras frente a los vehículos de transporte de pasajeros.

La estimación de las Gtkm totales movilizadas por la carretera específica o por la totalidad de la red vial del país, se realiza teniendo en cuenta la carga promedio, el peso neto promedio y la cantidad de km recorridos por cada tipo de vehículo de transporte de mercancías y de pasajeros. Para esta estimación, se sigue el procedimiento realizado en el reporte *No. 14 de Ecoinvent* [529], sección 5.14, tal y como se describe más adelante para cada caso a estudio evaluado en esta tesis.

### **3.1.2.5. Inventario proceso de Fin de Vida**

Las actividades incluidas en la etapa de Fin de Vida del sistema del transporte son las relacionadas con el desmantelamiento del vehículo y de las carreteras.

Para el inventario de ciclo de vida para las actividades de desmantelamiento del vehículo, se asume el completo reciclado del acero, aluminio y cobre, por lo cual, dado el enfoque atributivo de este ACV, la energía utilizada en el proceso de reciclaje se asigna al ciclo de vida del segundo producto fabricado con estos materiales reciclados. De esta manera, para este inventario solo se deberá considerar el transporte del vehículo a la planta de desmantelamiento y el transporte al vertedero o sitio de incineración, de la fracción del vehículo que no sería reciclado.

En los inventarios de datos para la disposición final de los materiales que no serían reciclados como emulsiones de pintura, aceite mineral, mezclas de plásticos y vidrio y material residual del tratamiento de elementos de zinc [529], se consideran los impactos de las operaciones en los vertederos e incineradoras.

Para el desmantelamiento de las carreteras y la disposición final de sus materiales, se asume el reaprovechamiento de todos los materiales, por ejemplo, para la reconstrucción de la misma u otras carreteras, o para para mezclar con la gravilla usada en el afirmado de carreteras terciarias. Asimismo, se asume el completo reciclado del acero utilizado en la construcción de puentes y túneles, por lo que dado el enfoque atributivo de este ACV, no es necesario incluirlo en el inventario del fin de vida. Por consiguiente, para el proceso de desmantelamiento de carreteras solo son consideradas las actividades de excavación y el transporte del 80% de los residuos a los lugares de utilización o plantas de reciclaje con distancias superiores a 20 km [529].

### 3.1.3. Evaluación de impactos

Como se mencionó en el apartado de categorías de impacto en la fase de definición de objetivos y alcance del ACV, la selección de categorías de impacto (*midpoints*) está ligada al método de evaluación del impacto a considerar, con el fin de agregar y analizar estos *midpoints* en categorías de daños finales (*endpoints*).

Entre los métodos de evaluación de ACV más usados en la actualidad, ReCiPe reúne los aspectos más relevantes para el sector del transporte [365,533], integrando y armonizando las categorías de impacto y de daños de los métodos CML 2 y Ecoindicador 99 en un conjunto de 18 categorías de impacto y 3 categorías de daños finales.

El método ReCiPe 2008 [534], es actualizado en el 2016 [535], en donde se redefinen algunas categorías de impacto, como se observa en la Tabla III.16. Principalmente se modifican sus factores de caracterización para que sean más representativos a escala global, ya que el método de ReCiPe de 2008 y la mayoría de métodos de evaluación de impactos del ciclo de vida existentes se centraban en Europa [536].

Esta fase de evaluación de impactos consta de varias etapas: clasificación, caracterización, normalización *midpoints*, agregación, normalización *endpoints* y ponderación. La última es opcional y permite integrar los resultados obtenidos para los potenciales daños finales en un único índice de impacto medioambiental.

**Tabla III.16. Categorías de impacto en ReCiPe 2008 vs. ReCiPe 2016**

| ReCiPe 2008                             |                        | ReCiPe 2016   |                             |
|---|------------------------|---|-----------------------------|
| Categoría de impacto                    | Unidad                 | Categoría de impacto  | Unidad                      |
| Cambio Climático                        | kg CO <sub>2</sub> eq  | Cambio climático  | kg CO <sub>2</sub> eq       |
| Agotamiento del ozono                   | kg CFC-11 eq           | Agotamiento del ozono estratosférico                        | kg CFC11 eq                 |
| Radiación Ionizante                     | kg U235 eq             | Radiación ionizante   | kBq Co-60 eq                |
| Formación de material particulado       | kg MP <sub>10</sub> eq | Formación de material particulado                           | kg MP <sub>2.5</sub> eq     |
| Formación de oxidantes fotoquímicos     | kg COVDM eq            | Formación de oxidantes fotoquímicos: salud humana           | kg NOx eq                   |
|   |                        | Formación de oxidantes fotoquímicos: calidad del ecosistema | kg NOx eq                   |
| Acidificación terrestre                 | kg SO <sub>2</sub> eq  | Acidificación terrestre                                     | kg SO <sub>2</sub> eq       |
| Eutrofización de agua dulce             | kg P eq                | Eutrofización de agua dulce                                 | kg P eq                     |
| Eutrofización marina                    | kg N eq                | Eutrofización marina  | kg N eq                     |
| Ecotoxicidad terrestre                  | kg 1,4-DB eq           | Ecotoxicidad terrestre                                      | kg 1,4-DCB                  |
| Ecotoxicidad de agua dulce              | kg 1,4-DB eq           | Ecotoxicidad de agua dulce                                  | kg 1,4-DCB                  |
| Ecotoxicidad marina                     | kg 1,4-DB eq           | Ecotoxicidad marina   | kg 1,4-DCB                  |
| Toxicidad humana                        | kg 1,4-DB eq           | Toxicidad humana cancerígena                                | kg 1,4-DCB                  |
|   |                        | Toxicidad humana no cancerígena                             | kg 1,4-DCB                  |
| Ocupación de tierras agrícolas          | m <sup>2</sup> a       | Uso de suelos   | m <sup>2</sup> a cultivo eq |
| Ocupación de suelo urbano               | m <sup>2</sup> a       |   |                             |
| Transformación de la tierra natural     | m <sup>2</sup>         |   |                             |
| Agotamiento de los recursos minerales   | kg Fe eq               | Agotamiento de los recursos minerales                       | kg Cu eq                    |
| Agotamiento de los combustibles fósiles | kg petróleo eq         | Agotamiento de los combustibles fósiles                     | kg petróleo eq              |
| Consumo de agua                         | m <sup>3</sup>         | Consumo de agua   | m <sup>3</sup>              |

### 3.1.3.1. Clasificación

En este paso se deben seleccionar las categorías de impacto a evaluar. Como se ha discutido al inicio de este capítulo, la selección de las categorías debe estar relacionada con la identificación de principales flujos de materiales, energía y emisiones en el inventario que pueden afectar al medioambiente, considerando también las principales preocupaciones a nivel mundial y demás problemas que afectan a las ciudades atribuidos al sector del transporte. En ese sentido, debido a que no solamente este ACV se enfoca en las emisiones derivadas del uso de combustibles, sino que se incluyen los componentes principales del sistema de transporte, es necesario incluir las 18 categorías de impacto consideradas por el método ReCiPe, para así ampliar el alcance del análisis a otras categorías diferentes a las comúnmente evaluadas.

### 3.1.3.2. Caracterización

En este paso los flujos del inventario de ciclo de vida se convierten en resultados agregados para cada categoría de impacto presentadas en la **Tabla III.16**, mediante factores de caracterización, que representan la contribución relativa de cada sustancia del inventario a las diferentes categorías de impacto. Por ejemplo, para la categoría de Cambio Climático, se pretende determinar el potencial de calentamiento global (PCG) de las diversas sustancias en un escenario determinado mediante el cálculo de un resultado agregado en kg de CO<sub>2</sub> equivalente.

Estos escenarios o perspectivas de cálculo están ligados principalmente al horizonte temporal. Estas perspectivas son clasificadas en: Individualista (I), basada intereses a corto plazo (20 años); Jerárquica (H), basada en el consenso científico y la credibilidad de los mecanismos de impacto (100 años); y la Igualitaria (E), la cual es la perspectiva más preventiva, teniendo en cuenta un plazo más largo y todas las vías de impacto para las cuales hay datos disponibles (1000 años o infinito) [535]. De estas tres perspectivas, la Jerárquica (H), es la más recomendada y aceptada de acuerdo con los principios políticos y metas de organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) [536].

En este sentido, ReCiPe [535] presenta los factores de caracterización de las categorías de impacto para cada tipo de perspectiva basados en diferentes fuentes. Por ejemplo, para el cálculo del PCG, son utilizados los factores del IPCC 2013 para cada una de las sustancias que afectan al Cambio Climático (207 en total), entre las que se encuentran el CO<sub>2</sub>, el CH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub>O, Tabla III.17

**Tabla III.17. Factores para el cálculo del Potencial de Calentamiento Global (kg CO<sub>2</sub>-eq/kg) para las tres perspectivas temporales, IPCC 2013**

| Sustancia          | Fórmula          | Individualista (I)<br>(20 años) | Jerárquica (H)<br>(100 años) | Igualitaria (E)<br>(1000 años) |
|--------------------|------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Dióxido de carbono | CO <sub>2</sub>  | 1                               | 1                            | 1                              |
| Metano             | CH <sub>4</sub>  | 84                              | 34                           | 4,8                            |
| Metano fósil       | CH <sub>4</sub>  | 85                              | 36                           | 4,9                            |
| Óxido nitroso      | N <sub>2</sub> O | 264                             | 298                          | 78,8                           |

### 3.1.3.3. Normalización *midpoints*

La normalización de los resultados de la caracterización, es opcional en la etapa de evaluación de impactos, pero es útil para analizar la magnitud de los resultados cuando no se cuenta, como base de comparación, con resultados de otros estudios evaluados con el mismo o similar método. De esta manera, es posible evaluar si los resultados representan impactos medioambientales muy negativos o irrelevantes en un contexto geográfico y temporal. En otras palabras, los métodos de normalización sirven para analizar la magnitud relativa de los resultados de cada categoría impacto sobre el problema medioambiental de manera global [516].

La normalización se realiza dividiendo los resultados de la caracterización por los factores de normalización definidos para cada categoría de impacto<sup>8</sup>.

Los factores de normalización desarrollados para ReCiPe 2008 [537], actualizados y corregidos en febrero 2015, son presentados en la Tabla III.18 Estos factores no pueden ser aplicados a los resultados de la caracterización de categorías de impacto consideradas por el método ReCiPe 2016, no solo porque algunas de las categorías de impacto son diferentes, sino también

<sup>8</sup> Los factores de normalización del método ReCiPe 2016 no habían sido publicados a mayo de 2018, por lo cual, no es incluido este paso en los programas informáticos para análisis de ciclo de vida. Por este motivo, para realizar el análisis de los resultados normalizados, es necesario utilizar las categorías de impacto consideradas por el método ReCiPe 2008.

porque hay diferencias metodológicas importantes en los factores de caracterización, arrojando resultados diferentes incluso en categorías equivalentes en ambos métodos.

**Tabla III.18. Factores de normalización *midpoints* ReCiPe 2008 versión 1.11 (2014) [534]**

| Categorías de impacto                   | Unidad                    | Individualista | Jerárquica | Igualitaria | Individualista | Jerárquica | Igualitaria |
|---|---------------------------|----------------|------------|-------------|----------------|------------|-------------|
|   |                           | Europa         | Europa     | Europa      | Global         | Global     | Global      |
| Cambio Climático                        | kg CO <sub>2</sub> eq/yr  | 6,57E+12       | 5,21E+12   | 4,49E+12    | 5,77E+13       | 4,19E+13   | 3,36E+13    |
| Agotamiento del ozono estrat.           | kg CFC-11 eq/yr           | 1,02E+07       | 1,02E+07   | 1,02E+07    | 2,29E+08       | 2,29E+08   | 2,29E+08    |
| Radiación Ionizante                     | kg U235 eq/yr             | 9,59E+11       | 2,91E+12   | 2,91E+12    | 2,64E+12       | 8,01E+12   | 8,01E+12    |
| Formación de material particulado       | Kg MP <sub>10</sub> eq/yr | 6,93E+09       | 6,93E+09   | 6,93E+09    | 8,55E+10       | 8,55E+10   | 8,55E+10    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos     | kg COVDM/yr               | 2,64E+10       | 2,64E+10   | 2,64E+10    | 3,45E+11       | 3,45E+11   | 3,45E+11    |
| Acidificación terrestre                 | kg SO <sub>2</sub> eq/yr  | 1,50E+10       | 1,60E+10   | 1,79E+10    | 2,17E+11       | 2,32E+11   | 2,56E+11    |
| Eutrofización de agua dulce             | kg P eq/yr                | 1,93E+08       | 1,93E+08   | 1,93E+08    | 1,76E+09       | 1,76E+09   | 1,76E+09    |
| Eutrofización marina                    | kg N eq/yr                | 4,70E+09       | 4,70E+09   | 4,70E+09    | 4,46E+10       | 4,46E+10   | 4,46E+10    |
| Ecotoxicidad terrestre                  | kg 1,4-DB eq/yr           | 3,82E+09       | 3,83E+09   | 6,50E+09    | 3,60E+10       | 3,61E+10   | 4,96E+10    |
| Ecotoxicidad de agua dulce              | kg 1,4-DB eq/yr           | 5,11E+09       | 5,11E+09   | 5,43E+09    | 2,61E+10       | 2,62E+10   | 2,77E+10    |
| Ecotoxicidad marina                     | kg 1,4-DB eq/yr           | 3,54E+09       | 4,06E+09   | 1,18E+12    | 1,28E+10       | 1,50E+10   | 4,11E+12    |
| Toxicidad humana                        | kg 1,4-DB eq/yr           | 1,62E+11       | 2,92E+11   | 2,08E+12    | 1,29E+12       | 1,98E+12   | 8,83E+12    |
| Ocupación de tierras agrícolas          | m <sup>2</sup> a/yr       | 2,10E+12       | 2,10E+12   | 2,10E+12    | 3,30E+13       | 3,30E+13   | 3,30E+13    |
| Ocupación de suelo urbano               | m <sup>2</sup> a/yr       | 1,89E+11       | 1,89E+11   | 1,89E+11    | 4,71E+12       | 4,71E+12   | 4,71E+12    |
| Transformación de terreno natural       | m <sup>2</sup> /yr        | 7,50E+07       | 7,50E+07   | 7,50E+07    | 7,31E+10       | 7,31E+10   | 7,31E+10    |
| Agotamiento de los recursos minerales   | kg Fe eq/yr               | 3,32E+11       | 3,32E+11   | 3,32E+11    | 2,71E+12       | 2,71E+12   | 2,71E+12    |
| Agotamiento de los combustibles fósiles | kg petrol eq/yr           | 7,23E+11       | 7,23E+11   | 7,23E+11    | 7,84E+12       | 7,84E+12   | 7,84E+12    |
| Consumo de agua                         | m <sup>3</sup> /yr        | 0,00E+00       | 0,00E+00   | 0,00E+00    | 0,00E+00       | 0,00E+00   | 0,00E+00    |

Cabe resaltar que el análisis de los resultados normalizados de determinadas categorías que tienen un impacto más local, es decir, que dependen de variables como la temperatura del lugar, la disponibilidad de agua y tierras cultivables, la densidad poblacional, entre otros, pueden contrastar significativamente con los resultados en un contexto más global.

Además de lo anterior, la normalización de los resultados de la caracterización no es indispensable para obtener los resultados agregados en categorías de daño final. Por lo cual, se podría omitir el paso de normalización y continuar con el siguiente paso de agregación para el cálculo de los daños finales.

#### 3.1.3.4. Agregación

Con este paso se pretende agregar los resultados de la caracterización de los impactos representados en las tres categorías de daños finales. Esta agregación se realiza utilizando los multiplicando los factores de conversión definidos por cada método de evaluación. Así, los resultados obtenidos quedan definidos en las correspondientes unidades para cada daño final [535]:

- Salud Humana: se mide en *DALYs* (años de vida ajustados por discapacidad), que representan los años que se pierden o que una persona está incapacitada debido a una enfermedad o accidente;
- Ecosistemas: se mide en *Especies-año*, pérdida local de especies integrada en el tiempo, la cual representa la calidad de los ecosistemas;
- Recursos: es medida en términos de *Dólares* (\$), para representar los costos adicionales involucrados en la extracción futura de recursos fósiles y minerales

Los factores de conversión para el método ReCiPe 2016 y ReCiPe 2008 son presentados en las Tablas III.19 y III.20, respectivamente.

**Tabla III.19. Factores de conversión (midpoint to endpoint) Recipe 2016 [535]**

| Categorías de daño final                            | Unidad                              | Perspectiva    |            |             |
|---|-------------------------------------|----------------|------------|-------------|
|   |                                     | Individualista | Jerárquica | Igualitaria |
| <b>SALUD HUMANA</b>                                 |                                     |                |            |             |
| Cambio climático - Salud humana                     | DALY/kg CO <sub>2</sub> eq          | 8,12E-08       | 9,28E-07   | 1,25E-05    |
| Agotamiento del ozono estratosférico - Salud humana | DALY/kg CFC11 eq                    | 2,37E-04       | 5,31E-04   | 1,34E-03    |
| Radiación ionizante - Salud humana                  | DALY/kBq Co-60 eq                   | 6,80E-09       | 8,50E-09   | 1,40E-08    |
| Formación de material particulado - Salud humana    | DALY/kg MP <sub>2,5</sub> eq        | 6,29E-04       | 6,29E-04   | 6,29E-04    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos- Salud humana   | DALY/kg NOx eq                      | 9,10E-07       | 9,10E-07   | 9,10E-07    |
| Toxicidad humana cancerígena - Salud humana         | DALY/kg 1,4-DCB                     | 3,32E-06       | 3,32E-06   | 3,32E-06    |
| Toxicidad humana no cancerígena - Salud humana      | DALY/kg 1,4-DCB                     | 6,65E-09       | 6,65E-09   | 6,65E-09    |
| Consumo de agua - Salud humana                      | DALY/m <sup>3</sup>                 | 3,10E-06       | 2,22E-06   | 2,22E-06    |
| <b>ECOSISTEMAS</b>                                  |                                     |                |            |             |
| <b>Ecosistemas terrestres</b>                       |                                     |                |            |             |
| Cambio climático - Ecosistemas terrestres           | Especies-año /kg CO <sub>2</sub> eq | 5,32E-10       | 2,80E-09   | 2,50E-08    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos- Ecosistemas T. | Especies-año /kg NOx eq             | 1,29E-07       | 1,29E-07   | 1,29E-07    |
| Acidificación - Ecosistemas terrestres              | Especies-año /kg SO <sub>2</sub> eq | 2,12E-07       | 2,12E-07   | 2,12E-07    |
| Toxicidad - Ecosistemas terrestres                  | Especies-año /kg 1,4-DBC            | 5,39E-08       | 5,39E-08   | 5,39E-08    |
| Consumo de agua - Ecosistemas terrestres            | Especies-año /m <sup>3</sup>        | 0,00E+00       | 1,35E-08   | 1,35E-08    |
| Uso de suelos - ocupación                           | Especies-año /cultivo anual         | 8,88E-09       | 8,88E-09   | 8,88E-09    |
| <b>Ecosistemas de agua dulce</b>                    |                                     |                |            |             |
| Cambio climático - Ecosistemas de agua dulce        | Especies-año /kg CO <sub>2</sub> eq | 1,45E-14       | 7,65E-14   | 6,82E-13    |
| Eutrofización - Ecosistemas de agua dulce           | Especies-año /kg P eq               | 6,10E-07       | 6,10E-07   | 6,10E-07    |
| Toxicidad- Ecosistemas de agua dulce                | Especies-año /kg 1,4-DBC            | 6,95E-10       | 6,95E-10   | 6,95E-10    |
| Consumo de agua - Ecosistemas de agua dulce         | Especies-año /m <sup>3</sup>        | 6,04E-13       | 6,04E-13   | 6,04E-13    |
| <b>Ecosistemas marinos</b>                          |                                     |                |            |             |
| Toxicidad- Ecosistemas marinos                      | Especies-año /kg 1,4-DBC            | 1,05E-10       | 1,05E-10   | 1,05E-10    |
| <b>RECURSOS</b>                                     |                                     |                |            |             |
| Agotamiento de recursos minerales                   | USD2013/kg Cu                       | 1,59E-01       | 2,31E-01   | 2,31E-01    |
| Agotamiento de combustibles fósiles                 | Petróleo USD2013/kg                 | 0,46           | 0,46       | 0,46        |
|   | Carbón USD2013/kg                   | 0,03           | 0,03       | 0,03        |
|   | Gas natural USD2013/Nm <sup>3</sup> | 0,30           | 0,30       | 0,30        |

**Tabla III.20. Factores de conversión (midpoint to endpoint) ReCiPe 2008 versión 1.11 (2014) [534]**

| Categorías de daño final            | Unidad                              | Perspectiva    |            |             |
|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|------------|-------------|
|                                     |                                     | Individualista | Jerárquica | Igualitaria |
| <b>SALUD HUMANA</b>                 |                                     |                |            |             |
| Cambio climático – Salud humana     | DALY/kg CO <sub>2</sub> eq          | 1,19E-06       | 1,40E-06   | 3,51E-06    |
| Agotamiento del ozono               | DALY /kg CFC11 eq                   | /              | /          | /           |
| Radiación Ionizante                 | DALY/kBq Co-60 eq                   | 1,64E-08       | 1,64E-08   | 1,64E-08    |
| Formación de material particulado   | DALY/kg MP <sub>10</sub> eq         | 2,60E-04       | 2,60E-04   | 2,60E-04    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos | DALY/kg COVDM eq                    | 3,90E-08       | 3,90E-08   | 3,90E-08    |
| Toxicidad humana                    | DALY/kg 1,4-DCB                     | 7,00E-07       | 7,00E-07   | 7,00E-07    |
| <b>ECOSISTEMAS</b>                  |                                     |                |            |             |
| Cambio climático - Ecosistemas      | Especies-año /kg CO <sub>2</sub> eq | 7,93E-09       | 7,93E-09   | 1,87E-08    |
| Acidificación terrestre             | Especies-año /kg SO <sub>2</sub> eq | 1,52E-09       | 5,80E-09   | 1,42E-08    |
| Ecotoxicidad terrestre              | Especies-año /kg 1,4-DBC            | 1,51E-07       | 1,51E-07   | 1,51E-07    |
| Eutrofización de agua dulce         | Especies-año /kg P eq               | 4,44E-08       | 4,44E-08   | 4,44E-08    |
| Ecotoxicidad de agua dulce          | Especies-año /kg 1,4-DBC            | 8,61E-10       | 8,61E-10   | 8,61E-10    |
| Ecotoxicidad marina                 | Especies-año /kg 1,4-DBC            | 1,76E-10       | 1,76E-10   | 1,76E-10    |
| Consumo de agua                     | Especies-año /m <sup>3</sup>        |                |            |             |
| Ocupación de tierras agrícolas      | Especies-año /m <sup>2</sup> a      | /              | /          | /           |
| Ocupación de suelo urbano           | Especies-año /m <sup>2</sup> a      | /              | /          | /           |
| Transformación de terreno natural   | Especies-año /m <sup>2</sup>        | /              | /          | /           |
| <b>RECURSOS</b>                     |                                     |                |            |             |
| Agotamiento de recursos minerales   | USD/kg Cu                           | 7,15E-02       | 7,15E-02   | 7,15E-02    |
| Agotamiento de combustibles fósiles | USD/kg Cu                           | 5,17E-02       | 1,65E-01   | 1,65E-01    |

/ depende del tipo de sustancia o el uso del suelo

### 3.1.3.5. Normalización *endpoints*

Al igual que el objetivo de la normalización de *midpoints*, se pretende en este caso evaluar la magnitud relativa de los impactos agregados de manera global, es decir, la importancia o gravedad de los resultados de cada categoría de daño en un contexto global<sup>9</sup>. Los factores de normalización desarrollados para ReCiPe 2008 [537], actualizados y corregidos en febrero 2015, son presentados en la Tabla III.21.

**Tabla III.21. Factores de normalización *endpoints* ReCiPe 2008 versión 1.11 (2014) [534]**

| Categorías de impacto | Unidad           | Individualista | Jerárquica | Igualitaria | Individualista | Jerárquica | Igualitaria |
|-----------------------|------------------|----------------|------------|-------------|----------------|------------|-------------|
|                       |                  | Europa         | Europa     | Europa      | Global         | Global     | Global      |
| Salud Humana          | DALY/año         | 8,64E+04       | 8,40E+04   | 1,28E+05    | 4,86E+06       | 5,58E+06   | 1,51E+07    |
| Ecosistemas           | Especies-año/año | 9,76E+06       | 9,38E+06   | 1,91E+07    | 9,20E+07       | 8,29E+07   | 1,47E+08    |
| Recursos              | USD/año          | 6,11E+10       | 1,43E+11   | 1,43E+11    | 5,99E+11       | 1,49E+12   | 1,49E+12    |

### 3.1.3.6. Ponderación

Como paso opcional, es posible agrupar los resultados de la agregación de impactos en un único indicador de impacto adimensional mediante factores de ponderación, el cual es útil para comparar el desempeño medioambiental del sistema de producto o servicio evaluado con otros estudios realizados con el mismo método y en contexto similares.

Los factores de ponderación se multiplican por los resultados normalizados de los *enpoints*. Estos factores de normalización son presentados en la Tabla III.22. Según la perspectiva utilizada, se tienen solo dos opciones, los factores de ponderación correspondientes a la perspectiva utilizada o los factores promedio, estos últimos recomendados en el reporte de ReCiPe [521,534].

**Tabla III.22. Factores de ponderación ReCiPe 2008 versión 1.11 (2014) [534]**

| Perspectiva    | Salud humana | Ecosistemas | Recursos | Total |
|----------------|--------------|-------------|----------|-------|
| Promedio       | 400          | 400         | 200      | 1000  |
| Individualista | 550          | 250         | 200      | 1000  |
| Jerárquica     | 300          | 400         | 300      | 1000  |
| Igualitaria    | 300          | 500         | 200      | 1000  |

Estos factores de ponderación, a diferencia de los factores de caracterización presentados por cada método de evaluación de impactos, son subjetivos y varían según el área geográfica en función de criterios socioeconómicos [516].

La variabilidad de los resultados generada por los sistemas de normalización y ponderación para el cálculo de los daños intermedios y finales, se hace evidente al comparar ACV desarrollados en regiones con diversos contextos, sociedades y problemas medioambientales.

<sup>9</sup> Los factores de normalización para categorías de daño final del método ReCiPe 2016 no habían sido publicados a mayo de 2018, por lo cual, no es incluido este paso en los programas informáticos para análisis de ciclo de vida.

Por ejemplo, en un estudio comparativo de los impactos ambientales del etanol y la gasolina en Brasil [538], se evidenció que con diferentes métodos de evaluación de impactos como *Ecological Scarcity* [539], *Impact 2002+* [540] y Ecoindicador 99 [520], la producción de etanol generaba mayores impactos medioambientales que la producción de gasolina, mientras que mediante el método ReCiPe [534], este biocombustible arrojaba resultados favorables. Lo anterior se explica dada la importancia dada a la categoría de impacto de Uso de suelos en la en el método Ecoindicador 99. Sin embargo, en el lugar de producción de etanol el Uso de suelos no era relevante dada la abundancia de tierras cultivables en la región, por lo que los resultados obtenidos mediante el método Ecoindicador 99 no reflejaban el impacto relativo en esta región [538]. Es por esto que, independientemente del método de evaluación seleccionado para presentar los resultados en indicadores de daños intermedios y finales, es importante presentar los resultados en sus unidades de medida originales, antes de ser normalizados y ponderados, facilitando su comparabilidad con otros estudios.

#### **3.1.4. Interpretación de resultados**

La fase de interpretación del ACV es un proceso iterativo en el cual, con base en el objetivo y alcance del estudio, el análisis de inventario y la evaluación de impactos, se analizan los resultados para obtener conclusiones, proponer recomendaciones y reportar los resultados de forma transparente.

Esta fase consta básicamente de tres elementos [98]:

- Identificación de aspectos relevantes
- Verificación de los resultados
- Conclusiones, recomendaciones y presentación de informes

En la identificación de aspectos relevantes, se determinan los procesos que generan mayores impactos medioambientales y, asimismo, las limitaciones durante la recopilación de datos y desarrollo de los métodos de evaluación.

La verificación de resultados requiere comprobar la integridad y coherencia de los datos utilizados y obtenidos mediante análisis de integridad y análisis de sensibilidad o de consistencia. El análisis de integridad se realiza para asegurar que los datos están disponibles y completos, mientras que análisis de sensibilidad evalúa la fiabilidad de los resultados examinando si son afectados por incertidumbres en los datos o métodos de evaluación.

Las conclusiones se deben realizar teniendo en cuenta los objetivos y alcance del estudio, en donde se explican los aspectos relevantes identificados para el sistema evaluado y las limitaciones encontradas, con el fin de desarrollar y proponer las recomendaciones para la toma de decisiones. Finalmente, se debe procurar que la presentación de resultados sea de forma transparente, gráficamente y de diferentes maneras para facilitar su comprensión por personas no expertas en el tema.

### 3.2 Metodología de Análisis Social del Ciclo de Vida (ASCV)

Como se ha detallado en el anterior capítulo, aún no hay consenso sobre cómo abordar un análisis del ciclo de vida social y socioeconómico y, especialmente, no hay aproximaciones para el análisis social del sistema integrado del transporte. En este sentido, con el propósito de medir y analizar los impactos socioeconómicos asociados al servicio de transporte de mercancías por carretera, se propone una metodología basada en la estructura de la norma ISO 14044:2006 [88] para ACV, con sus 4 fases: definición de objetivos y alcance, análisis de inventario, evaluación de impactos y la interpretación de resultados.

Entre otras aproximaciones desarrolladas para análisis de impactos sociales de productos o servicios [140,145,541–544], la guía para ASCV de productos de la UNEP/SETAC [142], describe cómo se debería desarrollar un estudio de ASCV, proporcionando detalles sobre las categorías de impacto y *stakeholders* que deberían ser considerados en el análisis en la primera fase del ASCV. Mientras que para las demás fases del ASCV, dicha guía las describe de manera genérica, dejando el desarrollo y aplicación de los métodos de análisis de inventario y de evaluación de impactos del ciclo de vida como un área abierta para la generación de propuestas por parte de investigadores.

Por lo anterior, en el diseño de la metodología propuesta en esta tesis para el ASCV del sistema del transporte de mercancías, además de describir cómo definir las actividades y límites del sistema, así como las subcategorías de impacto a evaluar y el enfoque del análisis, es propuesto un método de análisis de inventario multinivel, en función de la profundidad y nivel de detalle buscado para la recopilación de datos para las actividades identificadas en cada eslabón de la cadena de suministro del sistema del transporte. En relación con estos niveles de análisis de inventario, es diseñado también un método de evaluación definido como método de escalas de valoración multinivel, con el cual, considerando las percepciones e intereses de los *stakeholders* es calculado un Índice de Desempeño Social del sistema evaluado.

#### 3.2.1. Definición de objetivos y alcance

El primer paso necesario para iniciar un ASCV es una clara definición del propósito del estudio. Esta definición debe describir el objetivo del estudio y el uso previsto del mismo, así como la forma en cómo será abordado, las restricciones del estudio y los grupos de interés involucrados. De igual manera, debe ser definido el alcance del estudio, en donde se debe describir la función del producto o servicio a evaluar y su unidad funcional. Sobre la base de esa información, el sistema de transporte y sus límites deben ser modelados, definiendo preliminarmente las actividades que serían incluidas en el estudio, dependiendo de la profundidad del análisis propuesto [142].

Asimismo, además de identificar los grupos de interés o *stakeholders* involucrados o que serían afectados por las actividades del sistema, se deben elegir las subcategorías de impacto social que serían consideradas en el estudio, que servirán para determinar los impactos finales del sistema sobre los *stakeholders* o categorías de impacto más generales.

### 3.2.1.1. Objetivos, alcance y delimitación del sistema

Al igual que el ACV ambiental, después de definir el objetivo y uso previsto del ASCV, se debe definir el alcance del mismo, en donde se describe la función del sistema y se define la unidad funcional, los límites y las actividades incluidas en el sistema.

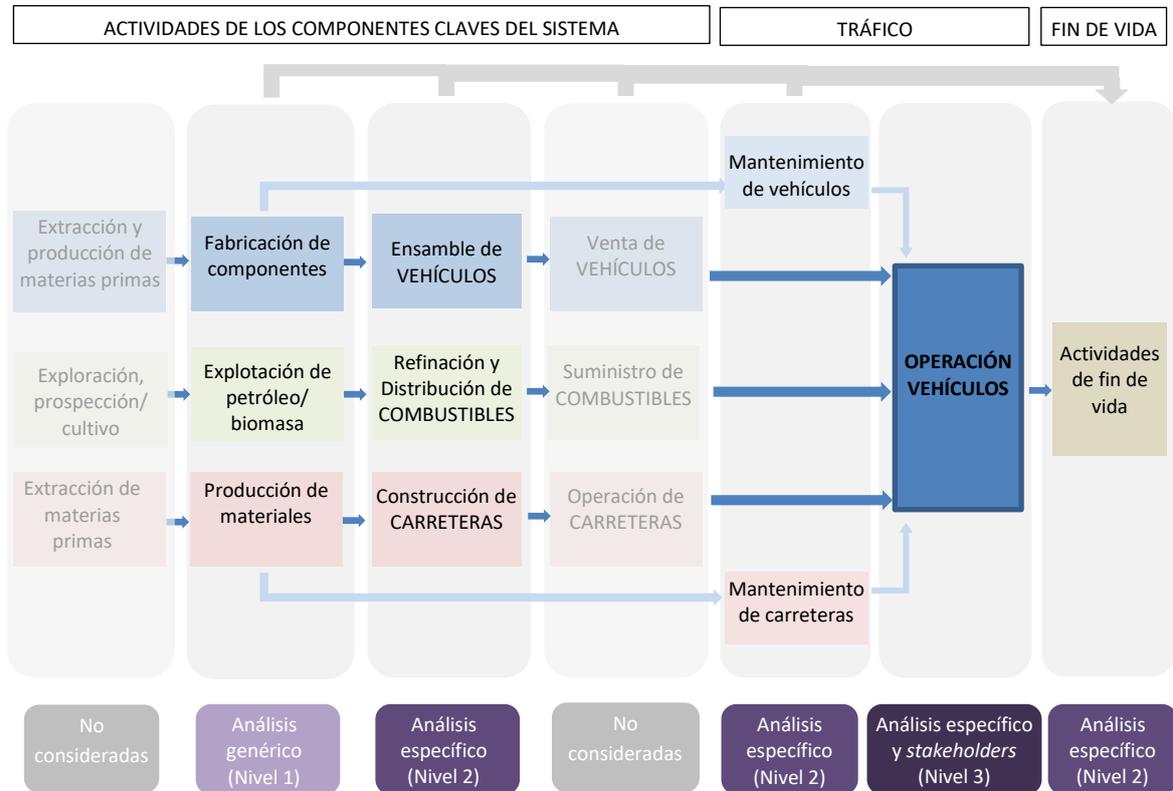
La función del sistema describe las características del producto o servicio, como su composición, los actores involucrados, la funcionalidad o uso final y el destinatario. Esta descripción es fundamental cuando se pretende comparar dos sistemas diferentes, por lo que es necesario que realicen la misma función [516]. En cuanto a la unidad funcional, en un ASCV, si bien podría ser difícil asociar los impactos sociales a una unidad funcional, la definición de esta es necesaria para identificar los flujos, las ubicaciones geográficas y los *stakeholders* involucrados [142]. En la metodología de ACV fue definida como unidad funcional la cantidad de toneladas transportadas por kilómetro (tkm). Sin embargo, los impactos sociales generados por las empresas que hacen parte del ciclo de vida del servicio de transporte no pueden ser asociados a un tkm transportado, por lo cual, la unidad funcional para un ASCV, en este caso concreto, es el servicio de transporte de mercancías por carretera en determinado vehículo de un punto a otro.

Una vez identificado el servicio de transporte a evaluar, se define también el sistema con los límites y procesos que serían incluidos en el análisis. De manera general, los componentes y los flujos en el sistema del transporte, son iguales a los definidos de manera simplificada en la Figura III.3, en la metodología para el ACV.

Las actividades incluidas y excluidas de cada proceso deben ser definidas con mayor detalle a partir de un análisis preliminar de los datos recogidos en la empresa prestadora del servicio de transporte de mercancías, identificando al fabricante del vehículo utilizado, el lugar de recarga de combustible y la carretera utilizada. Adicionalmente, teniendo en cuenta el nivel de profundidad del análisis de inventario y la disponibilidad de fuentes de información, recursos y tiempo para elaborar el estudio, pueden ser definidos con detalle los límites del sistema.

De acuerdo con lo anterior, es necesario tomar la decisión de qué actividades se analizarían con datos específicos y cuáles con datos más genéricos. En este sentido, se podría evaluar a las empresas plenamente identificadas como proveedores directos de la empresa de transporte mediante datos específicos, mientras que a los proveedores de estas empresas, se les podría realizar una evaluación sectorial a partir de datos genéricos. De esta manera, se modelaría un sistema y sus correspondientes límites de manera inicial como el presentado en la Figura III.5, en concordancia con el sistema definido para el ACV, en donde se excluyeron algunas actividades relacionadas con la distribución minorista de los vehículos y con la operación de las carreteras. De igual manera, para el caso del ASCV, la exclusión de estas actividades es justificada ya que, en la mayoría de los casos, las empresas encargadas de estas actividades están integradas verticalmente o son franquicias o distribuidores autorizados de las empresas

del eslabón anterior, por lo cual, se asume que presentan comportamientos similares y, por ende, similar desempeño social.



**Figura III.5. Delimitación del sistema del ASCV por actividades y nivel de análisis**

En cuanto a la cobertura temporal y geográfica para un ASCV, estos alcances deben ser más estrictos que en un ACV, debido al importante impacto local y regional de las empresas involucradas en el sistema del transporte y de los cambios en el desempeño social que estas pueden tener en pocos años a causa de cambios en sus estructuras organizacionales o en la legislación local. La UNEP/SETAC recomienda considerar información de los últimos 3 años [142]. Sin embargo, debido a que los reportes relacionados con indicadores de desempeño social y socioeconómico de las empresas o de los países están basados en datos de uno o dos años atrás, sería más prudente considerar una antigüedad de los datos hasta de 5 años para poder contar con suficiente información para cumplimentar los diferentes inventarios de datos. También, para obtener mayor representatividad geográfica, las actuaciones halladas de determinada empresa deben haber ocurrido en el país objeto del análisis. Por ejemplo, si se está analizando el desempeño del fabricante de un vehículo ensamblado en determinado país, se deberán omitir las acciones ocurridas en los otros países en donde la empresa fabricante tenga presencia.

### 3.2.1.2. Stakeholders y subcategorías de impacto social

En esta etapa del ASCV se deben elegir igualmente subcategorías de impacto social, para los cuales la UNEP/SETAC proporciona una guía para su clasificación y recomendaciones para la obtención de la información [545]. Se pueden seleccionar las subcategorías de impacto de acuerdo con dos enfoques, relacionados con los *stakeholders* (trabajadores, comunidad local,

consumidores, sociedad, actores de la cadena de valor) o con las categorías de impacto (derechos humanos, condiciones de trabajo, gobernanza, repercusiones socioeconómicas, salud y seguridad). Las directrices recomiendan iniciar con el enfoque de *stakeholders* para identificar desde el comienzo los grupos de interés afectados por el sistema evaluado de acuerdo con los límites seleccionados, mientras que la clasificación en categorías de impacto realizarla luego en la fase de Evaluación de Impactos.

Las subcategorías de impacto social y socioeconómico recomendadas por las directrices para el ASCV de la UNEP/SETAC [142], (ver Tabla II.4), son agrupadas por *stakeholders*, mientras que para la agrupación por categorías de impacto no hay una guía recomendada, por lo cual cada autor puede definir las y agruparlas libremente en consonancia con el método de evaluación que se desarrolle y el análisis que se pretenda realizar paralelamente con otros ACV.

La metodología permite eliminar tanto subcategorías de impacto como *stakeholders* que sean irrelevantes. Por ejemplo, en la mayoría de estudios disponibles [434,437,546–552] se ha eliminado el *stakeholder* Clientes debido a que en los límites del sistema no incluyen la fase de uso del producto evaluado. El único estudio de ASCV que consideró subcategorías relacionadas con los clientes fue en el de ASCV para producción de rosas en Ecuador y Holanda [553], en donde incluyeron la subcategoría de Salud y seguridad y la de Transparencia, cuyos indicadores estaban relacionados con el hecho de informar sobre los riesgos del producto y de las condiciones de trabajo reales en sus plantaciones. Otro estudio que consideró la subcategoría de Transparencia, a pesar de no considerar a los clientes, fue el de la producción de biodiésel en Indonesia [437], clasificada en la categoría de Patrimonio cultural.

El *stakeholder* Clientes también podría ser omitido en este trabajo dado que el servicio del transporte termina al momento de entregar la mercancía al cliente, por lo que no existiría una fase de uso en donde pueda verse afectado el cliente o consumidor por las características del producto/servicio, aspectos que son evaluados en las subcategorías Salud y Seguridad y Responsabilidad con el fin de vida. Sin embargo, un mal servicio de transporte de mercancía, como entrega de mercancía en mal estado o con retrasos afectaría al cliente de manera importante, por lo que este servicio puede ser evaluado mediante subcategorías no asociadas directamente al uso del producto tangible, sino al comportamiento de la empresa frente a los intereses del cliente. Estas subcategorías están relacionadas con la existencia de políticas para la protección de datos e información confidencial de sus clientes, la transparencia en temas de sostenibilidad y la existencia de mecanismos de retroalimentación o de quejas y reclamos. Por lo cual, el *stakeholder* Clientes si debe ser considerado en este trabajo.

Otra subcategoría eliminada en este trabajo es la de Condiciones de Vida Seguras, la cual pretende evaluar el impacto de las empresas en la seguridad de las comunidades locales. Esta subcategoría evalúa si la llegada de una empresa a una comunidad, con su personal de seguridad privada contratado, podría mejorar la seguridad de una comunidad, o por el contrario afectarían negativamente la seguridad, provocando tensiones por abusos del personal de seguridad privada hacia la comunidad. Sin embargo, este impacto de la organización puede ser evaluado en la subcategoría de Prevención y Mitigación de Conflictos Armados.

La clasificación de las subcategorías de impacto seleccionadas por *stakeholders* se presenta en la Tabla III.23, y la descripción de cada de ellas se presenta en las Tablas III.24 a III.28.

Para este estudio, el nombre del *stakeholder* Actores de la Cadena de Valor es reemplazado por Otros Actores para no generar confusiones con otros *stakeholders* que podrían ser considerados actores de la cadena de valor como trabajadores y clientes.

**Tabla III.23. Clasificación de subcategorías de impacto social por *stakeholder***

| Grupo de interés<br>( <i>Stakeholder</i> )        | Subcategoría de impacto  |
|---|--|
| Trabajadores                                      | Trabajo infantil<br>Explotación laboral/trabajo forzado<br>Igualdad de oportunidades/discriminación<br>Libertad de asociación de trabajadores<br>Salario justo<br>Horario laboral justo<br>Salud y seguridad en el trabajo<br>Beneficios sociales/seguridad social   |
| Clientes  | Transparencia en temas sociales/medioambientales<br>Confidencialidad con la información de los clientes<br>Mecanismos de retroalimentación con los clientes  |
| Comunidad local                                   | Deslocalización y migración<br>Respeto a las tradiciones locales<br>Respeto a los derechos de las comunidades indígenas<br>Participación de la comunidad<br>Condiciones de vida saludables y seguras<br>Acceso a los recursos materiales<br>Acceso a los recursos inmateriales<br>Creación de empleo local |
| Sociedad  | Contribución a la economía nacional<br>Prevención y mitigación de conflictos armados<br>Desarrollo tecnológico<br>Corrupción   |
| Otros actores<br>(Empresarios, proveedores, etc.) | Compromiso público en temas de sostenibilidad<br>Relaciones con los proveedores<br>Competencia desleal   |

La clasificación de las subcategorías de impacto social por *stakeholder* también puede variar con las perspectivas de cada caso a estudio y de los autores. Las subcategorías de Corrupción y de Compromiso Público en Temas de Sostenibilidad son relacionadas con el *stakeholder* Sociedad de acuerdo con *The methodological sheets for subcategories in S-LCA* [545] de la UNEP/SETAC, mientras que Manik *et al.* [437] relacionaron estas subcategorías con Otros Actores. Por otro lado, Blom y Solmar [434] relacionaron el Compromiso público en temas de sostenibilidad con la Sociedad y la Corrupción con Otros Actores.

De acuerdo con la UNEP/SETAC [545], el Compromiso Público en Temas de Sostenibilidad, relacionado con la Sociedad, es definido como una iniciativa de la empresa evaluada, con el fin de mostrar a sus clientes, empleados, comunidad local y público en general, de una manera transparente, su contribución a la reducción del impacto social y medioambiental de sus operaciones. Por otro lado, la subcategoría Promoción de la Responsabilidad Social, relacionada con Otros Actores, es definida como las acciones de la empresa para motivar a sus proveedores a ser socialmente responsables, por ejemplo, mediante la implementación de códigos de conducta para el proceso de compras.

La Promoción de la Responsabilidad Social ha sido excluida como una subcategoría individual para este trabajo, ya que este aspecto será evaluado indirectamente en otras subcategorías

mediante la inclusión de indicadores relacionados con la existencia de códigos de conducta específicos en la selección de proveedores.

Otra subcategoría que ha sido excluida es el Respeto por los Derechos de la Propiedad Intelectual, dada la dificultad de evaluación tanto mediante fuentes secundarias como primarias. El uso de indicadores a nivel sectorial o nacional para identificar el cumplimiento de esta subcategoría no resulta representativo, ya que esto depende específicamente de cada empresa, y es una información poco accesible.

**Tabla III.24. Definición de subcategorías de impacto social para el stakeholder Trabajadores**

| Subcategoría                                    | Definición<br>(Puntos de referencia)   |
|---|--|
| <b>Trabajo infantil</b>                         | Empleo de menores de 15 años en cualquier actividad y menores de 18 años en actividades de esclavitud moderna, explotación sexual, actividades ilícitas o actividades peligrosas, las cuales afectan su desarrollo mental, físico, social o moral y/o obliga a no asistir o a abandonar la escuela.<br>(Convenciones 138 y 182 de la OIT) [554]                            |
| <b>Explotación/trabajo forzado</b>              | Empleo de personas, mediante amenazas o uso de la fuerza, en actividades que no desean realizar voluntariamente.<br>(Convenciones 29 y 105 de la OIT) [554]  |
| <b>Igualdad de oportunidades/discriminación</b> | Discriminación o trato no igualitario para la contratación o durante la actividad laboral por su raza, género, religión, edad, asociación política, nacionalidad/origen étnico o cualquier característica no relacionada con sus habilidades, desempeño o cualificación.<br>(Convenciones 100, 111 y 169 de la OIT) [554]  |
| <b>Libre asociación de trabajadores</b>         | Los trabajadores tienen derecho a formar sindicatos y/o afiliarse libremente a organizaciones, sin autorización previa, para promover, negociar y defender sus intereses sin ser discriminados o recibir amenazas por parte de empleadores o del gobierno.<br>(Convención 87 de la OIT) [554]  |
| <b>Salario justo</b>                            | Los trabajadores reciben un salario que cumpla la legislación del salario mínimo nacional, alcance para cubrir las necesidades básicas y en lo posible brinde un ingreso discrecional.<br>(Convención 131 de la OIT) [554]   |
| <b>Horario laboral justo</b>                    | El horario regular (diurno) no supera las 48 horas y se tiene al menos un día libre por cada periodo de 7 días. Se permite un máximo de 12 horas extras semanales y deben ser pagadas a un mejor precio, especialmente las nocturnas. Se valora si hay flexibilidad en horarios y lugares de trabajo.<br>(Convenciones 1 y 30 de la OIT) [554]                             |
| <b>Seguridad y salud en el trabajo</b>          | Promoción y mantenimiento del más alto grado de bienestar físico, mental y social de los trabajadores; prevención de riesgos para la salud y adecuación de un entorno laboral óptimo para las capacidades fisiológicas y psicológicas de los trabajadores<br>(Convenciones 115 y 161 de la OIT) [554]  |
| <b>Beneficios sociales/seguridad social</b>     | Beneficios no-monetarios básicos para los trabajadores obligatorios por ley como son el seguro de salud, licencias por maternidad y enfermedad/accidente pagadas, pensión por vejez o invalidez, sustento por desempleo (cesantías) y seguro de salud para sus hijos y/o conyugue.<br>(Legislación local, Convenciones 118, 121, 128, 130, 168, 157 y 183 de la OIT) [554] |

**Tabla III.25. Definición de subcategorías de impacto social para el stakeholder Clientes**

| Subcategoría   | Definición<br>(Puntos de referencia)   |
|--|--|
| <b>Transparencia en temas sociales/medioambientales</b>    | Transparencia en temas sociales y medioambientales frente a sus clientes, mediante comunicación en su página web, el uso de etiquetas y certificaciones de sostenibilidad del producto o servicio. Se evalúa la transparencia en situaciones de impactos social/ medioambientalmente negativos y la presencia de reportes internacionalmente reconocidos.<br>(Mejores prácticas esperadas)   |
| <b>Confidencialidad con la información de los clientes</b> | La mayoría de relaciones comerciales requieren el conocimiento de datos específicos del cliente y de su negocio. Se evalúa si la empresa tiene mecanismos para garantizar el respeto y la protección de la confidencialidad de información que pueda ser usada de forma no autorizada o por delincuentes.<br>(Artículo 12 de la Declaración Universal de Derechos Humanos y ley de Habeas Data del país)                               |
| <b>Mecanismos de retroalimentación con los clientes</b>    | Se refiere a las vías por las cuales los clientes pueden comunicarse con las empresas, como encuestas, líneas de atención para preguntas, reclamaciones, quejas y reclamos, que ayuden a revelar la satisfacción del cliente con el producto o servicio ofrecido. Se evalúa la efectividad de la empresa en la implementación de estos mecanismos y si la opinión de sus clientes es tenida en cuenta<br>(Mejores prácticas esperadas) |

**Tabla III.26. Definición de subcategorías de impacto social para el stakeholder Comunidad local**

| Subcategoría  | Definición<br>(Puntos de referencia)  |
|---|---|
| <b>Deslocalización y migración</b>                            | La expansión de las operaciones podría afectar negativamente a las comunidades mediante la apropiación de sus terrenos o recursos, generando una deslocalización o emigración involuntaria de estas. Se evalúa la existencia de mecanismos de mitigación de estos impactos o de integración de inmigrantes en la comunidad.<br><i>(Artículo 13 y 17 de la Declaración Universal de Derechos Humanos y mejores prácticas esperadas)</i>  |
| <b>Respeto a las tradiciones locales/ patrimonio cultural</b> | Una organización en un nuevo mercado puede transformar las tradiciones locales como el idioma, las prácticas sociales y religiosas, así como los métodos tradicionales de subsistencia. Una empresa promueve la preservación del patrimonio cultural al fomentar el uso sostenible de los productos tradicionales y la artesanía en su diseño de productos y métodos de producción.<br><i>(Artículo 18 y 27 de la Declaración Universal de Derechos Humanos y mejores prácticas esperadas)</i>      |
| <b>Respeto a los derechos de las comunidades indígenas</b>    | Se refiere a los derechos que los grupos que han habitado históricamente desde antes de las invasiones y las colonias tienen sobre sus tierras, recursos, integridad cultural, autodeterminación y autogobierno. Las empresas deben pedir autorización de estos grupos para ejecutar proyectos que afecten estos derechos, además dar oportunidad de trabajo a sus miembros. Se valora si hay políticas o mecanismos para su protección.<br><i>(Legislación local, Mejores prácticas esperadas)</i> |
| <b>Participación de la comunidad</b>                          | Se tiene en cuenta la opinión de la comunidad en el desarrollo e implementación de políticas en la toma de decisiones que afectan su medioambiente, salud y bienestar. Se involucra a la comunidad mediante actividades financiadas por la empresa como iniciativas de reciclaje, visitas a escuelas, etc.<br><i>(Artículo 21 de la Declaración Universal de Derechos Humanos, Mejores prácticas esperadas)</i>   |
| <b>Condiciones de vida seguras y saludables</b>               | Las operaciones de una empresa pueden generar riesgos en la salud y seguridad de la comunidad, como accidentes con equipos o estructuras, contaminación atmosférica o del agua, etc. Las empresas deben establecer planes de prevención, mitigación y control de estos riesgos. También deben comunicar y compensar los riesgos y daños causados a la comunidad.<br><i>(Legislación local, Mejores prácticas esperadas)</i>   |
| <b>Acceso a recursos materiales</b>                           | Las operaciones de empresas pueden estar en conflicto o dañar/agotar recursos materiales que son usados por las comunidades. Se evalúa si las empresas respetan, trabajan para proteger, proveer o mejorar el acceso de la comunidad recursos materiales locales (i.e. agua, tierra, recursos biológicos y minerales) y de infraestructuras (i.e. carreteras, puestos de salud, escuelas)<br><i>(Mejores prácticas esperadas)</i>   |
| <b>Acceso a recursos inmateriales</b>                         | Las empresas pueden promover servicios a la comunidad como programas de salud o de educación. Las empresas afectan negativamente el acceso a los recursos inmateriales restringiendo la libertad de expresión entre empleados y miembros de la comunidad, reprimiendo las opiniones de quienes se manifiestan ante situaciones que afectan a la sociedad<br><i>(Artículo 19 y 27 de la Declaración Universal de Derechos Humanos y mejores prácticas esperadas)</i>                                 |
| <b>Creación de empleo local</b>                               | Las políticas de contratación local tanto de personal como de proveedores generan ingresos y oportunidades de capacitación a los miembros de la comunidad, especialmente si las políticas aplican también para puestos directivos, mejorando la comunicación y confianza en la región<br><i>(Mejores prácticas esperadas)</i>   |

**Tabla III.27. Definición de subcategorías de impacto social para el stakeholder Sociedad**

| Subcategoría   | Definición<br>(Puntos de referencia)   |
|--|--|
| <b>Contribución a la economía nacional</b>           | Las empresas generan desarrollo económico cuando aportan <i>royalties</i> y tributos al estado, generan valor agregado aportando al PIB, crean empleos, educan y capacitan a empleados y comunidad, compran a proveedores nacionales, realizan inversiones en infraestructura y en investigación, incrementando las capacidades de los trabajadores y de los proveedores.<br><i>(Mejores prácticas esperadas)</i>  |
| <b>Prevención y mitigación de conflictos armados</b> | Si la empresa opera en zonas de conflicto, se evalúa el rol de la empresa y su contribución a la mitigación o empeoramiento del conflicto, o en la formación de nuevos conflictos.<br><i>(Mejores prácticas esperadas)</i>   |
| <b>Desarrollo tecnológico</b>                        | Se evalúa si la empresa invierte en investigación y desarrollo (I+D) que mejore la eficiencia de las operaciones, reduciendo daños socioeconómicos y medioambientales causados por el uso de tecnologías/ conocimientos antiguos. La transferencia de tecnología se facilita mediante investigación conjunta y/o comunicación con instituciones públicas para favorecer el desarrollo económico de las regiones.<br><i>(Mejores prácticas esperadas)</i> |
| <b>Corrupción</b>                                    | La corrupción es el uso indebido del poder para el beneficio particular. Se evalúa si la empresa ha estado involucrada en cualquier tipo de corrupción o si ha tomado medidas para prevenirla. La corrupción incluye sobornos, malversación, robo y fraude, extorsión, abuso de discreción, favoritismo, nepotismo y clientelismo, entre otras.<br><i>(Mejores prácticas esperadas)</i>  |

**Tabla III.28. Definición de subcategorías de impacto social para el stakeholder Otros actores**

| Subcategoría   | Definición<br>(Puntos de referencia)   |
|--|--|
| <b>Compromiso público en temas de sostenibilidad</b> | Compromisos, metas o acuerdos por parte de una organización con grupos de clientes, empleados o la sociedad en general para invertir en proyectos de impacto social y medioambiental de manera abierta y transparente, de la mano de líderes de la comunidad y/o de la administración pública.<br>(Mejores prácticas esperadas)  |
| <b>Relaciones con los proveedores</b>                | Son acuerdos de colaboración entre empresas y proveedores, los cuales además de tener mejores precios y un servicio mejor coordinado, ayuda al desarrollo sostenible de los proveedores, pensando en ellos como socios estratégicos de la empresa.<br>(Mejores prácticas esperadas)  |
| <b>Competencia desleal</b>                           | Se evalúa si la empresa ha estado involucrada o adopta medidas para prevenir comportamientos anticompetitivos o monopolistas, como conspiración para la fijación de precios, asignación de clientes, zonas geográficas o líneas de productos para limitar los efectos de libre mercado y vender a precios más altos afectando al consumidor, como también fijando precios predatorios para eliminar la competencia.<br>(Mejores prácticas esperadas) |

A pesar de excluir las subcategorías Promoción de la Responsabilidad Social y Respeto por los derechos de la propiedad intelectual en este trabajo, se consideran un total de 26 subcategorías. En cada uno de los citados estudios [434,437,546–553], se excluyen varias subcategorías por considerarse irrelevantes en cuanto a los impactos sociales generados por las actividades relacionadas con su producto o servicio, mientras que, en el presente trabajo, al considerar los procesos relacionados con los vehículos, infraestructura y combustibles, es necesario considerar mayor cantidad de subcategorías. Durante la evaluación individual de cada proceso del sistema en los diferentes casos de estudio se encontrará que hay información que no aplica o que conlleva un impacto social poco relevante en algunas subcategorías debido al contexto socioeconómico específico. Por ejemplo, las subcategorías como el Respeto a las tradiciones locales, Respeto a los Derechos de los Indígenas o la Deslocalización y Migración, son poco afectadas por las operaciones de las empresas de transporte de mercancías, pero si son afectadas por los procesos de construcción de carreteras o de producción de combustibles en algunos países.

En las definiciones de cada subcategoría de impacto, presentadas en las Tablas III.24 a III.28, se establecen los puntos de referencia que en su mayoría corresponden a comportamientos mínimamente correctos fijados por normativa internacional. Para las subcategorías en las que no existe consenso internacional específico, se establece como punto de referencia las “mejores prácticas esperadas”, las cuales son definidas posteriormente en el anexo de la Guía de Evaluación de Subcategorías con inventario de análisis específico.

### 3.2.2. Análisis de inventario

En esta fase se recogen los datos iniciales, tanto para realizar la priorización y selección de actividades críticas para la refinación de límites del sistema, como para la selección de los indicadores para cada subcategoría de impacto y los métodos de recolección de información. A partir de esto, se recogen los datos definitivos para obtener los resultados del análisis del inventario y para la caracterización, agregación y ponderación de subcategorías y categorías de impacto en la siguiente fase de evaluación de impactos.

Durante el desarrollo de esta fase de análisis de inventario, en caso de ser necesario, el sistema puede ser redefinido. Dada la naturaleza iterativa de los análisis de ciclo de vida, a

medida que se recogen los datos y se conoce mejor el sistema, pueden ser modificados los límites y actividades incluidos en el mismo, como también realizar cambios en los procedimientos de obtención de datos para garantizar el cumplimiento del objetivo del estudio [516].

### 3.2.2.1. Niveles de análisis de inventario

La fase de análisis de inventario es la que más tiempo consume de un ASCV, en la cual se recopila la información necesaria para verificar cómo las empresas involucradas en la cadena de suministro para la producción de un producto o servicio se desempeñan frente los aspectos sociales y socioeconómicos [142].

De manera ideal, el análisis de inventario debería realizarse principalmente mediante recopilación de información de fuentes primarias, visitando las empresas y *stakeholders* involucrados y, complementando y contrastando el análisis con información de fuentes secundarias. Entre los métodos de recolección de información de fuentes primarias se encuentran [545]:

- Auditorías de la documentación de la empresa (*e.g.* nóminas, sistemas de gestión)
- Auditorías de documentación de autoridades públicas y ONGs
- Metodologías participativas
- Entrevistas estructuradas y semiestructuradas
- Paneles de expertos
- Cuestionarios y encuestas

Sin embargo, las limitaciones de tiempo y recursos dificultan la realización de este tipo de análisis en todos los eslabones de la cadena de suministro, siendo necesario limitar esta cadena mediante la priorización y selección de actividades críticas del sistema, con base en criterios como la intensidad laboral, monetaria, energética o de emisiones de CO<sub>2</sub>, o incluso los potenciales impactos sociales más relevantes en determinadas actividades.

No obstante, en este ASCV, en donde se pretende integrar el análisis de los componentes claves del sistema de transporte en el ciclo de vida del servicio del transporte de mercancías, articulado a la definición general del sistema del ACV de la Figura III.2, la priorización y selección de actividades críticas no es considerada. Sin embargo, es cierto que para analizar varios eslabones del sistema no es posible abarcar la totalidad de las actividades mediante este tipo de análisis profundo, tanto por limitaciones de tiempo y recursos como logísticas. Por esta razón, es necesario ejecutar un análisis de inventario en varios niveles de profundidad.

En este sentido, se propone un método de recopilación de información de tres niveles:

- **Análisis Nivel 1:** se realiza un análisis de impactos potenciales mediante una serie de indicadores de análisis genérico en los sectores identificados en la cadena de suministro del sistema.
- **Análisis Nivel 2:** se realiza un análisis más concreto mediante indicadores de análisis específico, para las empresas identificadas en cada uno de los procesos secundarios del sistema.

- **Análisis Nivel 3:** representa un análisis profundo realizado a la empresa de transporte de mercancías al considerar, además de los indicadores de análisis específico (Nivel 2), la recopilación de información de fuentes primarias.

En la parte inferior de la Figura III.5, quedan definidos los niveles de análisis correspondientes a las actividades identificadas en cada eslabón de la cadena de suministro de los componentes claves del sistema del transporte.

El nivel de profundidad del análisis de inventario disminuye a medida que se da un paso atrás en la cadena de suministro, partiendo de la empresa prestadora del servicio de transporte, la cual es el foco del estudio y, por lo tanto, objeto del análisis más profundo de Nivel 3.

En el siguiente eslabón, están los proveedores directos de la empresa de transporte de mercancías que hacen parte de los procesos secundarios y de apoyo al proceso principal de operación del transporte de mercancías, los cuales pueden ser identificados mediante cuestionarios/entrevistas con el gerente o directivos de la empresa de transporte. Estos proveedores directos, objeto del análisis de Nivel 2, son: el fabricante del vehículo, el productor/distribuidor del combustible, el constructor de la carretera, el taller de mantenimiento de vehículos, el contratista encargado del mantenimiento de la carretera y las empresas encargadas de las actividades de fin de vida de los vehículos y de repuestos e insumos usados.

Mientras que, en el siguiente eslabón en la cadena, están las empresas que sirven como proveedores de las empresas identificadas en los procesos secundarios (fabricación de vehículos, producción/distribución de combustibles y construcción de carreteras). Por lo general, estos proveedores son a un gran número de empresas, dificultando su análisis individual, por lo cual son objeto de un análisis de Nivel 1. Por ejemplo, para el proceso de fabricación de vehículos se puede identificar a la empresa fabricante (ensambladora), pero para a sus proveedores de componentes, la dificultad de hacer un análisis a cada una de ellos hace necesario realizar un análisis sectorial en el país en donde operan la mayoría de estos, con el fin de identificar los impactos sociales de manera genérica.

En el caso atípico en donde por ausencia o limitaciones de acceso a la información no pueda ser identificado un proveedor específico de la empresa de transporte, para ser evaluado mediante el análisis Nivel 2, se puede optar por un análisis intermedio definido como Nivel 1+, mediante el cual se realiza un análisis al subsector correspondiente mediante indicadores de análisis genérico, complementado con indicadores más específicos para lograr una mayor precisión en las subcategorías para las cuales solo se obtienen datos a nivel de país.

Los tres niveles de análisis requieren del uso de fuentes secundarias de información. Para el análisis Nivel 1 se usarán principalmente índices o escalafones de reportes internacionales, mientras que para los análisis Nivel 2 y 3 las fuentes pueden ser más diversificadas, partiendo de los reportes de sostenibilidad de las empresas y contrastando o complementando los datos para cada subcategoría con información de revistas, periódicos, instituciones oficiales y no gubernamentales de carácter nacional o internacional, entre otras. Para el análisis Nivel 3, con el fin de incrementar la profundidad de la evaluación de la empresa de transporte de mercancías por carretera seleccionada, se complementa con información de fuentes primarias,

mediante trabajo de campo como visitas a la empresa y entrevistas a los *stakeholders*, que serán útiles tanto para recopilar los datos necesarios para cumplimentar los indicadores seccionados para cada subcategoría de impacto social como para obtener información para la caracterización y ponderación de las categorías de impacto para su evaluación.

### 3.2.2.2. Selección de indicadores

Un paso fundamental para obtener los mejores resultados y para optimizar recursos en todo el ASCV, es la correcta selección de indicadores para el análisis de inventario en cada una de las subcategorías de impacto social consideradas.

Una correcta selección de indicadores, debe considerar, además de los objetivos y alcances del estudio, una serie de criterios que garanticen la calidad e integridad de los datos, que reflejen la definición de cada subcategoría de impacto y puedan ser analizadas posteriormente con el método de evaluación de impactos que se vaya a implementar.

La selección de indicadores considera diferentes criterios dependiendo del correspondiente nivel del análisis. En este sentido, se debe elegir una serie de indicadores de análisis genérico y otra serie de indicadores de análisis específico para cada subcategoría de impacto social.

#### ***Indicadores de análisis genérico***

Los indicadores de análisis genérico, básicamente buscan representar el desempeño, en los aspectos sociales y socioeconómicos, del país o sector en donde se ubican las empresas, sin ser atribuidos los resultados a una empresa en particular.

Para la selección de los indicadores para el análisis genérico, es importante evaluar en cada posible indicador, los siguientes criterios de calidad [142]:

- Validez
- Relevancia
- Métodos de medición
- Integridad
- Accesibilidad
- Fiabilidad

Además, se deben considerar otros aspectos como la disponibilidad gratuita de reportes internacionales, su cobertura geográfica, la reputación de las fuentes, una antigüedad de los reportes de máximo dos años y una periodicidad de publicación al menos cada dos años. Todo esto con el fin de que estos indicadores y sus fuentes puedan ser usados en estudios comparativos y para que otros autores puedan replicar esta metodología de ASCV en el sector del transporte o para cualquier sector económico en el futuro.

Esta selección de indicadores de análisis genérico, presentados en las Tabla III.29 a III.41, se ha desarrollado mediante los siguientes pasos:

- 1) Preselección de varios indicadores, de acuerdo con la definición de cada subcategoría y los objetivos del estudio, a partir de las opciones recomendadas en *The Methodological Sheets for Subcategories in S-LCA* [545] y del análisis de estudios anteriores y de bibliografía relativa al con el sector y sus impactos socioeconómicos.

- 2) Evaluación de la calidad e integridad de los indicadores de acuerdo con los criterios básicos mencionados.
- 3) Identificación de las fuentes de datos disponibles.
- 4) Evaluación de la metodología usada en cada fuente de datos, la reputación e imparcialidad de los autores, la antigüedad de los datos y la frecuencia de publicación de estos.
- 5) Descarte de fuentes e indicadores que no satisfacen los criterios considerados
- 6) Selección de un único indicador para la evaluación de cada subcategoría y su respectiva fuente.

**Tabla III.29. Indicadores de análisis genérico para el stakeholder Trabajadores**

| Subcategoría                              | Indicador de análisis genérico  | Fuente del indicador  |
|---|---|---|
| Trabajo infantil                          | Tasa de trabajo infantil en el sector/país  | <i>UNICEF Data: Monitoring the Situation of Children and Women</i> [555]<br>+ <i>List of Goods Produced by Child Labor</i> [556]                              |
| Explotación/ trabajo forzado              | Índice de vulnerabilidad del país para trabajo forzado o esclavitud moderna                         | <i>Global Slavery Index</i> [557]<br>+ <i>List of Goods Produced by Forced Labor</i> [556]  |
| Igualdad de oportunidades/ discriminación | Índice de participación y oportunidades económicas de las mujeres en el país                        | <i>Global Gender Gap Report</i> [558]   |
| Libre asociación de trabajadores          | Índice de respeto de los derechos de los trabajadores en el país                                    | <i>ITUC Global Rights Index</i> [559]   |
| Salario justo                             | Salario mediano en el sector frente al mediano nacional   | <i>Key Indicators of the Labour Market, ILOSTAT</i> [560]: <i>Mean nominal monthly earnings of employees</i><br>+ <i>Fuentes nacionales para el subsector</i> |
| Horario laboral justo                     | Promedio de horas reales trabajadas a la semana en el sector  | <i>Key Indicators of the Labour Market, ILOSTAT</i> [560]: <i>Mean weekly hours actually worked per employee</i>  |
| Seguridad y salud en el trabajo           | Tasa de accidentes no fatales en el sector frente a la tasa nacional                                | <i>Key Indicators of the Labour Market, ILOSTAT</i> [560]: <i>Non-fatal occupational injuries per 100'000 workers by economic activity</i>                    |
| Beneficios sociales/seguridad social      | Tasa de la población del país cubierta por al menos un beneficio social otorgado a los trabajadores | <i>World Social Protection Report</i> [561]   |

**Tabla III.30. Indicadores de análisis genérico para el stakeholder Clientes**

| Subcategoría  | Indicador de análisis genérico  | Fuente del indicador  |
|---|---|---|
| Transparencia en temas sociales/ medioambientales   | Tasa de empresas del sector/país con reportes de responsabilidad social, gestión medioambiental y/o de sostenibilidad | <i>KPMG Survey of Corporate Responsibility Reporting</i> [562]                    |
| Confidencialidad con la información de los clientes | Legislación para la protección y privacidad de datos de los consumidores  | <i>UNCTAD Global Cyberlaw Tracker</i> [563]                                       |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes    | Grado de orientación al cliente en el país  | <i>Global Competitiveness Report</i> [564]: <i>Degree of customer orientation</i> |

**Tabla III.31. Indicadores de análisis genérico para el stakeholder Comunidad local**

| Subcategoría  | Indicador de análisis genérico   | Fuente del indicador   |
|---|--|--|
| <b>Deslocalización y migración</b>                            | Reportes de desalojos forzados, migración o deslocalización de personas que pueden ser atribuidos al sector en el país | <i>Internal Displacement Monitoring Centre</i> [565]   |
| <b>Respeto a las tradiciones locales/ patrimonio cultural</b> | Índice social de hostilidades contra la libertad de creencias en el país   | <i>Pew-Templeton Global Religious Futures Project</i> [566]: <i>Social Hostilities Index</i>             |
| <b>Respeto a los derechos de las comunidades indígenas</b>    | Reportes de afectación a los derechos humanos en las comunidades indígenas por empresas del sector                     | <i>Amnesty International</i> [567] and <i>U.S. Department of State</i> [568] <i>human rights reports</i> |
| <b>Participación de la comunidad</b>                          | Índice de Gobierno Abierto del país  | <i>World Justice Project's Open Government Index</i> [569]   |
| <b>Condiciones de vida seguras y saludables</b>               | DALYs (años de vida ajustados por discapacidad) asociados a la contaminación atmosférica del país                      | <i>Ambient Air Pollution: A global assessment of exposure and burden of disease</i> [570]                |
| <b>Acceso a recursos materiales</b>                           | Índice de vitalidad del ecosistema del país  | <i>Environmental Performance Index</i> [571]: <i>Ecosystem Vitality score</i>                            |
| <b>Acceso a recursos inmateriales</b>                         | Índice de libertad de prensa/expresión   | <i>Freedom of the Press reports</i> [572]  |
| <b>Creación de empleo local</b>                               | Presencia de proveedores locales en el país  | <i>Global Competitiveness Report</i> [564]: <i>Quantity of local suppliers</i>                           |

**Tabla III.32. Indicadores de análisis genérico para el stakeholder Sociedad**

| Subcategoría   | Indicador de análisis genérico  | Fuente del indicador   |
|--|---|--|
| <b>Contribución a la economía nacional</b>           | Productividad por empleado del sector frente al promedio en el país                             | Fuentes nacionales o internacionales                                     |
| <b>Prevención y mitigación de conflictos armados</b> | Clasificación y nivel de conflictos existentes en la región de operación de empresas del sector | <i>The Heidelberg Institute Conflict Barometer</i> [573]                 |
| <b>Desarrollo tecnológico</b>                        | Índice de innovación del país.  | <i>Global Innovation Index</i> [574]: <i>Innovation Output Sub-index</i> |
| <b>Corrupción</b>                                    | Índice de percepción de corrupción en el país   | <i>Corruption Perceptions Index</i> [575]                                |

**Tabla III.33. Indicadores de análisis genérico para el stakeholder Otros actores**

| Subcategoría   | Indicador de análisis genérico   | Fuente del indicador  |
|--|--|---|
| <b>Compromiso público en temas de sostenibilidad</b> | No considerado   | No se encuentra un reporte o índice que pueda describir el comportamiento del sector o país en esta subcategoría  |
| <b>Relaciones con los proveedores</b>                | No considerado   | No se encuentra un reporte o índice que pueda describir el comportamiento del sector o país en esta subcategoría  |
| <b>Competencia desleal</b>                           | Efectividad de las políticas antimonopolistas en el país y evidencia de malas prácticas en el sector | <i>Global Competitiveness Report</i> [564]: <i>Effectiveness of anti-monopoly policy</i><br><i>+Competition Policy International (CPI) publications</i> [576] |

En su mayoría, estos indicadores de análisis genérico seleccionados brindan información a nivel país, ya que los puntos de referencia para cada subcategoría de impacto social corresponden a normas o a las mejores prácticas internacionalmente aceptadas. Solamente en casos especiales es necesario utilizar información a nivel sectorial, en donde el indicador para su respectiva subcategoría no puede ser comparado internacionalmente dadas las características socioeconómicas de cada país. Por ejemplo, para la subcategoría de Salario Justo, aspectos como el valor de la moneda o los costos de vida del país, imposibilitan la comparación/evaluación del salario mediano o promedio del país frente al de otros países, ya que un salario promedio de un país en vías de desarrollo, aparentemente bajo frente al salario

de un país industrializado al ser comparado en dólares o euros, puede ser un buen salario en su país por su bajo costo de vida. De igual manera ocurre con las subcategorías de Seguridad y Salud en el Trabajo o la de Respeto a los Derechos de las Comunidades Indígenas, en donde se debe obtener información a nivel sectorial para ser evaluadas considerando parámetros nacionales. Estas y otras particularidades son descritas posteriormente en la fase de evaluación de impactos para cada subcategoría.

### ***Indicadores de análisis específico***

Para el análisis de inventario Nivel 2, realizado a empresas identificadas de manera específica, es necesario recurrir a fuentes secundarias de información, como reportes desarrollados por estas empresas o por terceros como instituciones públicas o no gubernamentales, medios de comunicación, revistas nacionales o internacionales, entre otras.

Para realizar el inventario para cada subcategoría de impacto, a través de estas fuentes secundarias, es posible alcanzar un mayor nivel de profundidad y precisión por la posibilidad de obtener información para indicadores específicos relacionados con cada empresa en particular. A diferencia de la mayoría de estudios realizados bajo la misma metodología de ASCV, en los que se utiliza un único indicador para cada subcategoría en el análisis específico, para este estudio se sugiere utilizar tres indicadores que permitan analizar no solo el cumplimiento de la empresa con un requisito básico en cada subcategoría, sino también analizar comportamientos positivos o negativos que permitan diferenciar las empresas. Por ejemplo, además de averiguar si hay evidencia de trabajo infantil o trabajo forzado, mediante un indicador de variable cualitativa dicotómica (SI/NO), se analiza si existen también iniciativas de la empresa para reducir este tipo de trabajo, si hay códigos de conducta para la selección de proveedores y también información descriptiva sobre las condiciones en las que se dan estos tipos de trabajo en caso de presentarse.

De manera similar al proceso de selección de indicadores genéricos, a partir de los indicadores sugeridos en el reporte de la UNEP/SETAC [545] y de la revisión de estudios sobre impactos sociales del transporte del Capítulo II, se ha seleccionado los que se ajustan lo mejor posible a la definición de cada una de las subcategorías y a los objetivos de este trabajo. Los indicadores de análisis específico seleccionados se presentan en las Tablas III. 34 a III.46. En estas tablas se codifica cada indicador en la última columna para ser identificados en los anexos de los inventarios para cada empresa de los casos a estudio.

En el caso de no encontrar información para algún indicador de análisis específico para una empresa determinada, sería reemplazado con información de un indicador de análisis genérico, aunque adaptado al contexto de la empresa. Por ejemplo, si para un fabricante de vehículos dado, no es posible determinar la existencia de trabajo infantil, aplicar directamente un indicador genérico de trabajo infantil en el país, suponiendo que este sea extremadamente alto, no sería apropiado en el caso de evidenciar que es una empresa con buena reputación en su región, diversas certificaciones de calidad y vinculada al Pacto Mundial por los Derechos Humanos de la ONU, por lo que el investigador podría corregir este riesgo asociado a la empresa específica en la fase de evaluación de impactos.

**Tabla III.34. Indicadores de análisis específico para el stakeholder Trabajadores**

| Subcategoría de impacto                  | Indicadores análisis específico  | Código  |
|--|--|---|
| Trabajo infantil                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Existencia de trabajo infantil relacionado con la empresa y condiciones en las que se presenta</li> <li>Iniciativas de la empresa para reducir trabajo infantil</li> <li>Códigos de conducta relacionados en la selección de proveedores</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>T-T1</li> <li>T-T2</li> <li>T-T3</li> </ul>    |
| Explotación (trabajo forzado)            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reportes de existencia de trabajo forzado atribuidos a la empresa</li> <li>Iniciativas de la empresa para prevenir la explotación o el trabajo forzado</li> <li>Códigos de conducta relacionados en la selección de proveedores</li> </ul>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>T-E1</li> <li>T-E2</li> <li>T-E3</li> </ul>    |
| Igualdad de oportunidades/discriminación | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reportes de casos de discriminación en la empresa</li> <li>Diversidad de género en la empresa y en el sector e iniciativas para la inclusión y diversidad</li> <li>Políticas y/o códigos de conducta relacionados en la selección de proveedores</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>T-I1</li> <li>T-I2</li> <li>T-I3</li> </ul>    |
| Libertad de asociación de trabajadores   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Existencia de sindicatos en la empresa</li> <li>Respeto e importancia dada a los miembros de sindicatos</li> <li>Códigos de conducta relacionados en la selección de proveedores</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>T-L1</li> <li>T-L2</li> <li>T-L3</li> </ul>    |
| Salario justo                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Salario promedio y beneficios extralegales</li> <li>Salario promedio en la ciudad de operación de la empresa</li> <li>Salario promedio en el sector y en el país</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>T-SJ1</li> <li>T-SJ2</li> <li>T-SJ3</li> </ul> |
| Horario laboral justo                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Promedio de horas trabajadas por semana</li> <li>Flexibilidad horaria</li> <li>Día de la semana de descanso</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>T-H1</li> <li>T-H2</li> <li>T-H3</li> </ul>    |
| Salud y seguridad en el trabajo          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tasa de accidentes no fatales</li> <li>Tasa de accidentes no fatales en el sector</li> <li>Evidencia de programas salud y seguridad laboral o de malas prácticas respecto a estos temas</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>T-SS1</li> <li>T-SS2</li> <li>T-SS3</li> </ul> |
| Beneficios sociales/seguridad social     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Beneficios sociales otorgados a los empleados</li> <li>Estabilidad laboral/Facilidad de promoción</li> <li>Códigos de conducta relacionados en la selección de proveedores</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>T-B1</li> <li>T-B2</li> <li>T-B3</li> </ul>    |

**Tabla III.35. Indicadores de análisis específico para el stakeholder Clientes**

| Subcategoría de impacto                             | Indicadores análisis específico  | Código  |
|---|--|---|
| Transparencia en temas sociales y medioambientales  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Existencia y transparencia de reportes de sostenibilidad de la empresa</li> <li>Información clara de impactos y riesgos de productos/empresa mediante reportes huella ecológica/carbono entre otros.</li> <li>Códigos de conducta relacionados en la selección de proveedores</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>CL-T1</li> <li>CL-T2</li> <li>CL-T3</li> </ul> |
| Confidencialidad con la información de los clientes | <ul style="list-style-type: none"> <li>La empresa informa las políticas de tratamiento de datos personales</li> <li>Implementación mecanismos, dispositivos o software especializado de seguridad de la información o campañas de la empresa para el respeto y protección de datos personales</li> <li>Evidencia de malas prácticas en la protección de datos de los clientes</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>CL-C1</li> <li>CL-C2</li> <li>CL-C3</li> </ul> |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Canales de comunicación disponibles para el cliente</li> <li>Índices de satisfacción de clientes reportados por la empresa</li> <li>Índices de satisfacción de clientes reportados por la empresa o por terceros</li> <li>Relevancia dada a las quejas y reclamos de los clientes en las decisiones de la empresa</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>CL-M1</li> <li>CL-M2</li> <li>CL-M3</li> </ul> |

**Tabla III.36. Indicadores de análisis específico para el stakeholder Comunidad local**

| Subcategoría de impacto                               | Indicadores análisis específico  | Código  |
|---|--|---|
| Deslocalización y migración                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reportes de apropiación ilegal de tierras y deslocalización de personas atribuidos a la empresa</li> <li>Mecanismos para integrar trabajadores inmigrantes en la comunidad</li> <li>Códigos de conducta relacionados en la selección de proveedores</li> </ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-D1</li> <li>• C-D2</li> <li>• C-D3</li> </ul>    |
| Respeto a las tradiciones locales/patrimonio cultural | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reportes afectación al patrimonio cultural atribuidos a la empresa</li> <li>Iniciativas para salvaguardar las tradiciones locales</li> <li>Códigos de conducta relacionados en la selección de proveedores</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RT1</li> <li>• C-RT2</li> <li>• C-RT3</li> </ul> |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Políticas e iniciativas para proteger los derechos de las comunidades indígenas</li> <li>Conflictos de tierras o recursos con los indígenas atribuidos a la empresa</li> <li>Códigos de conducta relacionados en la selección de proveedores</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RI1</li> <li>• C-RI2</li> <li>• C-RI3</li> </ul> |
| Participación de la comunidad                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Evidencia de participación de la comunidad en las decisiones de la empresa</li> <li>Evidencia de exclusión, restricción y persecución de grupos comunales</li> <li>Apoyo a iniciativas de la comunidad</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-P1</li> <li>• C-P2</li> <li>• C-P3</li> </ul>    |
| Condiciones de vida saludables y seguras              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reportes de afectación a la seguridad y salud de la comunidad atribuidas a la empresa</li> <li>Esfuerzos para mejorar la salud y seguridad de la comunidad por la empresa</li> <li>Códigos de conducta relacionados en la selección de proveedores</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-C1</li> <li>• C-C2</li> <li>• C-C3</li> </ul>    |
| Acceso a los recursos materiales                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Inversiones para mejorar los recursos materiales usados por la comunidad</li> <li>Evidencia de afectación a la calidad, disponibilidad o precios de recursos materiales atribuidos a la operación de la empresa</li> <li>Códigos de conducta relacionados en la selección de proveedores</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AM1</li> <li>• C-AM2</li> <li>• C-AM3</li> </ul> |
| Acceso a los recursos inmateriales                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Esfuerzos para promover programas de educación o salud por la empresa.</li> <li>Limitación o represión de las opiniones de los empleados o de la comunidad</li> <li>Códigos de conducta relacionados en la selección de proveedores</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AI1</li> <li>• C-AI2</li> <li>• C-AI3</li> </ul> |
| Creación de empleo local                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Políticas para la contratación de personal local y proveedores locales</li> <li>Proporción de trabajadores contratados localmente</li> <li>Proporción de trabajadores de nivel directivo contratados localmente</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-CE1</li> <li>• C-CE2</li> <li>• C-CE3</li> </ul> |

**Tabla III.37. Indicadores de análisis específico para el stakeholder Sociedad**

| Subcategoría de impacto                       | Indicadores análisis específico   | Código  |
|---|---|---|
| Contribución a la economía nacional           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Productividad por trabajador</li> <li>Productividad promedio por trabajador en el sector</li> <li>Porcentaje de gastos de proveedores nacionales</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-CE1</li> <li>• S-CE2</li> <li>• S-CE3</li> </ul> |
| Prevención y mitigación de conflictos armados | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reportes de apoyo en la formación o en el escalamiento de conflictos y nivel del conflicto presente en la zona de operación de la empresa</li> <li>Programas o políticas para la prevención o mitigación de conflictos</li> <li>Códigos de conducta relacionados en la selección de proveedores</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-P1</li> <li>• S-P2</li> <li>• S-P3</li> </ul>    |
| Desarrollo tecnológico                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reportes de inversión en investigación y desarrollo, capacitación y utilización de las tecnologías más modernas disponibles</li> <li>Presencia de uso de tecnología obsoleta e ineficiente en la empresa</li> <li>Predisposición ante la innovación y transferencia tecnológica</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-D1</li> <li>• S-D2</li> <li>• S-D3</li> </ul>    |
| Corrupción                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reportes de involucramiento de la empresa en casos de corrupción</li> <li>Programas o políticas para prevenir y controlar la corrupción</li> <li>Códigos de conducta relacionados en la selección de proveedores</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-C1</li> <li>• S-C2</li> <li>• S-C3</li> </ul>    |

**Tabla III.38. Indicadores de análisis específico para el stakeholder Otros actores**

| Subcategoría de impacto                       | Indicadores análisis específico  | Código  |
|---|--|---|
| Compromiso público en temas de sostenibilidad | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reportes públicos de metas o compromisos de la empresa para mejorar aspectos medioambientales y sociales en la comunidad</li> <li>Variación anual en los gastos en temas medioambientales y sociales</li> <li>Presencia de comportamientos negativos frente al compromiso en temas de sostenibilidad</li> </ul>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-C1</li> <li>• A-C2</li> <li>• A-C3</li> </ul>    |
| Relaciones con los proveedores                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reportes de malas prácticas de las empresas del sector con sus proveedores como fijación de precios, incumplimiento en pagos y pedidos irregulares</li> <li>Reportes de colaboración entre empresa y proveedores del sector en temas de sostenibilidad de sus negocios</li> <li>Antigüedad media de las relaciones con sus proveedores</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-R1</li> <li>• A-R2</li> <li>• A-R3</li> </ul>    |
| Competencia desleal                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reportes de participación de la empresa en prácticas de competencia desleal</li> <li>Compromiso de la empresa para evitar competencia desleal entre empresas del sector o acuerdos que afectan a los clientes</li> <li>Códigos de conducta relacionados en la selección de proveedores</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-CD1</li> <li>• A-CD2</li> <li>• A-CD3</li> </ul> |

Si bien la mayoría de indicadores han sido seleccionados a partir de las sugerencias de las directrices de UNEP/SETAC [545], o de la experiencia de otros investigadores, hay indicadores que aún son objeto de debate en cuanto a su representatividad del impacto evaluado. En el caso de la subcategoría de Contribución a la Economía Nacional, se recomiendan indicadores como la cantidad de ingresos o ganancias de la empresa, los salarios pagados a los empleados, los gastos en I+D con relación a los ingresos, etc. [545]. Sin embargo, hay ciertas limitaciones con estos indicadores, por ejemplo, unos altos ingresos de las empresas no conducen automáticamente a una alta contribución al desarrollo económico. A pesar de esto, en diferentes casos de estudio se han usado indicadores únicos como la cantidad de exportaciones y nivel, existencia de reportes sobre la contribución económica por parte de la empresa [577], aporte al PIB nacional o cantidad de ingresos [457,551] o la cantidad de empleos generados [437,547,550,551,578]. Sin embargo, la cantidad de empleos, de ingresos o de utilidades generadas dependen del tamaño de la empresa más no del comportamiento de sus directivos o desempeño productivo de la empresa. Por otra parte, los salarios pagados y los gastos en I+D ya son analizados en las subcategorías de Salario Justo y de Desarrollo Tecnológico, respectivamente. Es por esto que, con el fin de emplear indicadores que no estén relacionados directamente con el tamaño de las empresas, es utilizado el indicador de productividad por trabajador, en donde se mide el valor agregado anual generado por la empresa frente al número de medio trabajadores.

### **3.2.2.3. Instrumentos de recopilación de datos**

Para la evaluación de la empresa de transporte mediante el análisis de inventario de Nivel 3, se utilizan fuentes de información primaria como el cuestionario del Anexo B.1 dirigido al gerente o directivos de la empresa; y las entrevistas semiestructuradas cumplimentadas según el formato del Anexo B.2, dirigidas a expertos y personas representativas para cada *stakeholder*. Estas entrevistas permiten realizar un análisis sectorial y territorial, a partir de sus percepciones sobre el impacto de las empresas del subsector del transporte de mercancías con relación a cada subcategoría de impacto social. Además, la entrevista sirve para identificar la relevancia que le dan a cada una de las subcategorías de impacto, con el fin de crear factores para la ponderación y agregación en categorías de impacto en la siguiente fase de evaluación de impactos. Los perfiles de los expertos que se han identificado para este ASCV y que representan los distintos tipos de *stakeholder* se detallan en la Tabla III.39.

**Tabla III.39. Potenciales perfiles de los expertos y su relación con los *stakeholders***

| <i>Stakeholder</i> | Subgrupo de interés            | Perfiles o cargos   |
|--------------------|--------------------------------|---|
| Trabajadores       | Trabajadores por cuenta ajena  | Conductor de camión   |
|                    | Trabajadores por cuenta propia | Conductor de camión (autónomo)  |
|                    | Asociaciones de trabajadores   | Líder asociación de camioneros  |
| Cientes            | Cientes                        | Gerente/responsable de logística en supermercados o grandes fábricas            |
| Comunidad local    | Administración pública         | Alcalde/concejal/político con conocimientos en temas ambientales y de movilidad |
|                    | Asociaciones de vecinos        | Líder comunitario   |
| Sociedad           | Entidades financieras          | Ejecutivo banca empresarial<br>Analista financiero                              |
|                    | Medios de comunicación         | Periodista  |
| Otros actores      | Asociaciones empresariales     | Representante de cámara de comercio/asociación de empresas transportistas       |
|                    | Empresas de transporte         | Gerente/propietario empresa transporte de mercancías                            |
|                    | Transportistas autónomos       | Conductor/propietario de camión (autónomo)                                      |
|                    | Proveedores                    | Vendedor de vehículos, autopartes, software o insumos                           |
|                    | Academia                       | Investigador experto en temas ambientales o de movilidad                        |
|                    | Corporaciones ambientales      | Responsable asuntos medioambientales locales o regionales                       |

El diseño de los métodos de recolección de información tiene en cuenta cuales son los procesos del sistema evaluado que tiene los mayores riesgos de presentar impactos sociales negativos. De acuerdo con el análisis bibliográfico de ACV en el sector del transporte del Capítulo II de esta tesis, el proceso con menor riesgo de generar impactos medioambientales relacionados con la contaminación del aire de las ciudades, tanto de impacto global como los GEI como de impacto local como las emisiones de CO, NOx, COV y MP, es la fabricación de vehículos. La construcción de carreteras, que podría tener a priori impactos medioambientales y sociales negativos (ruido, fragmentación de comunidades, afectación en zonas de conservación natural, etc.), en general genera más impactos positivos que negativos, ya que se tiene una buena planeación para evitar estos problemas. Además, la construcción de carreteras, suele no ser influenciada por los intereses de empresas o gremios transportadores, más bien son iniciativas del gobierno tras identificar necesidades de la sociedad y la industria. Por otra parte, el proceso que depende directamente de las empresas transportadoras y puede tener un impacto mayor a nivel regional, además del proceso de Tráfico, es el proceso de Producción de combustibles, ya que el empresario es al final quien decide qué combustible utilizar, el cual muchas veces puede ser producido local o regionalmente, generando los mayores impactos medioambientales, como también existiendo riesgos de presentarse más impactos negativos que positivos.

Es por lo anterior, que las entrevistas semiestructuradas se centran en cuestiones relacionadas directamente con los impactos medioambientales y sociales de las empresas de transporte de mercancías que participan en el estudio, es decir, en la operación de los camiones y del uso de combustibles, como también, en cuestiones relacionadas con los combustibles e infraestructuras.

El formato de entrevista semiestructurada para el análisis de la sostenibilidad del transporte de mercancías consta de tres apartados ((A) análisis medioambiental y tecnológico, (B) análisis

social y (C) análisis económico y desarrollo territorial). El apartado de análisis social incluye un grupo de preguntas específicas (B.6 a B.10), que buscan clasificar la percepción del entrevistado sobre el grado de concienciación o desempeño de las empresas de transporte de mercancías por carretera respecto a cada una de las subcategorías de impacto social anteriormente referidas en una escala de intensidad de 0 a 10, en donde 0 es muy baja y 10 muy alta. El entrevistado puede apoyarse en la guía de valoración de subcategorías de impacto presentada en el Anexo B.4.

Según esta guía, un valor de 5 indicaría que el entrevistado percibe que el grado de concienciación o desempeño de la empresa es neutro, es decir, que las empresas del subsector en la región cumplen de manera adecuada con la legislación o con lo mínimo requerido para no tener un mal desempeño en términos de impacto social, de acuerdo con las definiciones y puntos de referencia de cada subcategoría. Una valoración inferior a 5 indica que se estarían presentando situaciones socialmente negativas en el sector, mientras que una valoración superior a 5 apunta a que las empresas del sector están realizando actividades más allá del cumplimiento de la legislación, para beneficiar o mejorar los indicadores de la subcategoría de impacto social analizada.

A manera de ejemplo, para la subcategoría de Trabajo infantil, incluida en la pregunta B.6, si el entrevistado percibe que esta situación no se presenta en las empresas de transporte de mercancías, debido al cumplimiento de la legislación, la valoración sería de 5. Por otra parte, si el entrevistado conoce alguna situación en donde se empleen menores, *e.g.* en la carga y descarga de camiones, la valoración sería muy inferior a 5 por ser un trabajo riesgoso para la salud de los menores. En el caso contrario, si se percibe que las empresas del sector desarrollan campañas para disminuir las situaciones de trabajo infantil tanto en las empresas del mismo sector como en sus proveedores y clientes, por ejemplo, haciendo publicidad, aplicando códigos de conducta o promoviendo la asistencia a la escuela a través de becas o dotación de colegios, la valoración de esta subcategoría sería muy superior a 5.

### 3.2.3. Evaluación de impactos

Al igual que en los ACV medioambientales, en esta fase se caracterizan los resultados del análisis del inventario para obtener los resultados de los impactos sociales por cada subcategoría de impacto. También se procede a la agregación de subcategorías de impacto en categorías de impacto social más generales que puedan facilitar su comparabilidad e interpretación. Adicionalmente, se puede realizar la ponderación de los resultados, para obtener un único índice de impacto social del sistema. De esta manera, en esta fase es posible realizar tanto una evaluación global como una discriminada por procesos del sistema, por categoría de impacto y por *stakeholders*.

El método de evaluación desarrollado para este trabajo es definido como un **método de escalas de valoración multinivel**. Este método, básicamente, realiza la caracterización de los resultados del inventario de indicadores para cada subcategoría en función de cada nivel de análisis de inventario, mediante la valoración en una escala de intensidad de variables cualitativas politómicas, para luego proceder con la agregación y ponderación de subcategorías de impacto social.

### 3.2.3.1. Clasificación de subcategorías de impacto social

En las líneas directrices para el ASCV de la UNEP/SETAC [142,545] no se indica de qué forma deben clasificarse las subcategorías de impacto social, pero se sugiere que las categorías de impacto deben reflejar preferentemente normas internacionalmente reconocidas como la declaración de la ONU sobre los derechos económicos, sociales y culturales – ECOSOC. Esta clasificación en categorías de impacto pueden ser de dos tipos: del Tipo I se refiere a las categorías de impacto que reflejan los temas de interés para los *stakeholders* de manera agregada, como los derechos humanos, las condiciones de trabajo, la salud y seguridad, las repercusiones socioeconómicas, el patrimonio cultural y la gobernanza [579]; mientras que las del Tipo II se refieren principalmente a resultados de modelos de relaciones causales para ordenar las subcategorías en categorías como capital humano, patrimonio cultural y bienestar humano, este último a partir de subcategorías intermedias como salud, autonomía, seguridad y tranquilidad, igualdad de oportunidades, participación e influencia y productividad [580], Figura III.6.

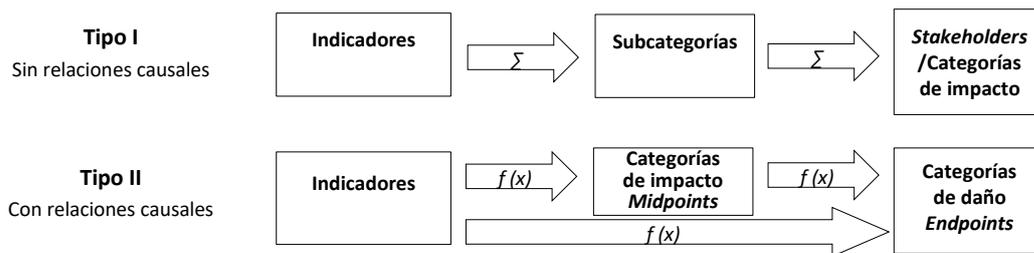


Figura III.6. Características de los tipos de modelos de caracterización de impactos sociales [581]

De acuerdo con el enfoque de *stakeholders* de la metodología propuesta en este trabajo, la clasificación en categorías de impacto debe ser del Tipo I. Entre las seis categorías de impacto Tipo I recomendadas [142,545], la de Salud y Seguridad es excluida en este trabajo, ya que en esta clasificación entrarían dos subcategorías: la de Salud y Seguridad del Cliente, la cual no aplica por ser un producto intangible; y la de Condiciones de Vida Seguras y Saludables de la comunidad local, que puede ser clasificada en la categoría Protección del Patrimonio Cultural y de las Comunidades. Por consiguiente, las subcategorías de impacto consideradas para este análisis se han clasificado en cinco categorías de impacto como se presenta en la Tabla III.40.

**Tabla III.40. Clasificaciones de las subcategorías seleccionadas en categorías de impacto social.**

| Categoría de impacto                                    | Subcategorías de impacto   |
|---|--|
| Derechos humanos  | Trabajo infantil<br>Explotación/trabajo forzado<br>Igualdad de oportunidades/discriminación  |
| Derechos de los trabajadores                            | Libertad de asociación de trabajadores<br>Salario justo<br>Horario laboral justo<br>Salud y seguridad en el trabajo<br>Beneficios sociales/seguridad social  |
| Protección del patrimonio cultural y de las comunidades | Deslocalización y migración<br>Respeto a las tradiciones locales<br>Respeto a los derechos de las comunidades indígenas<br>Participación de la comunidad<br>Condiciones de vida seguras y saludables<br>Acceso a los recursos materiales<br>Acceso a los recursos inmateriales<br>Transparencia en temas sociales/medioambientales |
| Repercusiones socioeconómicas                           | Creación de empleo local<br>Contribución a la económica nacional<br>Prevención y mitigación de conflictos armados<br>Desarrollo tecnológico<br>Relaciones con los proveedores<br>Confidencialidad con la información de los clientes<br>Mecanismos de retroalimentación con los clientes   |
| Gobernanza  | Compromiso público en temas de sostenibilidad<br>Corrupción<br>Competencia desleal   |

La clasificación de las subcategorías de impacto social presentada en la Tabla III.40, es la misma clasificación realizada para las preguntas B.6 a B.10 del formato de entrevista (Anexo B.2). El formato fue desarrollado con la clasificación por categorías de impacto y no por *stakeholders* con el fin de ayudar al entrevistado a conocer las categorías generales de impacto social y facilitar la respuesta a la pregunta B.12, la cual busca que el entrevistado seleccione el orden de prioridad que se debería dar a las diferentes categorías de impacto para mejorar el desempeño social de las empresas del sector de transporte de mercancías por carretera. Asimismo, esta clasificación en categorías de impacto evitaría sesgos en la información, eliminando la posibilidad de que el entrevistado adopte una posición imparcial entre *stakeholders*, afectando las valoraciones para las diferentes subcategorías de impacto.

### 3.2.3.2. Métodos de caracterización

Los métodos de caracterización son necesarios para transformar los resultados del inventario en un único resultado para cada subcategoría, de forma normalizada, de tal manera que permita la posterior agregación de los resultados. La UNEP/SETAC [142,545] no describe en sus líneas directrices qué métodos se pueden usar, dejando abierta esta fase para que los investigadores propongan diferentes métodos y formas de presentar los impactos de manera agregada.

En estudios de ASCV anteriores se han utilizado métodos como sistemas de puntuación binarios (1 o 0) que representarían el cumplimiento o no cumplimiento de determinado indicador [546] o la existencia de riesgos potenciales de impactos negativos [438,439]; escalas de puntuación de acuerdo al porcentaje de respuestas positivas en indicadores con variable cualitativa dicotómica [547]; sistemas de puntuación de 1, 0 o -1, para representar el hallazgo

de uno o más impactos negativos, ninguno encontrado o sin información, o la evidencia de uno o más efectos positivos, respectivamente [434]; escalas *Likert* y ponderación multinivel mediante paneles de expertos [437], escalas de colores [548,551,553], métodos de ponderación por coeficientes de tiempo trabajado en cada proceso evaluado [550] o métodos de cálculo de vías de impacto final para modelos de caracterización de categorías tipo II [541,544,582]. Sin embargo, ninguno de estos métodos ha tenido una aceptación total, necesitando más desarrollo mediante la elaboración de más casos de estudio, dando también vía libre a los investigadores para seguir proponiendo y complementando estos enfoques para la evaluación de los impactos sociales en el ciclo de vida de productos y servicios.

De acuerdo con el método de evaluación de escalas de valoración multinivel propuesto para este trabajo, se efectúa un proceso de caracterización diferente para cada nivel de análisis de inventario utilizado.

### 3.2.3.2.1. Caracterización del análisis de inventario Nivel 1

El método de caracterización para el inventario de indicadores genéricos utilizados para el análisis Nivel 1 es el más básico de toda la serie y utiliza escalas de valoración de cinco etiquetas lingüísticas que se cumplimentan en base a la presentación de los resultados de la fuente de datos de origen. Este método intenta reflejar el desempeño del sector/país en cada subcategoría de impacto social, mediante una variable cualitativa ordinal, la cual puede posteriormente tomar un valor numérico para facilitar la agregación y ponderación de los resultados finales. Las etiquetas se describen a continuación y se apoyan en su equivalente en una escala de colores para facilitar la comprensión de las tablas de caracterización:

- 5  **Muy positivo**/Muy bueno/Muy alto
- 4  **Positivo**/bueno/alto
- 3  **Moderado**/normal/medio
- 2  **Negativo**/malo/bajo
- 1  **Muy negativo**/Muy malo/Muy bajo

Estas escalas de valoración quedan definidas para cada subcategoría de impacto en el Anexo B.3. Por ejemplo, para la subcategoría de Trabajo infantil, analizada mediante la Tasa trabajo infantil en el país, la escala de valoración se presenta en la Tabla III.41.

**Tabla III.41. Escala de valoración análisis Nivel 1 en la subcategoría Trabajo infantil**

| Indicador de análisis genérico   | Fuente del indicador  | Rango de variable original | Valoración propuesta   |   | Comentarios  |
|----------------------------------|---|----------------------------|--|---|--|
|                                  |   |                            | Valor original   | Resultado   |  |
| Tasa trabajo infantil en el país | <i>UNICEF Data: Monitoring the Situation of Children and Women</i> [555]<br><br><i>+List of Goods Produced by Child Labor or Forced Labor</i> [556] | 0 – 100%                   | < 0,5%<br>0,5% – 2%<br>2% – 5%<br>5% – 20%<br>≥ 20% o listado* | <br><br><br><br> | Porcentaje de niños entre 5 y 17 años trabajando en el país, de acuerdo con las Convenciones 138 y 182 de la OIT [554].<br><br>*Si el producto aparece listado con riesgo de ser producido por trabajo infantil se valora directamente como “muy negativo” |

La escala de valoración para esta subcategoría de Trabajo infantil deriva de la presentada por la SHDB [441], la cual caracteriza los resultados de los indicadores en escalas de 4 etiquetas

lingüísticas, que para este indicador de la Tasa de trabajo infantil del país es definida como: baja (< 4%), moderada (4-10%), alta (10-20%) y muy alta (> 20%). Mientras que, para otros indicadores de análisis genérico utilizados, dado que la mayoría de reportes o fuentes de información clasifican a los países o sectores mediante índices (0-1, 0-100%, 1-7, etc.), la escala de valoración es ajustada proporcionalmente a las 5 etiquetas propuestas en este método.

Adicionalmente, para este método de evaluación genérico se introduce un factor de ajuste, relacionado con la existencia de códigos de conducta para la selección de proveedores en las empresas a quienes proveen, analizadas con los indicadores de análisis específico.

La existencia de códigos de conducta para la selección de proveedores, en la empresa específica analizada para subcategorías determinadas, actuaría como corrector de la evaluación obtenida en el análisis Nivel 1 en caso de que el resultado fuera una valoración de 2 (negativa) o de 1 (muy negativa), mejorando en un grado esta valoración. Por ejemplo, la valoración para los proveedores de petróleo crudo ubicados en Colombia en la subcategoría de Trabajo Infantil sería “negativa”, ya que el trabajo infantil a diciembre de 2016 en Colombia fue del 7,8% [555]. Sin embargo, si la empresa refinadora de petróleo presenta códigos de conducta y políticas de contratación con el compromiso explícito del respeto de los derechos humanos por parte de sus proveedores y, además, está vinculada a la Red Colombia contra el Trabajo Infantil y Pacto Mundial de la ONU, podría asumirse que hay poca probabilidad de que sus proveedores estén involucrados con trabajo infantil. De esta manera, la evaluación en el análisis Nivel 1 para los proveedores de la empresa refinadora (empresas extractoras de crudo en Colombia) mejoraría en un grado, obteniendo una valoración de impacto “medio”.

#### **3.2.3.2.2. Caracterización del análisis de inventario Nivel 2**

El método de caracterización para el inventario de indicadores de análisis específico utilizados para el análisis Nivel 2 es un poco más complejo que para el análisis Nivel 1, ya que hay que calcular el resultado a partir de la combinación de los datos obtenidos para los indicadores de cada subcategoría de impacto.

Para obtener la valoración única, se propone un sistema de puntuación basada en los hallazgos en cada subcategoría a partir de los indicadores de análisis específico, la cual se representaría en una escala de 0 a 10, igual a la usada en las entrevistas semiestructuradas para la valoración de las subcategorías de impacto social.

Mediante el sistema de puntuación, se partiría de una puntuación base de 5 puntos, en donde se asume que la empresa cumple con el requisito básico establecido como punto de referencia para cada subcategoría, sin afectar negativamente a los *stakeholders*, pero tampoco invirtiendo esfuerzos ni recursos para generar un impacto positivo importante. Consecuentemente, analizando los datos de los indicadores para cada subcategoría, se sumaría o se restaría hasta un máximo de 5 puntos a la puntuación base.

Este tipo de análisis es básicamente un método de caracterización de puntos de referencia (*performance reference points-PRP*). Los PRP pueden ser umbrales, metas u objetivos de acuerdo con convenciones y mejores prácticas establecidas internacionalmente [142], los cuales representan en este estudio la situación base o neutral en cuanto a impactos sociales.

A diferencia de la escala de valoración de 0 a 10 utilizada en las entrevistas a los *stakeholders*, en donde directamente se elige una sola valoración para determinar si el desempeño de las empresas del sector es percibido de forma positiva, negativa o neutra, en el método de caracterización del análisis de inventario Nivel 2 es necesario realizar un balance para obtener una única valoración, ya que para una misma subcategoría, la empresa evaluada puede presentar tanto hallazgos positivos como negativos.

A partir de esta situación base, se sumarían de 1 a 5 puntos por los hallazgos positivos, completando una valoración máxima de 10, lo que indicaría que la empresa realiza los mayores esfuerzos para mejorar los impactos sociales relacionados con la subcategoría. De igual manera, los hallazgos negativos restarían de 1 a 5 puntos al resultado de la sumatoria de los hallazgos positivos con la situación base.

El sistema de puntuación para la evaluación de cada subcategoría de impacto queda definido en el Anexo B.4. Como ejemplo, en la Tabla III.42 se presenta el sistema de puntuación para la subcategoría de Desarrollo Tecnológico y en la Tabla III.43 un ejemplo de cómo es aplicado el sistema a los hallazgos encontrados en el análisis de inventario Nivel 2 a una refinería de petróleo.

**Tabla III.42. Sistema de puntuación de indicadores de análisis específico, subcategoría *Desarrollo Tecnológico***

| Subcat.                | Puntos  | Hallazgos   | Cod. |
|------------------------|---|---|------|
| Desarrollo tecnológico | +1  | La empresa comparte y/o transfiere nuevos desarrollos con otras instituciones o proveedores               | P5   |
|                        | +1  | La empresa capacita a todos sus trabajadores en el uso de los nuevos desarrollos y tecnologías adquiridas | P4   |
|                        | +1  | La empresa invierte en I+D una cantidad considerable de recursos (> 0,5% utilidad bruta del año previo)   | P3   |
|                        | +1  | La empresa invierte en I+D  | P2   |
|                        | +1  | La empresa adquiere la tecnología de última generación disponible en el mercado                           | P1   |
|                        | Base  | No se invierte en I+D, pero cuentan con tecnología medianamente moderna                                   |      |
|                        | -1  | Hay elementos en la empresa cuya tecnología es antigua, casi obsoleta                                     | N1   |
|                        | -1  | Hay elementos en la empresa cuya tecnología es obsoleta   | N2   |
|                        | -1  | No se capacita integralmente a los trabajadores para el uso de la tecnología presente en la empresa       | N3   |
|                        | -1  | La tecnología y/o procedimientos utilizados en la empresa son riesgosos para la salud y/o el ambiente     | N4   |
| -1                     | La tecnología y/o procedimientos utilizados en la empresa afectan la salud y/o el ambiente gravemente | N5  |      |

**Tabla III.43. Ejemplo de evaluación de indicadores de análisis específico en la subcategoría *Desarrollo Tecnológico* para una refinería de petróleo.**

| Indicadores análisis específico   | Hallazgos  | Puntos   |
|---|--|--|
|   |  | Base:5   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Reportes de inversión en investigación y desarrollo y utilización de las tecnologías más modernas disponibles</li> <li>Presencia de uso de tecnología obsoleta e ineficiente en la empresa</li> <li>Predisposición ante la innovación y transferencia tecnológica con sus proveedores</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>La ejecución de inversiones y gastos en proyectos de innovación y tecnología fue de 36.700 millones de pesos en el 2016, es decir, 0,24% de la utilidad bruta del año anterior [583]. El personal se capacita constantemente en nuevas tecnologías. Cuenta con departamento de innovación que generó beneficios para la empresa de 372,2 millones de dólares en 2016. En ese mismo año se obtuvieron 10 nuevas patentes, acumulando 79 patentes vigentes, siendo la institución nacional con mayor producción intelectual [583]. La refinería de Cartagena fue modernizada en 2015, catalogada como la más moderna de Latinoamérica [584–588].</li> <li>La Refinería de Barrancabermeja tiene más de 95 años [589], aunque ya hay un proyecto de modernización que se encuentra detenido desde 2015 por los bajos precios del petróleo y la falta de presupuesto [590,591]. La operación de maquinaria antigua ha generado emisión contaminantes que podrían ser evitadas con la modernización de la planta [592].</li> <li>Hay alianzas y convenios de cooperación tecnológica con universidades, proveedores y clientes en proyectos de investigación y transferencia tecnológica [583].</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>+1 (P1)</li> <li>+1 (P2)</li> <li>+1 (P3)</li> <li>-1 (N1)</li> <li>-1 (N4)</li> <li>+1 (P5)</li> </ul> |
|   |  | <b>TOTAL:</b>  |
|   |  | <b>7 puntos</b>  |

La evaluación de la refinería del ejemplo obtuvo una valoración final de 7 puntos, ya que obtuvieron 4 puntos positivos por su moderada inversión en I+D y su predisposición a la

transferencia tecnológica, pero por el hecho de utilizar aún tecnología casi obsoleta y contaminante en su principal planta refinadora, se han restado 2 puntos en la evaluación.

### **3.2.3.2.3. Caracterización del análisis de inventario Nivel 3**

La caracterización del inventario de datos obtenidos para la empresa de transporte de mercancías se compone de dos partes independientes. Por una parte, se utiliza el mismo método de caracterización del análisis de inventario Nivel 2, obteniendo una valoración en la escala de 0 a 10 para cada subcategoría de impacto. Mientras que, por otra parte está el análisis de las entrevistas realizadas a los *stakeholders* para extraer su percepción sobre el desempeño de las empresas de transporte de mercancías de la región en cada subcategoría, las cuales se obtienen a través de la selección directa de una valoración en la escala de 0 a 10.

Las valoraciones obtenidas para cada subcategoría de impacto mediante indicadores de análisis específico serían contrastadas con las valoraciones de los *stakeholders*, con el fin de identificar las subcategorías en donde la empresa evaluada presenta resultados con variaciones significativas respecto a la percepción media del sector. De esta manera, para las subcategorías identificadas, se procedería a realizar revalidación de la información obtenida y a partir de esta corregir o justificar el motivo de la baja o alta valoración para la empresa frente a la percepción media del desempeño del sector en la subcategoría específica.

### **3.2.3.3. Agregación y presentación de resultados**

Con el fin de agregar las valoraciones obtenidas para cada subcategoría de impacto en los diferentes niveles de análisis de inventario, es necesario ajustar cada una de ellas a la misma escala de medición.

Las valoraciones obtenidas en la escala de 0 a 10, en los análisis de inventario Nivel 2 y 3, se deben convertir a una escala de 1 a 5 como la usada en el análisis de inventario Nivel 1, que facilite tanto su comparabilidad como el análisis individual de cada subcategoría de impacto.

En el análisis de las preguntas realizadas en las entrevistas que se valoran en la escala de intensidad de variables discretas de 12 etiquetas (de 0 a 10 y NS/NC), se agruparían de igual manera en una escala de 1 a 5. En un análisis de frecuencias de las respuestas utilizando la escala de 12 etiquetas para cada pregunta, existirán una o varias de ellas que no son utilizadas, mientras varias de las demás etiquetas son utilizadas con mayor frecuencia.

A manera de ejemplo, una distribución de frecuencias de las respuestas obtenidas para una pregunta específica como la representada en la Figura III.7, que además proporciona un valor promedio de todas las repuestas de 5,58 con una desviación estándar de 2,87, no conduciría a ningún resultado concluyente.

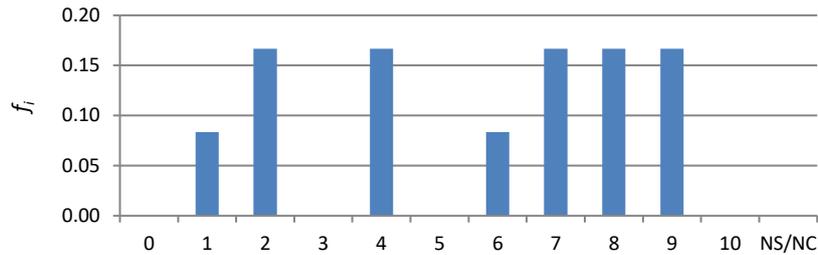


Figura III.7. Ejemplo de frecuencia relativa de respuestas.

Por esta razón, para facilitar el análisis, la escala de intensidad de 0 a 10 se agrupa en 5 etiquetas numéricas (de 1 a 5) codificadas en etiquetas lingüísticas (1= muy bajo; 2=bajo; 3=medio; 4=alto; 5=muy alto) como se muestra en la Tabla III.44.

Tabla III.44. Agrupación etiquetas escala original de 0 a 10 en variables lingüísticas, continuas y discretas de 1 a 5

| Etiquetas escala original |              | Nuevas Etiquetas |             |              | Color   |
|---------------------------|--------------|------------------|-------------|--------------|---|
| Discretas                 | Continuas    | Discretas        | Continuas   | Lingüísticas |   |
| 0                         |              |                  |             |              |   |
| 1                         | 0,00 – 2,00  | 1                | 1,00 – 1,80 | Muy bajo     |    |
| 2                         |              |                  |             |              |   |
| 3                         | 2,00 – 4,00  | 2                | 1,80 – 2,60 | Bajo         |    |
| 4                         |              |                  |             |              |   |
| 5                         | 4,00 – 6,00  | 3                | 2,60 – 3,40 | Medio        |    |
| 6                         |              |                  |             |              |   |
| 7                         | 6,00 – 8,00  | 4                | 3,40 – 4,20 | Alto         |   |
| 8                         |              |                  |             |              |   |
| 9                         | 8,00 – 10,00 | 5                | 4,20 – 5,00 | Muy alto     |  |
| 10                        |              |                  |             |              |   |

El análisis de la misma pregunta en la nueva escala se presenta en la Figura III.8, de la cual se pueden obtener conclusiones más fácilmente, con un promedio de 3,33 (equivalente a 6,66 en la escala original) y una desviación estándar de 1,23, concluyendo que la percepción de los entrevistados para el aspecto evaluado a través de dicha pregunta sería medio-alta.

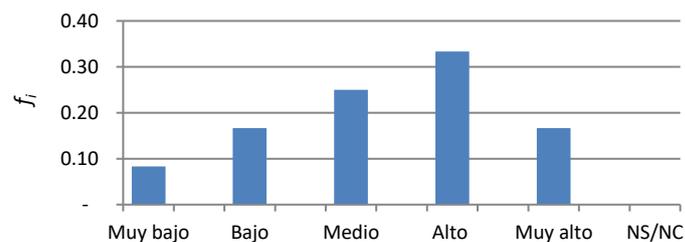


Figura III.8. Frecuencia relativa respuestas a la pregunta en etiquetas lingüísticas

El análisis de estas respuestas en escala de 1 a 5 resulta ser más sencillo, por lo que se podría pensar que la entrevista debió plantearse para ser respondida en esta misma escala reducida. Sin embargo, el hecho de presentar pocas opciones de respuesta podría limitar o entorpecer el ritmo de la entrevista. Por ejemplo, si el entrevistado considerara que la respuesta a una pregunta dada sería ligeramente superior al término medio (etiqueta 6 en la escala de 0 a 10), este no se sentiría cómodo escogiendo la etiqueta 3 (medio) ni la etiqueta 4 (alto), en el caso de usar una escala de 1 a 5. En esta situación, cabe la posibilidad de que el entrevistado o el entrevistador elijan al azar entre la etiqueta 3 o la etiqueta 4, generando errores en el análisis si escogiera la etiqueta 4, la cual no representa su percepción real. Por esta razón, se hace

necesario ofrecer opciones intermedias como las brindadas por la escala de intensidad de 0 a 10.

### **3.2.3.3.1. Ponderación de subcategorías de impacto**

La ponderación de las subcategorías de impacto se obtiene mediante el cálculo de índices de prioridad de cada subcategoría, a partir de los cuales se calculan los *índices de impacto social* de una empresa o proceso del sistema del transporte por categoría de impacto y por *stakeholder*.

De esta manera, se presentarían los resultados agregados por categorías de impacto y desglosados para cada proceso del sistema de transporte evaluado, con el fin de identificar las fases y procesos con los impactos sociales más importantes. La agregación de las subcategorías en las cinco categorías de impacto consideradas se realiza mediante los índices de prioridad obtenidos en la pregunta B.11 del formato de entrevista semiestructurada, en donde los entrevistados clasifican por orden de importancia cada subcategoría en su correspondiente categoría de impacto.

De manera alternativa, las subcategorías de impacto social se podrían agregar por *stakeholder*, de acuerdo con la clasificación realizada en la primera fase del ASCV en la Tabla III.23. Los índices de prioridad de subcategorías de impacto se obtendrían según el orden de importancia dada a cada una de ellas por el correspondiente *stakeholder* en la pregunta B.13 del formato de entrevista semiestructurada.

La agregación y presentación de resultados por *stakeholders* podría ser un enfoque que permita reflexionar sobre el potencial impacto del desempeño de las empresas sobre el bienestar de cada uno de los *stakeholders* además de ser novedoso ya que hasta el momento ningún autor ha realizado la agregación de subcategorías de esta manera [593].

Para la presentación de resultados preliminares, discriminados por procesos, se recomienda realizar un cálculo ponderado, dando mayor peso a los resultados derivados de los análisis de inventario Nivel 2 y un menor peso a las valoraciones de sus proveedores, evaluados con el análisis de inventario Nivel 1. Asimismo, en el proceso de tráfico, los resultados para la empresa de transporte tendrían un mayor peso que los resultados del análisis a las actividades de mantenimiento de vehículos y carretera. Dado que estas ponderaciones serían relativas, definidas a juicio de los investigadores según la profundidad de cada análisis a cada eslabón del ciclo de vida del sistema, los resultados por cada proceso estarían sujetos a análisis de sensibilidad posteriores.

### **3.2.3.3.2. Ponderación de actividades del sistema**

Con el fin de obtener un único *índice de impacto social* por categoría de impacto o por *stakeholder*, para todo el sistema del transporte, se fijan los factores de ponderación de actividades del sistema presentados en la Tabla III.45. Estos factores se obtienen mediante la asignación de pesos relativos a los resultados de cada actividad evaluada, es decir, a través del

otorgamiento de un mayor grado de importancia a los impactos encontrados en la actividad principal del servicio del transporte de mercancías, frente a los impactos de las actividades en los procesos secundarios y de apoyo en el ciclo de vida del transporte, considerando también la ubicación geográfica del desarrollo de cada actividad. Cabe destacar que la evaluación mediante estos factores, al estar basada en una ponderación relativa, deberá ser sometida a análisis de sensibilidad en la siguiente fase de interpretación del ASCV.

**Tabla III.45. Ponderación de actividades del sistema de transporte**

| Proceso    | Actividad de la empresa  | Análisis inventario | Peso de sus impactos | Factor de ponderación |
|------------|--|---------------------|----------------------|-----------------------|
| Tráfico    | Transporte de mercancías por carretera                               | Nivel 3             | 100%                 | 0,23                  |
|            | Mantenimiento de vehículos   |                     | 70%                  | 0,16                  |
|            | Mantenimiento de carreteras  |                     | 70%                  | 0,16                  |
| Secundario | Actividad con operación base en un radio de 100 km                   | Nivel 2             | 60%                  | 0,14                  |
|            | Actividad con operación base en el resto del país                    |                     | 50%                  | 0,11                  |
|            | Actividad con operación base fuera del país                          |                     | 40%                  | 0,09                  |
|            | Proveedores de los procesos secundarios con operación en el país     | Nivel 1             | 30%                  | 0,07                  |
|            | Proveedores de los procesos secundarios con operación fuera del país |                     | 20%                  | 0,05                  |

Esta ponderación de actividades es necesaria, debido principalmente al nivel de profundidad y precisión en que cada una ha sido analizada y, además, por el alcance local y regional que tienen la mayoría de aspectos sociales. Los impactos más importantes son los directamente relacionados con el comportamiento de la empresa de transporte de mercancías evaluada y de las empresas que hacen posible su operación, como sus proveedores de productos o de servicios como el mantenimiento, manejo de residuos y tratamientos de fin de vida, que cuanto más próximos se encuentren a la base de operaciones de la empresa, mayor impacto tendrán en las condiciones socioeconómicas y bienestar de la población de la zona.

Lo anterior podría ser debatido desde el punto de vista moral. Por ejemplo, si se realizara un caso a estudio de una empresa de transporte ubicada en España y con proveedores nacionales y extranjeros, considerar que impactos negativos como el trabajo infantil y la explotación laboral son más graves cuando se presentan en España y menos graves si ocurren en terceros países no sería moralmente correcto. Sin embargo, como el ASCV también tiene en cuenta impactos positivos de las empresas, como las inversiones en proyectos de infraestructura, transferencia de conocimientos, *royalties*, empleo local, mitigación de conflictos, becas de estudios, entre otros impactos que contribuyen al desarrollo económico y bienestar de la comunidad local, está claro que estos beneficios tienen poco o nulo impacto en la comunidad española cuando estos proveedores se encuentran en otro país. Por otro lado, enfocando exclusivamente el análisis al desarrollo socioeconómico del área de influencia de las empresas de los casos de estudio, los impactos sociales negativos como el trabajo infantil, generarían un mayor impacto en la sociedad donde ocurre esta problemática debido al arraigamiento del ciclo de pobreza, generado por la reducción de oportunidades de educación y desarrollo del potencial de los menores, quienes a su edad adulta verían sus opciones de progreso social y económico notablemente mermadas [545].

Por lo anterior, a diferencia de los estudios de ACV, en donde impactos medioambientales que afectan al planeta entero como las emisiones de GEI deben tener igual importancia independientemente del país donde se originen, en un ASCV, la mayoría de los impactos sociales tienen mayor importancia si ocurren en la zona geográfica de influencia de la empresa operadora del servicio evaluado.

### 3.2.3.3.3. Índice de Desempeño Social del sistema

Con el fin de resumir el desempeño social del sistema de transporte de manera global en un único valor, puede ser calculado un **Índice de Desempeño Social (IDS)**. Este índice es obtenido a partir de índices de prioridad de cada categoría de impacto, calculados a partir de los resultados de la pregunta B.12 del formato de entrevista semiestructurada, en donde cada *stakeholder* indica el orden de importancia que deberían tener las categorías de impacto para que las empresas mejoren su desempeño social.

De esta manera, el *Índice de Desempeño Social*, representado como un número entre 1 y 5, siendo 1 muy negativo y 5 muy positivo, puede servir como un indicador global para el servicio de transporte de mercancías evaluado, considerando el ciclo de vida de sus principales actores, además de ser útil para comparar productos diferentes de la misma empresa o productos similares de diferentes empresas.

En síntesis, se presentan las variables y ecuaciones utilizadas en el motor de cálculo para la obtención del IDS del sistema en Tabla III.46.

**Tabla III.46. Variables y ecuaciones motor de cálculo del método de evaluación del ASCV**

| Variable    | Definición   | Ecuaciones   |
|-------------|--|--|
| $IPC_i$     | Índice de prioridad de la categoría de impacto social $i$<br>[ $i=1$ (derechos Humanos); $i=2$ (derechos trabajadores); $i=3$ (patrimonio y comunidades); $i=4$ (repercusiones socioeconómicas); $i=5$ (gobernanza)]   | $\sum_{i=1}^5 IPC_i = 1$   |
| $IPS_j$     | Índice de prioridad de la subcategoría de impacto social $j$<br>[ $j=1$ (trabajo infantil); $j=2$ (explotación/trabajo forzado); $j=3$ (igualdad de oportunidades/discriminación); $j=4$ (libertad de asociación de trabajadores); $j=5$ (salario justo); $j=6$ (horario laboral justo); $j=7$ (salud y seguridad en el trabajo); $j=8$ (beneficios sociales/seguridad social); $j=9$ (deslocalización y migración); $j=10$ (respeto a las tradiciones locales); $j=11$ (respeto a los derechos de las comunidades indígenas); $j=12$ (participación de la comunidad); $j=13$ (condiciones de vida seguras y saludables); $j=14$ (acceso a los recursos materiales); $j=15$ (acceso a los recursos inmateriales); $j=16$ (transparencia en temas sociales/medioambientales); $j=17$ (creación de empleo local); $j=18$ (contribución a la económica nacional); $j=19$ (prevención y mitigación de conflictos armados); $j=20$ (desarrollo tecnológico); $j=21$ (relaciones con los proveedores); $j=22$ (confidencialidad con la información de los clientes); $j=23$ (mecanismos de retroalimentación con los clientes); $j=24$ (compromiso público en temas de sostenibilidad); $j=25$ (corrupción); $j=26$ (competencia desleal)] | Clasificación por categorías de impacto social ( $i$ ):<br><br>$\sum_{j=1}^3 IPS_j = 1 \quad (i=1)$<br>$\sum_{j=4}^8 IPS_j = 1 \quad (i=2)$<br>$\sum_{j=9}^{16} IPS_j = 1 \quad (i=3)$<br>$\sum_{j=17}^{23} IPS_j = 1 \quad (i=4)$<br>$\sum_{j=24}^{26} IPS_j = 1 \quad (i=5)$ |
| $FPA_w$     | Factor de ponderación de la actividad $w$<br>[ $w=1$ (empresa transporte); $w=2$ (empresa constructora de carreteras); $w=3$ (empresa refinación y distribución de combustibles); $w=4$ (empresa fabricación de vehículos); $w=5$ (subsector fabricación componentes vehículos); $w=6$ (subsector extracción/producción petróleo); $w=8$ (subsector producción materiales de construcción); ... $w=n$ (empresas actividades de fin vida)]  | $\sum_{w=1}^n FPA_w = 1$   |
| $IIS_{j,w}$ | Índice de impacto social de la subcategoría $j$ en la actividad $w$  | Resultado caracterización  |
| $IISP_j$    | Índice de impacto social ponderado del sistema para la subcategoría $j$  | $IISP_j = \sum_{w=1}^n IIS_{j,w} FPA_w$  |
| $IIC_i$     | Índice de impacto social ponderado del sistema para la categoría $i$   | $IIC_1 = \sum_{j=1}^3 IISP_j IPS_j$<br>$IIC_2 = \sum_{j=4}^8 IISP_j IPS_j$<br>$IIC_3 = \sum_{j=9}^{16} IISP_j IPS_j$<br>$IIC_4 = \sum_{j=17}^{23} IISP_j IPS_j$<br>$IIC_5 = \sum_{j=24}^{26} IISP_j IPS_j$   |
| IDS         | Índice de desempeño social del sistema   | $IDS = \sum_{i=1}^5 IIC_i IPC_i$   |

### 3.2.4. Interpretación de resultados

Al igual que la fase de interpretación de un ACV convencional, en esta fase se analizan los resultados con el fin de establecer conclusiones. Específicamente, basados en el objetivo y alcance del estudio, se deben identificar los principales hallazgos, aspectos críticos y limitaciones del estudio, evaluar la compleción y consistencia de los resultados, escribir conclusiones, proponer recomendaciones, publicar los resultados finales de forma transparente y, opcionalmente, reportar el nivel de participación y compromiso que hayan tenido los *stakeholders* en el estudio [142].

En la identificación de aspectos críticos, se deben destacar los impactos sociales más relevantes, las limitaciones y suposiciones hechas durante el estudio y las consecuencias de las decisiones tomadas a lo largo del estudio.

Para verificar la compleción y consistencia de los resultados se realizan análisis de integridad y análisis de sensibilidad o de consistencia. El análisis de integridad se ejecuta para asegurar que los datos están disponibles y completos, mientras que el análisis de sensibilidad evalúa la fiabilidad de los resultados, examinando si se ven afectados por incertidumbres en los datos o métodos de evaluación. Debido al grado de subjetividad que pueden incorporar los métodos de evaluación por la ponderación de actividades del sistema y por la ponderación de subcategorías de impacto basados en índices de prioridad, se hace necesario un análisis de sensibilidad para observar si estas ponderaciones afectan los resultados finales del estudio.

El análisis de sensibilidad, básicamente, se realizaría omitiendo dichas ponderaciones, es decir, dando el mismo peso a las diferentes subcategorías o categorías de impactos, así como analizando los resultados suponiendo pesos similares para todos los eslabones del sistema evaluado. De manera similar, se omitirían las ponderaciones realizadas al interior de cada proceso, en donde se haya asignado un mayor peso a las valoraciones obtenidas para una empresa específica frente a las valoraciones obtenidas para sus proveedores.

En este sentido, se podrían proponer cuatro escenarios diferentes de resultados, incluyendo el de los resultados finales presentados en la fase anterior, escenario (d). Los escenarios serían los siguientes:

- a) **Pesos iguales, sin incluir índices de prioridad**, en donde todas las valoraciones individuales obtenidas para cada empresa y sector tendrán igual peso tanto en el cálculo de los promedios para cada proceso, como en el promedio global del sistema, es decir, sin factores de ponderación de actividades. Tampoco se consideran los índices de prioridad de subcategorías de impacto.
- b) **Pesos iguales, incluyendo índices de prioridad**, en donde todas las valoraciones individuales obtenidas para cada empresa y sector tendrán igual peso tanto en el cálculo de los promedios para cada proceso, como en el promedio global del sistema, es decir, sin factores de ponderación de actividades. Se consideran los índices de prioridad de subcategorías de impacto.

- c) **Ponderado, sin incluir índices de prioridad**, en donde se mantiene la ponderación de actividades para cada empresa y sector tanto en el cálculo de los promedios para cada proceso, como en el promedio global del sistema, pero sin considerar los índices de prioridad de subcategorías de impacto.
- d) **Ponderado, incluyendo índices de prioridad**, en donde se mantiene la ponderación de actividades para cada empresa y sector tanto en el cálculo de los promedios para cada proceso, como en el promedio global del sistema, considerando también los índices de prioridad de subcategorías de impacto.

De igual manera que para los resultados finales del estudio, se deben analizar los resultados del análisis de sensibilidad y establecer conclusiones considerando cada proceso y fase del ASCV. A partir de estas conclusiones, se deben proponer recomendaciones para la toma de decisiones, así como reportar los resultados en la forma que facilite su comprensión por parte de personas no expertas en el tema.

El nuevo elemento incluido en la fase de interpretación, que sugiere reportar el nivel de participación y compromiso que hayan tenido los *stakeholders* en el estudio, es esencial especialmente cuando se realiza un análisis de inventario Nivel 3, es decir, cuando se desarrolla trabajo de campo, con visitas y entrevistas a las empresas y a la comunidad afectada. Es importante, además de describir el grado de participación y compromiso de los *stakeholders*, agradecer y otorgar los créditos y derechos por información específica aportada por cada participante, con su previa autorización y siempre respetando las cláusulas de confidencialidad y los principios y políticas de tratamiento de protección de datos personales.

### 3.3 Discusión metodología ASCV

A diferencia de un ACV convencional, en el que se analizan los impactos medioambientales asociados directamente a flujos físicos en el ciclo de vida del servicio o producto, en la mayoría de los ASCV deberá evaluarse el comportamiento general de la empresa involucrada en el ciclo de vida del producto o servicio, dada la dificultad de asociar los impactos sociales de manera específica a una unidad funcional.

En el caso de servicio de transporte, para los procesos de producción de combustibles y de la fabricación de vehículos utilizados, debido a la imposibilidad de determinar el impacto asociado a los litros de diésel o a los vehículos adquiridos concretamente, es necesario evaluar el comportamiento de toda la empresa durante el periodo en que presumiblemente ocurrieron las actividades relacionadas con la producción de los productos. Por ejemplo, para un vehículo comprado en el año 2016, no es posible determinar si hubo algún impacto social directamente relacionado con esa unidad producida, como un accidente laboral o el involucramiento de trabajo infantil o forzado durante los días en que la unidad estuvo en la línea de ensamblaje. Además, como la producción del vehículo pudo haberse iniciado el año anterior o incluso antes, considerando los procesos de investigación, diseño de producto, planeación y adquisición de materiales, es razonable realizar el análisis del comportamiento de la empresa en un periodo hasta de 5 años.

Aunque, para el caso de la construcción de la carretera, si es posible, y más coherente, realizar el análisis de los impactos sociales atribuidos de manera concreta a la carretera utilizada. Esto es debido a que las empresas constructoras pueden realizar proyectos en diferentes países, siendo posible que tengan comportamientos e impactos sociales diferentes de un proyecto a otro. En este sentido, si hay suficiente información disponible para realizar el inventario del ciclo de vida de la construcción de la carretera identificada, sería conveniente considerar solo los impactos sociales asociados a esta. De lo contrario, se realizaría el análisis a la empresa responsable, considerando sus actuaciones en el país en donde está ubicado el proyecto.

En cuanto a la fase de evaluación de impactos, el método de caracterización propuesto y descrito en esta metodología para ASCV, básicamente combina varios enfoques utilizados en estudios ASCV anteriores para la evaluación subcategorías y categorías de impacto tipo I. En una revisión de ASCV realizados hasta el año 2016, Russo et al. [593] clasificaron los métodos usados en seis grupos:

- 1) Evaluación basada en normas y mejores prácticas;
- 2) Evaluación basada en normas y mejores prácticas y en el contexto socioeconómico de los procesos unitarios;
- 3) Evaluación basada en el juicio de *stakeholders* sobre el cumplimiento de las normas por parte de las empresas;
- 4) Evaluación basada en la opinión de investigadores sobre las actividades de las empresas;
- 5) Evaluación basada en cómo una empresa o un sector o un país se posiciona con respecto al rendimiento medio del sector, país o a nivel mundial;
- 6) Evaluación basada en la comparación del desempeño social de una empresa o un sector frente a otra empresa o sector.

El método desarrollado se podría clasificar en todos los grupos, con excepción del grupo 6, ya que el análisis se realiza de manera individual, sin posibilidad de comparar el desempeño de las empresas evaluadas con otras empresas en la misma actividad, aunque para muchos de los indicadores utilizados el desempeño de la empresa es comparado frente al desempeño del sector.

El método se clasificaría en el grupo 1 al utilizar normas y mejores prácticas como puntos de referencia para la valoración de cada subcategoría. Asimismo, el método estaría indirectamente clasificado en el grupo 2, es decir, la valoración del desempeño de la empresa en determinada categoría podría verse influenciada por el contexto socioeconómico de la ubicación geográfica de las operaciones de la empresa. Ramírez et al. [594] propusieron un método de valoración de subcategorías con una escala de cuatro niveles (A, B, C y D) con relación al grado de cumplimiento del indicador de la subcategoría respecto a un PRP, teniendo en cuenta su contexto socioeconómico. Por ejemplo, para el indicador de trabajo infantil, el requisito era que no se empleara menores de 15 años según la convención 138 de la OIT, por lo que si la empresa cumplía con este requisito recibiría una calificación de B, y si además, la empresa tenía políticas o programas adicionales para evitar este problema recibiría una valoración de A. Por otro lado, si la empresa no cumplía este requisito, tendría una valoración de C si el contexto donde opera es negativo, o D si el contexto es positivo, es decir,

si la empresa opera en una región en donde el trabajo infantil es una práctica común, el hecho de no cumplir el requisito no es tan grave, comparado con una empresa que opera en un país en donde la práctica no es común. En este sentido, de las 4 etiquetas usadas, una es para calificación positiva (A), una neutra (B) y dos negativas (C y D).

El enfoque del método propuesto es similar al de Ramírez et al. [594], pero sin considerar directamente el contexto socioeconómico; aunque se da relevancia a las acciones de la empresa para mejorar el indicador o la gravedad en la afectación del mismo, las cuales son influenciadas indirectamente por el contexto socioeconómico. Por ejemplo, en el caso del trabajo infantil, si la empresa cumple el requisito y está ubicada en un país en donde el trabajo infantil no es una problemática, la empresa no invertiría en programas o políticas para evitar este problema por no ser necesario, cumpliendo simplemente el requisito, obtendría una valoración neutral, mientras que si la empresa estuviera ubicada en un país en donde el trabajo infantil es una práctica común, invertiría en programas de educación o campañas para evitar el trabajo infantil en la región, obteniendo esta última una mejor calificación, directamente por el comportamiento de la empresa, el cual es influenciado por el contexto socioeconómico.

En ambos métodos de evaluación, se podría pensar que no es justo que las empresas ubicadas en contextos negativos tengan la oportunidad de obtener mejores valoraciones, pero es necesario valorar estas acciones positivas de las empresas, que pueden ser ejecutadas también por empresas en contextos positivos mediante la aplicación de códigos de conducta en la selección de proveedores o donaciones a ONGs internacionales.

En cuanto a la clasificación del método de evaluación propuesto en los otros grupos, también se podría clasificar en el grupo 3, ya que las percepciones de los *stakeholders* son tenidas en cuenta en la caracterización del análisis de inventario Nivel 3. De acuerdo con Russo et al. [593], la inclusión de la experiencia de *stakeholders* probablemente sea el mejor recurso para evidenciar el impacto potencial que un sistema puede tener en el bienestar humano. Asimismo, los autores indican que la decisión de qué peso relativo debería darse a la opinión de los *stakeholders* en una evaluación en donde coexista la valoración basada en normas internacionales, mejores prácticas o conocimientos de expertos, aún es un tema de debate [593].

El método también podría clasificarse en el grupo 4, ya que el juicio de los investigadores es considerado para la valoración en la escala de 0 a 10 para cada subcategoría con base en los hallazgos del análisis de inventario y los puntos de referencia definidos. Por otra parte, el análisis de inventario de Nivel 1, sería clasificado en el grupo 5, ya que se considera el desempeño medio del sector y región en donde se encuentren los proveedores, con bases de datos, índices o rankings para cada aspecto social de manera genérica.

En cuanto al diseño de los métodos de recolección de datos, los diferentes tipos de análisis de inventario propuestos requieren dedicar mucho tiempo, dado el uso de diferentes fuentes de información secundaria. Para evitar esta alta inversión de tiempo se necesitaría disponer de una sola fuente. A pesar de que reúne un gran cantidad de indicadores para diferentes subcategorías de impacto social, se descartó el uso de la SHDB ya que solamente identifica los

riesgos potenciales de impacto social negativos [548] y no acciones positivas como se persigue en la metodología propuesta.

Adicionalmente, Ekener *et al.* concluyeron que la SHDB debe desarrollar información más detallada que incluya más subsectores y que puedan dividirse los países en regiones, al menos en países grandes como China, EE.UU. y Brasil, en donde las condiciones socioeconómicas varían considerablemente entre sus regiones, obteniendo mayor precisión de los resultados. Sin embargo, los autores consideraron que apoyar el análisis con la revisión de estudios y reportes locales sobre los impactos sociales de cada actividad pueden complementar el uso de estas bases de datos generales para obtener conclusiones aceptables [438].

La aplicación de la metodología de ASCV en el sector del transporte es una novedad en esta área de conocimiento, ya que para el año 2016 los únicos estudios que podrían relacionar con el sector eran los dedicados a la producción de biocombustibles [593,595].

La escala de valoración propuesta en el Anexo B describe los posibles impactos de manera genérica, por lo que puede ser usada o servir de base para futuros ASCV en otros sectores, siendo un aporte para el análisis de inventario y los métodos de evaluación de subcategorías de impacto requeridos para el desarrollo de la metodología de ASCV, la cual cada vez se hace más necesaria aplicar, especialmente en empresas con influencia directa o indirecta en comunidades de regiones en vía de desarrollo.

La inclusión de las opiniones de los *stakeholders* en esta metodología para el ASCV, además de la agregación y presentación de resultados por *stakeholder* es un enfoque que ha sido muy poco estudiado, el cual que permite reflexionar sobre el potencial impacto del desempeño de las empresas sobre el bienestar de cada uno de los grupos de interés afectados [593].



## CAPÍTULO IV.

# CASOS A ESTUDIO ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA MEDIOAMBIENTAL Y SOCIOECONÓMICO

Con el objetivo de evaluar la aplicabilidad y practicidad de las metodologías descritas en el Capítulo III para el análisis del ciclo de vida medioambiental y social y socioeconómico, así como la representatividad, consistencia y utilidad de los resultados, se han seleccionado tres empresas en diferentes contextos como casos de estudio.

La elaboración de diferentes casos de estudio surge de la necesidad de identificar los diversos impactos, principalmente sociales, que el transporte de mercancías podría generar en países con diferentes contextos socioeconómicos. En este sentido, además de aplicar la metodología a una empresa de transporte en España, se seleccionan empresas en países en vías de desarrollo como Colombia y Malasia, los cuales en cada caso representarían contextos socioeconómicos y culturales muy diversos.

Esta selección de empresas en países en desarrollo, además de representar el contexto occidental y oriental en cada caso, se ha realizado considerando como criterio básico la disponibilidad y acceso a la información, con el fin de llevar a cabo con éxito los diferentes análisis del ciclo de vida. Por este motivo, dada la necesidad de obtención de información para el ASCV a través de cuestionarios y entrevistas, era necesario seleccionar los países en donde existieran menores barreras idiomáticas y en donde se contara con el apoyo de un centro de investigación reconocido para la identificación tanto de las fuentes primarias con de las secundarias más fiables.

A partir de lo anterior, son seleccionadas empresas de transporte de mercancías por carretera con flota propia en Pereira (Colombia), Zaragoza (España) y Kuala Lumpur (Malasia), en donde fue posible obtener la información necesaria para el estudio en castellano y en inglés.

La aplicación de las metodologías de análisis de ciclo de vida en los diferentes contextos, además de obtener diferentes hallazgos tanto positivos como negativos en cuanto a impactos sociales, también presentarían impactos medioambientales muy diferentes en cada caso. Estos impactos medioambientales de los servicios del transporte de mercancía pueden variar debido a factores como la legislación local con relación a los límites en las emisiones atmosféricas de

fuentes móviles, la edad media de los vehículos, la topografía y estado de las carreteras, la cantidad y recorrido anual de los vehículos y la calidad y características del combustible utilizado en cada país.

En definitiva, la elaboración de los análisis de ciclo de vida en diferentes contextos socioeconómicos, culturales y geográficos, aporta a la identificación de las problemáticas en donde se debe poner mayor atención para mejorar el desempeño medioambiental, social y económico. Estos estudios contribuyen de manera importante en países en donde el desconocimiento de los problemas y su gravedad real, dificultan la toma de decisiones en los aspectos claves para mejorar la calidad de vida y desarrollo socioeconómico de sus habitantes.

## 4.1. Casos a estudio Análisis de Ciclo de Vida – ACV

### 4.1.1. ACV caso a estudio Colombia

#### 4.1.1.1. Definición de objetivos y alcance

La empresa Operador Logístico TCL es una empresa que lleva prestando el servicio de transporte de mercancías por más de 30 años, prestando el servicio de transporte de mercancías en los departamentos de Risaralda y Chocó. Actualmente su flota consta de 7 vehículos, 5 de ellos son camiones rígidos para transporte de carga pesada interurbana para la ruta entre las ciudades Pereira y Quibdó y 2 vehículos ligeros para la distribución urbana en Pereira.

**Tabla IV.1. Caracterización de la flota propia**

| Vehículo      | Marca     | Modelo | Cantidad | Peso bruto vehicular (PBV) (t) | Capacidad de carga (t) | Combustible | Año               |
|---------------|-----------|--------|----------|--------------------------------|------------------------|-------------|-------------------|
| Camión rígido | Ford      | F600   | 1        | 16                             | 10                     | Diésel      | 1958<br>(2010)    |
| Camión rígido | Chevrolet | NPR    | 3        | 7,5                            | 5                      | Diésel      | 2006 2009<br>2011 |
| Camión rígido | Chevrolet | NKR    | 1        | 5,2                            | 3,5                    | Diésel      | 2012              |
| Furgoneta     | Chevrolet | LUV    | 1        | 3                              | 1,2                    | Gasolina    | 1995              |
| Camioneta     | Chevrolet | D-MAX  | 1        | 3                              | 1                      | Diésel      | 2012              |

De acuerdo con la clasificación europea por tipo de vehículo, la flota de la empresa colombiana está compuesta de un camión rígido marca Ford tipo N3 (PBV > 12 t), 4 camiones rígidos marca Chevrolet tipo N2 (3,5 t < PBV ≤ 12 t) y una furgoneta y una pickup son tipo N1 clase III (1,7 t ≤ PBV ≤ 3,5 t).

El camión rígido de 16 t es del año 1958, adquirido de segunda mano en el año 1982 y fue repotenciado a 2010, es decir, se le cambió el motor por uno más moderno y potente, sistema de suspensión y algunas partes de la carrocería correspondientes a un camión del 2010, conservando el chasis original y su matrícula.

Con relación a la normativa para el control de gases contaminantes vehiculares en Colombia, descrita en el Anexo A.1, el camión Ford repotenciado a 2010 cumpliría los límites de emisiones equivalentes a la norma Euro II, al igual que los vehículos comprados en 2011 y 2012, mientras que los vehículos comprados antes del año 2010 podrían ser de la norma Euro I o pre-Euro, sin posibilidad de establecerlo con claridad por la ausencia de normatividad para controlar la entrada de camiones con diferentes tecnologías para el control de emisiones en dicha época. Sin embargo, por la ausencia de un conector funcional a la computadora del camión Ford repotenciado, a través de puerto OBD (*On-board diagnostics*), se determinó que este vehículo tiene instalado un motor con tecnología de control de emisiones pre-Euro.

Para este caso a estudio, se ha elegido evaluar el transporte de mercancías para la ruta principal de la empresa. En este sentido, el objetivo del ACV es la evaluación de los potenciales impactos medioambientales de un servicio específico de transporte con una carga habitual de mercancías, para el trayecto de ida desde la ciudad de Pereira hacia Quibdó; Figura IV.1.



**Figura IV.1. Situación geográfica de la ruta Pereira-Quibdó en Colombia (sin escala)**  
 Adaptada de [596]

La función de sistema es el transporte por carretera de una carga de 10 t para un cliente externo desde Pereira a Quibdó. Se pretende analizar el impacto ambiental de la prestación del servicio mediante un camión diésel marca Ford con capacidad de 10 t y PBV de 16 t del año 2010. Se consideran los siguientes datos suministrados por la empresa para el servicio a evaluar en la Tabla IV.2.

**Tabla IV.2. Descripción servicio de transporte de 10 t de mercancías desde Pereira a Quibdó.**

|  |                          |                        |                          |
|--|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| <b>Carga:</b> 10 t                                       | <b>Origen:</b> Pereira   | <b>Destino:</b> Quibdó | <b>Fecha:</b> 26-08-2016 |
| <b>Medio de transporte:</b> Un camión de 16 t (año 2010) |                          |                        |                          |
| <b>Información</b>                                       |                          |                        |                          |
| Lugar de inicio  | Cra 11 calle 31 Pereira  |                        |                          |
| Lugar de recogida de mercancía                           | Cll 9 cra 7 Dosquebradas |                        |                          |
| Lugar de Destino   | Cra 6 Cll 41 Quibdó      |                        |                          |
| Consumo de combustible                                   | 151 litros               |                        |                          |
| Distancia total recorrida                                | 260,5 km                 |                        |                          |
| Tiempo trayecto de sitio de recogida a destino           | 8,66 horas               |                        |                          |
| Tiempo descanso  | 0,66 horas               |                        |                          |
| Tkm transportados  | 2605                     |                        |                          |

El camión realiza el trayecto de regreso normalmente cargado con diferentes tipos de mercancías y factores de carga, por lo que el impacto medioambiental del regreso no es asignado a las toneladas de mercancías enviadas a Quibdó.

Las actividades incluidas en este ACV son inicialmente las descritas en la Figura III.2 de acuerdo con los límites y flujos del ACV atributivo como está presentado en forma simplificada en la Figura III.3. Durante el desarrollo del análisis de inventario, los límites del sistema podrían ser redefinidos y algunas actividades podrían ser excluidas por ausencia o poca precisión de los datos para cada proceso. Las categorías de impacto ambiental y el método de evaluación que será utilizado es el descrito por ReCiPe, el cual agrupa 18 categorías de impacto en 3 categorías de daños finales [535].

#### 4.1.1.2. Análisis de inventario

El análisis de inventario del ciclo de vida se realiza mediante la recopilación de datos para cada componente del sistema de transporte de mercancías, iniciando con el proceso principal de tráfico. Para este proceso principal, básicamente se calculan los consumos de combustible y emisiones contaminantes de la operación del vehículo. Posteriormente, se realiza el análisis de inventario para las actividades de apoyo al proceso principal, como el mantenimiento del vehículo y la carretera. Subsiguientemente, se realiza el análisis de inventario para los procesos secundarios, es decir, la fabricación del vehículo, la construcción de carreteras y la producción y distribución del combustible utilizado. También, el análisis de inventario para las actividades de fin de vida para cada uno de los procesos secundarios es incluido. Adicionalmente, para cada uno de los inventarios elaborados, se realiza el cálculo del factor de asignación de los impactos de estos inventarios a los tkm transportados por el servicio específico evaluado.

##### 4.1.1.2.1. Inventario proceso de Tráfico

###### ***Operación del vehículo***

Se han desarrollado diferentes modelos empíricos para el cálculo del consumo de combustible en vehículos en función de la velocidad y coeficientes relacionados con las características de la carretera, el peso y potencia del vehículo [597], modelos a partir de pruebas de laboratorio que tienen en cuenta solo la velocidad y parámetros específicos del vehículo [598] y otros más

elaborados como el HDM-4 [599] que tiene en cuenta, además de la velocidad, peso y potencia del vehículo, la resistencia a la rodadura, resistencia aerodinámica, resistencia de la inercia, intensidad de tráfico, las pendientes de la carretera, factores de ajuste climático por recorridos sobre carreteras con agua, nieve o arena, tipo y rigidez de neumáticos, estilo de conducción, entre otros. Sin embargo, la mayoría de estas variables tienen poca influencia en el consumo final cuando se trata de recorridos en carreteras montañosas a bajas velocidades, siendo importante básicamente el peso del vehículo (con su carga), la velocidad y el gradiente de la carretera [600,601].

Para la estimación del consumo de combustible por camiones en Colombia, J. Posada [600] desarrolló ecuaciones a partir de cálculos experimentales para camiones tipo C3 (rígido de 3 ejes con PBV de 28 t) y C3-S3 (articulado de 6 ejes con PBV de 52 t), en pruebas en régimen de flujo libre, en carretera doble calzada y pendientes de 2%, 5,5% y 7 %, para velocidades entre 25 y 70 km/h con cargas completas, medias o en vacío. Los consumos de diésel para el camión C3 con carga completa (PBV= 28 t) oscilan entre 60 l/100 km en gradientes de 2% hasta 140 l/100 km en gradientes de 7%, mientras que en carga media (PBV= 17 t) los consumos de diésel oscilan entre 40 l/100 km en gradientes de 2% hasta 92 l/100 km en gradientes de 7%. Los resultados de consumo de combustible de estos dos camiones fueron comparados con las estimaciones del modelo HDM-4, los cuales fueron hasta 270 % superiores a los calculados en las pruebas reales, evidenciándose la necesidad de calibración y adaptación del modelo HDM-4. Además de las diferencias presentadas en los diferentes métodos de cálculo y contextos, los resultados presentados en el estudio de J. Posada no podrían ser utilizados en este caso a estudio por las diferencias entre los camiones utilizados y las condiciones de la carretera.

Para la operación del vehículo del caso a estudio evaluado, se conoce que se consume en esta ruta (cuando no hay bloqueos o paso restringido por derrumbes, obras o accidentes) un promedio de  $150 \pm 10$  litros de diésel, dependiendo del tráfico encontrado, de acuerdo con estadísticas de la empresa. Para este caso evaluado, se obtiene al final del trayecto un consumo de 151 litros, dato que sirve como punto de partida para realizar los cálculos básicos como las emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y demás metales pesados presentes en el combustible. Sin embargo, es necesario calcular el consumo de combustible teórico para la ruta analizada, con el fin de analizar la diferencia entre los resultados teóricos y reales, para establecer así la precisión del método de cálculo aplicado para las demás emisiones contaminantes.

Se realiza un cálculo de prueba con la herramienta EcoTransIT para esta ruta, Figura IV.2, para el transporte de 10 t en camión clase 12-20 t, Euro I (no hay la opción para motor pre-Euro). Los resultados de EcoTransIT indicaron un consumo TTW de entre 1950 MJ para 250 km, es decir, considerando el uso de diésel B10, con una densidad de 0,858 kg/l y contenido energético de 41,86 MJ/kg [530], se obtiene un consumo promedio de 21,7 l/100 km, mientras que utilizando los factores de consumo promedio *Tier 2* (sin considerar velocidad, gradientes ni factores de carga específicos) del reporte de EMEP/EEA [373], se tendría un promedio de 25,7 l/100 km, ambas cifras muy inferiores al consumo real promedio de 58 l/100 km.

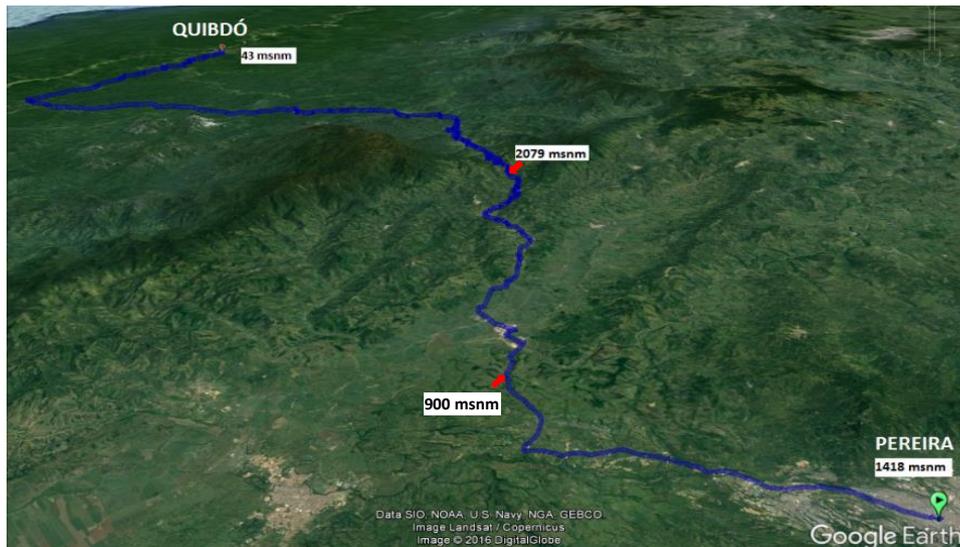


Figura IV.2. Ruta Pereira-Quibdó (vista satelital inclinada, sin escala). Adaptada de [602]

Es de destacar que el consumo en Europa varía apenas aproximadamente un 10% entre una carretera llana y una montañosa [132], gracias a la desarrollada infraestructura dotada de gran cantidad de túneles y viaductos, algo inexistente para la ruta Pereira-Quibdó, en donde los camiones tienen que recorrer la cordillera occidental por carreteras estrechas con niebla, curvas y gradientes considerables, además de tramos sin pavimentar o deteriorados por derrumbes de tierra. Por esta razón, esta distancia en Europa se puede realizar en tiempo aproximado de 4 horas, mientras que en la ruta Pereira-Quibdó se realiza en más de 8 horas.

Los modelos encontrados en la literatura reportan ecuaciones independientes para tramos ascendentes (rampas) y otras para tramos descendentes (pendientes), por lo que para aplicarlas se tendría que considerar solo el gradiente entre el origen y el final, resultando en un análisis de un recorrido con gradiente constante, es decir, un terreno poco accidentado (sin rampas ni pendientes), subestimando el consumo real.

Por lo anterior, se propone realizar la estimación del consumo de combustible utilizando los factores de consumo y emisión específicos *Tier 3* del reporte de EMEP/EEA [373] y apoyados con las aplicaciones *Google Earth Pro* y *GoogleMaps* para el cálculo de la velocidad y el gradiente medio en cada uno de los tramos del trayecto evaluado, Figura IV.3.



Figura IV.3. Perfil de elevación<sup>10</sup> recorrido interurbano Pereira-Quibdó [602]

<sup>10</sup> El perfil del elevación o perfil de altitud se refiere a la representación gráfica sobre un plano horizontal de la elevación (altura sobre el nivel del mar) de cada punto de la carretera del trayecto considerado

En este caso, de acuerdo con el perfil de elevación de la Figura IV.3, en donde los gradientes medios para las rampas y pendientes son 3,2% y -3,3%, respectivamente, se utilizan los coeficientes para gradientes de 4% y de -4% presentados en la Tabla IV.3 y aplicados en la ecuación (III.1).

**Tabla IV.3. Coeficientes Tier 3 para el cálculo de consumo energético para camión rígido diésel (14-20 t) convencional con factor de carga del 100% para gradientes de 4% y de -4% [373]**

| Coeficiente | Gradiente 4%      | Gradiente -4%     |
|-------------|-------------------|-------------------|
| Alpha       | 0,00020629912078  | 0,00052442645152  |
| Beta        | 0,15438609516080  | -0,13321703946441 |
| Gamma       | 7,31238927736054  | 9,35718449933968  |
| Delta       | 17,6117887963372  | 42,3703922036729  |
| Epsilon     | -0,00004004138466 | 0,00032169812325  |
| Zeta        | 0,01151021770551  | 0,02637169700754  |
| Eta         | 0,14712841575173  | 0,46243948944108  |
| FR          | 0                 | 0                 |
| CE (MJ/km)  | 27,01             | 3,80              |

De la ecuación (III.1) y una velocidad promedio de 30 km/h (260,5 km en 8,66 h), se obtiene para el camión evaluado que con gradientes de 4% el consumo energético es de 27,01 MJ/km y con gradientes de -4% es de 3,80 MJ/km. De acuerdo con los metros de incremento y pérdida de elevación del trayecto en la Figura IV.3, se obtiene que el 44% del trayecto de 260,5 km se está subiendo y el 56% se está bajando, por lo que aplicando los factores de consumo calculados se obtiene un consumo total de 3663 MJ, equivalente a un consumo de 102 litros, es decir, 39,2 l/100 km, cifra más cercana a los 58 l/100 km de consumo real que la calculada con el factor de consumo Tier 2.

Sin embargo, al utilizar el método Tier 3 suponiendo que el camión recorre una parte de su trayecto con rampa de 4% y el resto del trayecto con pendiente de -4%, se están omitiendo los tramos con gradientes superiores al 4%. En el perfil del trayecto en la Figura IV.3, se encuentra que especialmente entre el km 41 y km 130 se superan fácilmente gradientes medios de 6%; incluso hay un tramo de 12 km con un gradiente medio de 13,3% y otro de 31 km con gradiente medio de 8,5%.

Por lo anterior, para obtener resultados más precisos, sería necesario aplicar las ecuaciones para rampa y cada pendiente, lo cual resulta complicado por la gran cantidad de estas en todo el recorrido. Sin embargo, es posible simplificar el análisis dividiendo el trayecto en tramos con características similares, es decir, que durante el recorrido sus rampas y pendientes tengan gradientes, longitudes y frecuencia constantes en un tipo determinado de carretera.

En este sentido, el trayecto Pereira-Quibdó, es dividido en 33 tramos, teniendo en cuenta cambios significativos en variables de la carretera como la zona de circulación (urbana o interurbana), número de carriles por sentido, su topografía o la tendencia en su gradiente. La mayor parte de la división en tramos se ha generado por la presencia de 16 poblaciones en el trayecto, siendo obligatorio la reducción de velocidad para atravesarlas dada la ausencia de carreteras variantes o de circunvalación. Los datos son obtenidos mediante la aplicación *Google Earth Pro* y *GoogleMaps* para el cálculo de la velocidad y el gradiente medio en cada

uno de los tramos. La velocidad a utilizar para la estimación de consumos y emisiones es el valor corregido mediante un factor obtenido a partir del tiempo total teórico del recorrido frente al tiempo real promedio reportado por la empresa. Los datos obtenidos para cada tramo se presentan en el Anexo C.1.

Debido a que la velocidad varía dependiendo de factores como la longitud del tramo con determinado gradiente, la deflexión, radio y frecuencia de las curvas, la superficie de rodadura, los porcentajes de zonas de no rebase, congestión, factores climáticos, entre otras; es necesario adoptar una velocidad media para cada tramo. De acuerdo con el manual de capacidad y nivel de servicio del Instituto nacional de vías de Colombia [603] y del manual HCM-2000 (*highway capacity manual*) [604], el tipo de carretera para la mayor parte del trayecto con única calzada para cada sentido tendría un nivel de servicio E, los tramos más estrechos sin pavimentar tendrían un nivel de servicio F, mientras que las autovías un nivel de servicio B [605]. Las velocidades medias por nivel de servicio y gradiente se muestran en la Tabla IV.4.

**Tabla IV.4. Velocidades en km/h por nivel de servicio y gradiente de la carretera [603]**

| Tipo de terreno<br>(gradiente) | Niveles de servicio |       |       |       |       |    |
|--------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|----|
|                                | A                   | B     | C     | D     | E     | F  |
| Plano (< 3%)                   | ≥ 83                | 72-83 | 62-72 | 52-62 | 42-52 | 42 |
| Ondulado (≥ 3 y < 6%)          | ≥ 68                | 59-68 | 51-59 | 43-51 | 34-43 | 34 |
| Montañoso (≥ 6 y < 8%)         | ≥ 52                | 45-52 | 39-45 | 33-39 | 26-33 | 26 |
| Escarpado (≥ 8%)               | ≥ 36                | 31-36 | 27-31 | 23-27 | 18-23 | 18 |

A partir de los cálculos a realizados con los datos del Anexo C.1, se obtiene un promedio de velocidad de 36,4 km/h para el recorrido interurbano del trayecto Pereira-Quibdó, en donde las velocidades en cada tramo coinciden en su mayoría con las establecidas en la Tabla IV.4, la cual indica que en un terreno ondulado la velocidad estaría entre 34 y 43 km/h y en montañoso entre 26 y 33 km/h para este tipo de carretera. De esta manera, se consideran aceptables las velocidades estimadas para cada tramo obtenidas mediante *GoogleMaps*.

El tiempo estimado para cualquier vehículo en condiciones de tráfico denso en este trayecto es de 7,7 h, un 11,9% menos del tiempo que toman en promedio los camiones de la empresa. La diferencia entre los camiones y el promedio de los demás vehículos no es muy considerable, debido principalmente a que la carretera en su mayor parte es de calzada individual (un carril por sentido), en terreno accidentado, por lo que es difícil para los demás vehículos rebasar a los camiones que circulan más lento, reduciendo así la velocidad media de todos los vehículos.

Para los 33 tramos del trayecto, se obtiene un consumo promedio de 44,7 l/100 km, representando un 77% del consumo promedio real. Este resultado a través del método *Tier 3* por tramos, a pesar de estar más cerca del consumo real que los resultados obtenidos con el método *Tier 2* y *Tier 3* para el trayecto completo, puede omitir los consumos adicionales que se pueden generar en los cambios de marcha en cada una de las rampas y pendientes presentes en cada tramo, además de que muchas de estas rampas tienen gradientes muy superiores al gradiente medio del tramo analizado. Por otra parte, el modelo no considera la altitud, la antigüedad del camión, ni el estilo de conducción, factores que influyen de manera importante el consumo real de combustible [11,496,599,606]. Se estima que un estilo de

conducción eficiente puede ahorrar en promedio entre un 5 y 12% [52] e incluso hasta un 25% de combustible [36,503].

Por lo anterior, para obtener las emisiones dependientes del consumo de combustible (contaminantes del Grupo 2) se utiliza el consumo real, mientras que para las emisiones independientes del consumo de combustible (contaminantes del Grupo 1) se consideran las cifras obtenidas mediante el método de cálculo *Tier 3* por tramos y corregidas de manera proporcional a la diferencia entre el consumo de combustible calculado y el real.

Los resultados finales del inventario de la operación del vehículo, calculados para los 33 tramos del trayecto Pereira-Quibdó totales son representados en las Tablas IV.5 a IV.11.

**Tabla IV.5. Consumo energético total TTW caso Colombia**

| Consumo diésel B10 | Método de cálculo |               |                                   |                                     |
|--------------------|-------------------|---------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
|                    | Promedio real     | <i>Tier 2</i> | <i>Tier 3</i> (trayecto completo) | <i>Tier 3</i> (trayecto por tramos) |
| Litros             | 151               | 67            | 102                               | 116                                 |
| kg                 | 130               | 58            | 87                                | 100                                 |
| MJ                 | 5423              | 2408          | 3663                              | 4181                                |
| l/100 km           | 58,0              | 25,7          | 39,2                              | 44,7                                |
| MJ/km              | 20,82             | 9,25          | 14,06                             | 16,05                               |
| MJ/tkm             | 2,08              | 0,92          | 1,41                              | 1,61                                |

**Tabla IV.6. Emisiones contaminantes del Grupo 1 por la combustión de diésel B10 caso Colombia**

| Salidas                               | kg       | g/km     | g/tkm    |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|
| CO                                    | 1,60E+00 | 6,12E+00 | 6,12E-01 |
| NOx (sin NO <sub>2</sub> )            | 5,24E+00 | 2,01E+01 | 2,01E+00 |
| MP < 2,5 µm                           | 1,90E-01 | 7,29E-01 | 7,29E-02 |
| CH <sub>4</sub>                       | 2,85E-02 | 1,09E-01 | 1,09E-02 |
| COVDM (COV-CH <sub>4</sub> - grupo 4) | 1,11E-02 | 4,25E-02 | 4,25E-03 |
| N <sub>2</sub> O                      | 2,55E-03 | 9,78E-03 | 9,78E-04 |
| NH <sub>3</sub>                       | 1,01E-03 | 3,89E-03 | 3,89E-04 |
| NO <sub>2</sub>                       | 6,48E-01 | 2,49E+00 | 2,49E-01 |

**Tabla IV.7. Emisiones contaminantes del Grupo 2 por la combustión de diésel B10 caso Colombia**

| Salidas         | kg       | g/km     | g/tkm    |
|-----------------|----------|----------|----------|
| CO <sub>2</sub> | 3,68E+02 | 1,41E+03 | 1,41E+02 |
| SO <sub>2</sub> | 1,30E-01 | 4,97E-01 | 4,97E-02 |
| Plomo           | 6,48E-08 | 2,49E-07 | 2,49E-08 |
| Arsénico        | 1,30E-08 | 4,97E-08 | 4,97E-09 |
| Cadmio          | 6,48E-09 | 2,49E-08 | 2,49E-09 |
| Cobre           | 7,38E-07 | 2,83E-06 | 2,83E-07 |
| Cromo           | 1,01E-06 | 3,88E-06 | 3,88E-07 |
| Mercurio        | 6,87E-07 | 2,64E-06 | 2,64E-07 |
| Níquel          | 2,59E-09 | 9,95E-09 | 9,95E-10 |
| Selenio         | 1,30E-09 | 4,97E-09 | 4,97E-10 |
| Zinc            | 2,33E-06 | 8,95E-06 | 8,95E-07 |

**Tabla IV.8. Emisiones contaminantes del Grupo 3 por la combustión de diésel B10 caso Colombia**

| Salidas                | kg       | g/km     | g/tkm    |
|------------------------|----------|----------|----------|
| Indeno(1,2,3-cd)pireno | 4,73E-07 | 1,82E-06 | 1,82E-07 |
| Benzo(k)fluoranteno    | 2,06E-06 | 7,90E-06 | 7,90E-07 |
| Benzo(b)fluoranteno    | 1,84E-06 | 7,07E-06 | 7,07E-07 |
| Benzo(ghi)perileno     | 2,60E-07 | 9,99E-07 | 9,99E-08 |
| Fluoranteno            | 7,23E-06 | 2,77E-05 | 2,77E-06 |
| Benzo(a)pireno         | 3,04E-07 | 1,17E-06 | 1,17E-07 |
| Pireno                 | 1,07E-05 | 4,10E-05 | 4,10E-06 |
| Perileno               | 6,76E-08 | 2,59E-07 | 2,59E-08 |
| Benzo(b)fluoreno       | 3,57E-06 | 1,37E-05 | 1,37E-06 |
| Benzo(e)pireno         | 6,89E-07 | 2,65E-06 | 2,65E-07 |
| Tripenileno            | 3,24E-07 | 1,24E-06 | 1,24E-07 |
| Benzo(j)fluoranteno    | 4,42E-06 | 1,70E-05 | 1,70E-06 |
| Benzo(a)antraceno      | 8,07E-07 | 3,10E-06 | 3,10E-07 |
| Fluoreno               | 1,35E-05 | 5,19E-05 | 5,19E-06 |
| Criseno                | 5,49E-06 | 2,11E-05 | 2,11E-06 |
| Fenantreno             | 7,77E-06 | 2,98E-05 | 2,98E-06 |
| Naftaleno              | 1,89E-05 | 7,26E-05 | 7,26E-06 |
| Antraceno              | 2,92E-06 | 1,12E-05 | 1,12E-06 |
| Coronene               | 5,07E-08 | 1,95E-07 | 1,95E-08 |
| Dibenzo(ah)antraceno   | 1,15E-07 | 4,41E-07 | 4,41E-08 |
| Total HAPs             | 8,15E-05 | 3,13E-04 | 3,13E-05 |

**Tabla IV.9. Emisiones contaminantes del Grupo 4 por la combustión de diésel B10 caso Colombia**

| Salidas (agrupadas) | kg       | g/km     | g/tkm    |
|---------------------|----------|----------|----------|
| Alcanos             | 1,06E-01 | 4,07E-01 | 4,07E-02 |
| Cicloalcanos        | 3,90E-03 | 1,50E-02 | 1,50E-03 |
| Alquenos            | 4,84E-02 | 1,86E-01 | 1,86E-02 |
| Aldehídos           | 8,23E-02 | 3,16E-01 | 3,16E-02 |
| Aromáticos          | 8,46E-02 | 3,25E-01 | 3,25E-02 |

**Tabla IV.10. Emisiones contaminantes por el consumo de aceite lubricante de motor caso Colombia**

| Salidas         | kg       | g/km     | g/tkm    |
|-----------------|----------|----------|----------|
| CO <sub>2</sub> | 1,27E-01 | 4,86E-01 | 4,86E-02 |
| Plomo           | 1,35E-09 | 5,18E-09 | 5,18E-10 |
| Cadmio          | 1,85E-07 | 7,11E-07 | 7,11E-08 |
| Cobre           | 3,16E-05 | 1,21E-04 | 1,21E-05 |
| Cromo           | 7,80E-07 | 2,99E-06 | 2,99E-07 |
| Mercurio        | 1,30E-06 | 4,97E-06 | 4,97E-07 |
| Níquel          | 1,84E-07 | 7,08E-07 | 7,08E-08 |
| Selenio         | 1,83E-05 | 7,02E-05 | 7,02E-06 |
| Zinc            | 1,27E-01 | 4,86E-01 | 4,86E-02 |

**Tabla IV.11. Emisiones por la abrasión de neumáticos, frenos y superficie de carretera caso Colombia**

| Salidas               | Cantidad (kg) |          |           |
|-----------------------|---------------|----------|-----------|
|                       | Neumáticos    | Frenos   | Carretera |
| MP > 10 um            | 4,30E-03      | 3,62E-04 | 9,90E-03  |
| MP > 2,5 um, y < 10um | 1,94E-03      | 1,07E-02 | 4,55E-03  |
| MP < 2,5 um           | 4,52E-03      | 4,52E-03 | 5,35E-03  |
| Benzo(a)pireno        | 5,88E-09      | 1,34E-08 | -         |
| Benzo(b)fluoranteno   | -             | 7,60E-09 | -         |
| Benzo(k)fluoranteno   | -             | 1,12E-08 | -         |

Las emisiones de partículas de diferentes elementos metálicos y no metálicos, contenidos en el material particulado emitido por la abrasión de neumáticos y frenos, son presentadas individualmente y de manera específica según su destino en el Anexo C.2.

### **Mantenimiento del vehículo**

Se utiliza el inventario para el mantenimiento de camiones de 16 t del reporte *Transport services. Ecoinvent report No. 14* [529]. Se ajusta el inventario de materiales y energía usados para el mantenimiento anual del camión, considerando que el recorrido promedio es de 50 000 km, ya que realiza 8 viajes mensuales a Quibdó.

Debido al mal estado de la carretera, los neumáticos se cambian con mayor frecuencia que el promedio adoptado por *Ecoinvent* de 5,6 neumáticos al año (cada 70 000 km), utilizando en promedio 10,6 neumáticos al año con menos km recorridos. El 10% de los neumáticos son reencauchados una sola vez y estos duran un 30% más que los neumáticos nuevos, ya que el material de reencauchado es más resistente para los tramos de carretera sin pavimentar. Se tiene en cuenta también, que al utilizar neumáticos reencauchados, se ahorra el porcentaje de acero utilizado en la fabricación de neumáticos nuevos, los cuales están compuestos en un 17% de este mineral [529]. El cambio de baterías de los camiones es aproximadamente cada 2 años.

De las entradas consideradas para la operación de los talleres de mantenimiento son excluidos los flujos energéticos para climatización, debido al clima templado de la ciudad de Pereira. A partir de estos ajustes, los insumos y repuestos (principalmente importados) y energía utilizados en el mantenimiento son presentados en la Tabla IV.12.

**Tabla IV.12. Inventario del ciclo de vida para el mantenimiento anual del camión de 16 t caso Colombia**

| <b>Entradas</b>   | <b>Cantidad</b> | <b>Unidad</b> |
|---|-----------------|---------------|
| Electricidad, bajo voltaje {COL}  en mercado              | 410,19          | kWh           |
| Plomo {GLO}  en mercado                                   | 52,50           | kg            |
| Aceite lubricante {GLO}  en el mercado                    | 72,22           | kg            |
| Papel, pulpa química, sin recubrimiento {RoW}  en mercado | 3,24            | kg            |
| Polietileno, alta densidad, granulado {GLO}  en mercado   | 13,15           | kg            |
| Acero reforzado GLO}  en mercado                          | 123,32          | kg            |
| Ácido sulfúrico {GLO}  en mercado                         | 19,93           | kg            |
| Caucho sintético {GLO}  en mercado                        | 271,16          | kg            |

La asignación de impactos del mantenimiento se realiza a los 2605 tkm transportados en el servicio con relación a los tkm realizados por el camión al año. El factor de carga promedio para los trayectos de ida es del 76%, mientras que el factor de carga para los regresos es de aproximadamente 30%, por lo que el camión transporta aproximadamente 265 000 tkm al año. De esta manera, el factor de asignación de los impactos del mantenimiento del camión para el servicio evaluado es igual a 9,83E-03.

### **Operación y mantenimiento de la carretera**

Para el inventario presentado en la Tabla IV.13 se utilizan como base los datos genéricos del reporte *Transport services. Ecoinvent report No. 14* [529], ajustados a la distribución por tipo de los 206 500 km de carreteras existentes en Colombia [607] y considerando flujos energéticos y de materiales locales.

**Tabla IV.13. Inventario de ciclo de vida para la operación y mantenimiento de carreteras por metro-año en Colombia**

| Entradas  |  | Cantidad        | Unidad |
|---|--|-----------------|--------|
| Electricidad, medio voltaje {COL} en mercado                            |  | 1,22E+01        | kWh    |
| Glifosato {COL} en mercado  |  | 1,78E-05        | kg     |
| Pintura alquídica, a base de agua, solución al 60% {COL} en mercado     |  | 3,17E-02        | kg     |
| Pintura alquídica, a base de solvente, solución al 60% {COL} en mercado |  | 1,90E-02        | kg     |
| Transporte, coche pasajeros, grande, diésel, EURO 3 {COL}, mercado      |  | 5,50E-01        | km     |
| Salidas   |  |                 |        |
|   |  | <i>Al aire</i>  |        |
| COVDM   |  | 4,74E-03        | kg     |
| Calor residual  |  | 4,39E+01        | MJ     |
|   |  | <i>Al suelo</i> |        |
| Glifosato   |  | 1,78E-05        | kg     |

Del inventario del ciclo de vida de *Ecoinvent* para el mantenimiento y operación de carreteras, son excluidos los materiales usados para el control del hielo/nieve, ya que estas condiciones climáticas no se presentan Colombia.

La asignación de impactos se realiza considerando los km recorridos por el vehículo en función de los km totales recorridos por el parque automotor en el año, es decir, en función de los vkm (vehículo-km) recorridos. El método de cálculo del factor de asignación es desarrollado más adelante en la sección del inventario del proceso de construcción de carreteras (4.1.1.2.4).

#### 4.1.1.2.2. Inventario proceso de fabricación de Vehículos

No se encuentra información para la fabricación de camiones de 16 t para la marca Ford, por lo que es utilizado el inventario de *Ecoinvent v3.4*, elaborado a partir de datos para la fabricación de camiones Volvo en Alemania del 2004 [529].

El camión evaluado en el caso a estudio fue importado de México en 1958, por lo que se podría incluir el transporte marítimo del camión hacia Colombia. Sin embargo, el camión fue “repotenciado” en Colombia en 2010, dando de baja el motor y muchos componentes que tenían su vida útil prácticamente finalizada, manteniendo el chasis original. Por esta razón, se asume que el camión fue construido nuevamente en Colombia, por lo cual, no se incluye el transporte marítimo. El chasis está compuesto principalmente por acero, por lo que podría ser retirado del inventario. Sin embargo, no se conoce que proporción de hierro del inventario que se dedica a la fabricación del chasis y a la fabricación del motor.

Para el cálculo de los impactos medioambientales de la fabricación del camión, dado el caso especial de este camión repotenciado, se asume que fue ensamblado en el año 2010 en Colombia y con la mayoría de materiales importados, similarmente al inventario para la fabricación del vehículo modelado en *Ecoinvent* para un escenario global [529]. En este sentido, se modifican los flujos energéticos del inventario del ciclo de vida para la fabricación del camión de 16 t en Colombia, presentado en el Anexo C.3.

La asignación de impactos de la fabricación del camión se realiza a los tkm transportados en el servicio específico. El camión transporta aproximadamente 265 000 tkm al año, por lo que

considerando una vida útil de los camiones en Colombia de 21 años [608], transportaría un total de 5 565 000 tkm. De esta manera, el factor de asignación de los impactos de la fabricación del camión a los 2065 tkm del servicio evaluado es igual a 4,68E-04.

#### 4.1.1.2.3. Inventario proceso de producción de combustibles

Para el cálculo del impacto medioambiental de la producción, almacenamiento y transporte de los combustibles hasta la estación de servicio, se elabora el inventario para el Diésel B10 puesto en la estación de servicio en Pereira, es decir, considerando un análisis WTT.

El diésel B10 utilizado en el caso a estudio está compuesto en un 10% de su volumen por biodiésel (*Fatty Acid Methyl Esters- FAME*) de palma de aceite cultivada localmente, mientras que el 90% es diésel convencional (azufre≈500 ppm) a partir de petróleo también colombiano. Ambos combustibles son refinados también localmente en Barrancabermeja, Colombia.

Debido a que el refinado de los dos tipos de combustible no está modelado para Colombia en las bases de datos para ACV y, teniendo en cuenta que las actividades disponibles de refinado para Suiza (CH), Europa (RER) o resto del mundo (RoW) no representan el ciclo de vida de la producción de combustibles colombianos por contener crudo importado de muchas partes del mundo, y por ende, diferente distribución e impacto de modos de transporte y energía usados, es necesario crear las actividades y sus correspondientes inventarios para la producción de biodiésel de palma y diésel convencional de manera específica para Colombia.

Utilizando el software *SimaPro 8.5.0* [521] y la base de datos *Ecoinvent v3.4* [125] se crean las nuevas actividades para el ciclo de vida del diésel y el biodiésel a puerta de refinería en Colombia y las demás actividades necesarias para llevar el diésel B10 a la estación de servicio. Estas actividades de distribución consideran el transporte del combustible por carretera y por tubería, incluyendo las actividades de construcción de las infraestructuras de transporte y almacenamiento de hidrocarburos en el escenario Colombiano, es decir, utilizando los principales materiales y energía producidos en Colombia. De esta manera, el inventario del ciclo de vida para el diésel B10 puesto en estación de servicio en Pereira es presentado en la Tabla IV.14.

**Tabla IV.14. Inventario de ciclo de vida para la producción, almacenamiento y transporte de un kg diésel B10 a la estación de servicio en Pereira, Colombia**

| Entradas   |  | Cantidad       | Unidad         |
|--|--|----------------|----------------|
| Diésel {COL}, en planta  |  | 8,98E-01       | kg             |
| Éster metílico de aceite vegetal {COL} esterificación del aceite de palma, en planta       |  | 1,02E-01       | kg             |
| Transporte por tubería, en tierra, petróleo {COL} proceso                                  |  | 5,00E-01       | tkm            |
| Infraestructura, para la distribución regional del producto petrolífero {COL} construcción |  | 2,48E-10       | unidad         |
| Transporte de mercancías en camión {COL}   todos los tamaños, genérico a EURO3, mercado    |  | 2,00E-02       | tkm            |
| Agua de grifo {RoW}, en mercado  |  | 6,89E-04       | kg             |
| Electricidad, bajo voltaje {COL}, en mercado   |  | 6,70E-03       | kWh            |
| Salidas  |  |                |                |
|  |  | <i>al aire</i> |                |
| Agua/m <sup>3</sup>  |  | 1,03E-03       | m <sup>3</sup> |
|  |  | <i>al agua</i> |                |
| Agua, CO   |  | 5,86E-03       | m <sup>3</sup> |

La proporción en kg de los dos tipos de combustible en el inventario es calculada considerando densidades para el diésel fósil de 0,856 kg/l y para el biodiésel de palma de 0,875 kg/l [530], ya que la mezcla B10 se realiza volumétricamente.

Para la producción de biodiésel de palma en la refinería ubicada en Barrancabermeja, se consideran distancias medias para el transporte del fruto de palma desde las plantaciones a la planta extractora de 200 km y para el transporte del aceite crudo de palma desde estas plantas extractoras a la refinería de 50 km [609]. Se considera el transporte de diésel B10 por poliducto con una distancia aproximada de 500 km al almacenamiento regional y de 20 km en camión cisterna a la estación de servicio en Pereira [610].

#### 4.1.1.2.4. Inventario proceso de construcción de Carreteras

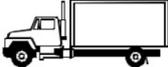
Para el cálculo de los impactos asociados a la construcción y reconstrucción de la carretera Pereira- Quibdó que deben ser asignados, de manera proporcional, al servicio de transporte específico evaluado, se tiene acceso al presupuesto oficial de la licitación pública LP-SGT-SRN-052-2011 para la intervención de 87,5 km del trayecto, en donde se detalla el inventario de materiales y operaciones para el proyecto y que puede ser extrapolado a todo el recorrido. Sin embargo, al no contar con estadísticas específicas sobre la cantidad de vkm y de tkm movilizadas por esta ruta en los diferentes tipos de vehículos que la circulan, no es posible realizar la asignación de estos impactos ambientales de manera específica al servicio de transporte evaluado. Por esto, se debe realizar la asignación en relación al impacto de todas las carreteras en el país y el total de vkm y tkm movilizadas por el parque automotor.

De acuerdo con los datos disponibles, en 2013 se movilizaron a nivel nacional 220 millones de toneladas de mercancías por carretera [607] y se estima que 100 268 millones de tkm de mercancías son movilizadas al año por las carreteras colombianas [611]. Según cifras del Ministerio de Transporte de Colombia, el parque automotor recorrió un total de 21 682 millones de km en 2013 por las carreteras nacionales [607].

Para realizar la asignación con relación a los Gtkm movilizadas en el servicio, es necesario calcular el total de Gtkm movilizadas por todo el parque vehicular en Colombia. Sin embargo, la información referente a los factores de carga o las toneladas y pasajeros movilizadas por tipo vehículo en Colombia no es encontrada.

Por anterior, se realizan los cálculos utilizando las cifras nacionales de vkm y tkm transportadas en 2013, la distribución porcentual del tráfico promedio por tipo de camión para las carreteras colombianas, Tabla IV.15, y las toneladas y pasajeros promedio movilizadas por tipo de vehículo en Europa de la tabla 5-118 del *Transport services. Ecoinvent report No. 14* [529], los cuales están basados en las cifras de *Tremove* [523].

**Tabla IV.15. Tráfico promedio por tipo de camión en Colombia [612,613]**

| Tipo de camión | PBV máximo (t) | Configuración  | Tráfico promedio (%) |
|----------------|----------------|--|----------------------|
| C2             | 16             |   | 41,40                |
| C3             | 28             |   | 11,86                |
| C2-S2          | 32             |  | 3,62                 |
| C3-S2          | 48             |  | 12,39                |
| C3-S3          | 52             |  | 30,73                |

De acuerdo con los cálculos preliminares, para que los camiones en Colombia transportaran la cifra de 100 268 millones de toneladas en 2013 debieron haber recorrido un total de 15 172 millones de vkm ese año, por lo cual, los vehículos de transporte de pasajeros solo recorrerían 6510 millones de vkm. Sin embargo, estas cifras no concuerdan con los resultados de la mayoría de países, en donde normalmente los vehículos de transporte de pasajeros recorren más vkm que los vehículos de transporte de mercancías [529,614]. Además, con estos valores se obtendría que el 95% de total de Gtkm en Colombia corresponde al transporte de mercancías, atribuyéndose de esta manera solo el 5% de los impactos de las carreteras al transporte de pasajeros. Mientras que, a nivel mundial, la responsabilidad se reparte más equitativamente entre los dos tipos de transporte [529,614].

La inconsistencia de los datos obtenidos es originada por la cifra de vkm recorridos a nivel nacional, la cual es muy baja comparada con las presentadas por otros países con condiciones socioeconómicas similares, incluso en países más pequeños como Ecuador se reportaba un total de 25 538 millones de vkm en 2007 [614], contando con un tercio de la población y un parque de 920 000 vehículos, frente a un parque de 9 796 000 vehículos en Colombia [615].

Por lo anterior, se hace necesaria una estimación del total vkm del país con base en la cantidad de vehículos en circulación por tipo y sus km promedio recorridos al año, lo cual podría realizarse con cifras más actualizadas. El total de tkm para el año 2016 se estima con base en un crecimiento de las toneladas transportadas anuales con relación al crecimiento del PIB y considerando un recorrido promedio de 455 km/viaje de los vehículos de transporte de mercancías [611], movilizándolo un total aproximado de 110 000 millones de tkm. En cuanto al total de vkm recorridos por todo el parque vehicular de Colombia en el 2016, el cual ascendía a casi 13 millones de vehículos [607], se estima que se recorren al año un total aproximado de 160 000 millones de vkm, considerando el kilometraje anual por tipo de vehículo [616].

De acuerdo con las anteriores estimaciones se obtiene que se movilizaron un total aproximado de 625 227 Gtkm por las carreteras colombianas en el 2016, en donde el 48% corresponde al transporte de mercancías, Tabla IV.16.

**Tabla IV.16. Estimación del total de Gtkm y vkm anual en Colombia por vehículos de transporte de mercancías y de pasajeros (estimación para el 2016)**

|  | Unidades                  | Vehículos transporte de mercancías |               |          | Subtotal vehículos mercancías | Subtotal vehículos pasajeros | TOTAL          |
|--|---------------------------|------------------------------------|---------------|----------|-------------------------------|------------------------------|----------------|
|  |                           | PBV≤16                             | 16< PBV ≤32 t | PBV>32 t |                               |                              |                |
| Vehículo-kilómetro recorridos          | 10 <sup>6</sup> vkm       | 6 891                              | 2 577         | 7 177    | 16 645                        | 143 355                      | 160 000        |
| Carga-kilómetro transportadas          | 10 <sup>6</sup> tkm (pkm) | 11 327                             | 14 841        | 83 831   | 110 000                       | 399 746                      | 509 746        |
| Peso neto promedio del vehículo        | t                         | 5,23                               | 10,0          | 18,0     | -                             | 2,07                         | -              |
| Carga promedio                         | t (p)                     | 1,64                               | 5,76          | 11,7     | -                             | 2,79                         | -              |
| Peso bruto promedio del vehículo       | t                         | 6,88                               | 15,76         | 29,68    | -                             | 2,26                         | -              |
| Ratio Peso bruto/carga promedio        | %                         | 4,18                               | 2,74          | 2,54     | -                             | 0,81                         | -              |
| Toneladas brutas-kilómetro movilizadas | 10 <sup>6</sup> Gtkm      | 47 382                             | 40 608        | 213 023  | 301 013                       | 324 214                      | <b>625 227</b> |

Si bien la asignación de impactos por Gtkm es la más representativa, existe una alta incertidumbre dado que los factores promedio de carga europeos que se utilizaron pueden ser muy diferentes a los de Colombia. A todo esto, aunque se consiguiera realizar un cálculo preciso con datos reales de Colombia, existe también una alta incertidumbre en el cálculo de los impactos potenciales de la construcción y reconstrucción de carreteras anualmente en Colombia, dada la poca información disponible sobre la cantidad de km de carreteras pavimentadas y sin pavimentar y la frecuencia de repavimentación de estas en Colombia.

Para el 2016, Colombia contaba con 206 500 km de carreteras, de las cuales, 1505 km eran autovías, 17 574 km carreteras primarias, 45 137 carreteras secundarias y 142 284 carreteras terciarias [607], Tabla IV.17. Sin embargo, solo el 15% de estas carreteras estaban pavimentadas, en comparación con el promedio de los países de la OCDE con un 75% [617].

De la red de carreteras primarias a cargo del Instituto Nacional de vías en Colombia (Invias), que correspondía a 8924 km, el 70,7% estaba pavimentada, aunque de estas, solo el 56% estaba en buen estado. Por otro lado, el 26,9% de estas carreteras primarias a cargo de Invias eran afirmadas, es decir, con superficie de material granular compactado, de las cuales, solo el 9% estaba en buen estado [607].

No es reportada información oficial del estado de las vías terciarias en Colombia, que representan el 69% del total de carreteras y se estima que solo el 6% de estas estaba pavimentada, el 70% afirmada y el 24% sin ninguna intervención [618].

El inventario es elaborado con base en las distribuciones de km de carretera por tipo en Colombia, siguiendo la metodología de cálculo realizado por *Ecoinvent* para el caso suizo y manteniendo las proporciones de túneles y puentes por km usados para dicho análisis [529]. Los resultados del inventario del ciclo de vida para la construcción de carreteras ajustado a la red vial y flujos energéticos y de materiales colombianos son presentados en la Tabla IV.18.

**Tabla IV.17. Distribución de la red vial en Colombia por tipo de carretera [607]**

| Tipo de carretera | Colombia |            |
|-------------------|----------|------------|
|                   | Km       | Proporción |
| Autovía           | 1505     | 0,73%      |
| Primaria          | 17 574   | 8,51%      |
| Secundaria        | 45 137   | 21,86%     |
| Terciaria         | 142 284  | 68,90%     |
| TOTAL             | 206 500  | 100,00%    |

**Tabla IV.18. Inventario de ciclo de vida para la construcción y reconstrucción de carreteras por metro-año, incluyendo túneles y puentes caso Colombia**

| Entradas   | Cantidad | Unidad           |
|--|----------|------------------|
| Hormigón, para construcción de carreteras {COL}, en mercado              | 1,67E-03 | m <sup>3</sup>   |
| Compuesto adhesivo de betún, caliente {COL}, en mercado                  | 2,68E+00 | kg               |
| Grava, triturada {COL}, en mercado                                       | 8,77E+01 | kg               |
| Electricidad, medio voltaje {COL}, en mercado                            | 2,90E-01 | kWh              |
| Diésel, utilizado en maquinaria {COL}, en mercado                        | 2,96E+01 | MJ               |
| Excavación, mini cargadora {COL}, proceso                                | 1,33E-01 | m <sup>3</sup>   |
| Acero, de baja aleación, laminado en caliente {COL}, en mercado          | 4,43E-02 | kg               |
| Acero reforzado {COL}, en mercado  | 2,47E-01 | kg               |
| Transporte de mercancías, camión 16-32 toneladas, genérico a EURO3 {COL} | 3,06E+00 | tkm              |
| Salidas  |          |                  |
| <i>Uso de suelos</i>   |          |                  |
| Ocupación, área de tráfico, terraplén de la carretera                    | 1,22E+00 | m <sup>2</sup> a |
| Ocupación, área de tráfico, red de carreteras                            | 6,15E+00 | m <sup>2</sup> a |
| Transformación, de desconocido   | 1,04E-02 | m <sup>2</sup>   |
| Transformación, al área de tráfico, red de carreteras                    | 7,30E-03 | m <sup>2</sup>   |
| Transformación, al área de tráfico, terraplén de la carretera            | 3,01E-03 | m <sup>2</sup>   |
| <i>Emisiones al aire</i>   |          |                  |
| COVDM  | 3,23E-02 | kg               |
| MP, > 10um   | 1,05E-03 | kg               |
| MP, >2,5 um, y < 10um  | 2,69E-04 | kg               |
| Calor residual   | 1,04E+00 | MJ               |
| <i>Desechos</i>  |          |                  |
| Residuos inertes, para disposición final {COL}, en el mercado            | 7,15E+00 | kg               |

En definitiva, el factor de asignación de impactos del ciclo de vida de la construcción y reconstrucción de carreteras a cada Gtkm transportado en Colombia, representado a partir del inventario del ciclo de vida en la Tabla IV.18, es igual a 3,30E-04 (206 500 E+03 / 625 227 E+06 Gtkm). De esta manera, dado que el servicio evaluado moviliza 4168 Gtkm, el factor de asignación al ciclo de vida del servicio es igual a 1,3766. Por otra parte, el factor de asignación de impactos de la operación y mantenimiento de carreteras de la Tabla IV.13, asignado por vkm al servicio evaluado, es igual a 0,3362.

#### 4.1.1.2.5. Inventario proceso de Fin de Vida

Las actividades incluidas en la etapa de Fin de Vida del sistema del transporte son las relacionadas con el desmantelamiento del vehículo y de las carreteras, utilizando la información para los correspondientes inventarios para estas actividades las mismas fuentes para cada proceso.

Para el inventario de ciclo de vida para las actividades de desmantelamiento del camión, se asume el completo reciclado del acero, aluminio y cobre. De esta manera, para el transporte del camión a la planta de desmantelamiento ubicada en Dosquebradas, a 5 km de la empresa de transporte), solo es considerado el transporte de 360 kg, correspondientes a fracción del camión que no sería reciclado.

En el inventario para el desmantelamiento del camión de *Ecoinvent*, se asume un 50% de reciclado/revaloración de los neumáticos usados durante la vida útil del vehículo, por lo que incluye el transporte de estos neumáticos hacia las plantas en donde son incineradas con en Suiza [529]. Sin embargo, dado que en este caso a estudio los neumáticos usados no son

desechados adecuadamente, no es posible determinar su trazabilidad y su uso final, por lo que es excluido este transporte de neumáticos. Para el resto de materiales no reciclables ni reutilizables se considera su completa disposición final. Para cada uno de los procesos de disposición final y/o tratamiento de residuos se considera una distancia media de 20 km al sitio de incineración o vertedero y de 210 km a la planta de tratamiento de aceites usados, Tabla IV.19.

**Tabla IV.19. Inventario de ciclo de vida para el desmantelamiento del camión de 16 t caso Colombia**

| <b>Entradas</b>  | <b>Cantidad</b> | <b>Unidad</b> |
|--|-----------------|---------------|
| Transporte de mercancías, camión 16-32 toneladas, genérico a EURO3 {COL} | 1,80E+00        | tkm           |
| <b>Salidas</b>   |                 |               |
| Residual emulsiones de pintura {COL}, en mercado                         | 4,00E+01        | kg            |
| Residuos de vidrio {COL}, en mercado                                     | 4,50E+01        | kg            |
| Residuos de aceite mineral {COL}, en mercado                             | 2,52E+01        | kg            |
| Residuos de plástico, mezcla {COL}, en mercado                           | 2,30E+02        | kg            |
| Residuos de Zinc de la trituración de automóviles {COL}, en mercado      | 2,00E+01        | kg            |

Para el desmantelamiento de carreteras y su disposición final de materiales, se asume un completo reciclado/reutilización de todos los materiales. Por consiguiente, solo son consideradas las actividades de excavación y el transporte del 80% de los residuos a los sitios de utilización o plantas de reciclaje con distancias superiores a 20 km [529], Tabla IV.20.

**Tabla IV.20. Inventario de ciclo de vida para el desmantelamiento de carreteras por metro·año caso Colombia**

| <b>Entradas</b>  | <b>Cantidad</b> | <b>Unidad</b>  |
|--|-----------------|----------------|
| Excavación, mini cargadora {COL}, proceso                                | 3,68E-02        | m <sup>3</sup> |
| Transporte de mercancías, camión 16-32 toneladas, genérico a EURO3 {COL} | 2,31E-01        | tkm            |

#### 4.1.1.3. Evaluación de impactos

Con el fin de llevar a cabo los seis pasos definidos para esta fase de evaluación de impactos (clasificación, caracterización, normalización *midpoints*, agregación, normalización *endpoints* y ponderación) se utilizan los métodos ReCiPe 2008 y 2016 para este ACV.

Cabe resaltar que el método ReCiPe 2008 es utilizado en este trabajo ya que para el método ReCiPe 2016 no habían sido publicados factores de normalización. No obstante, los resultados el método ReCiPe 2008 se presentan para profundizar en el análisis de los métodos de evaluación, ya que se utilizan factores de caracterización discutibles hoy en día y que afectan de manera puntual el ACV realizado. Los pasos de esta fase de evaluación de impactos son modelados mediante la herramienta *SimaPro 8.5.0* y la base de datos *Ecoinvent v3.4*.

##### 4.1.1.3.1. Clasificación

Para este ACV se incluyen las 18 categorías utilizadas por cada método, presentadas en la Tabla III.16.

##### 4.1.1.3.2. Caracterización

Para realizar la caracterización de resultados por cada método se utiliza la perspectiva global y Jerárquica (100 años). De esta manera, los resultados para el transporte de 10 t de mercancía

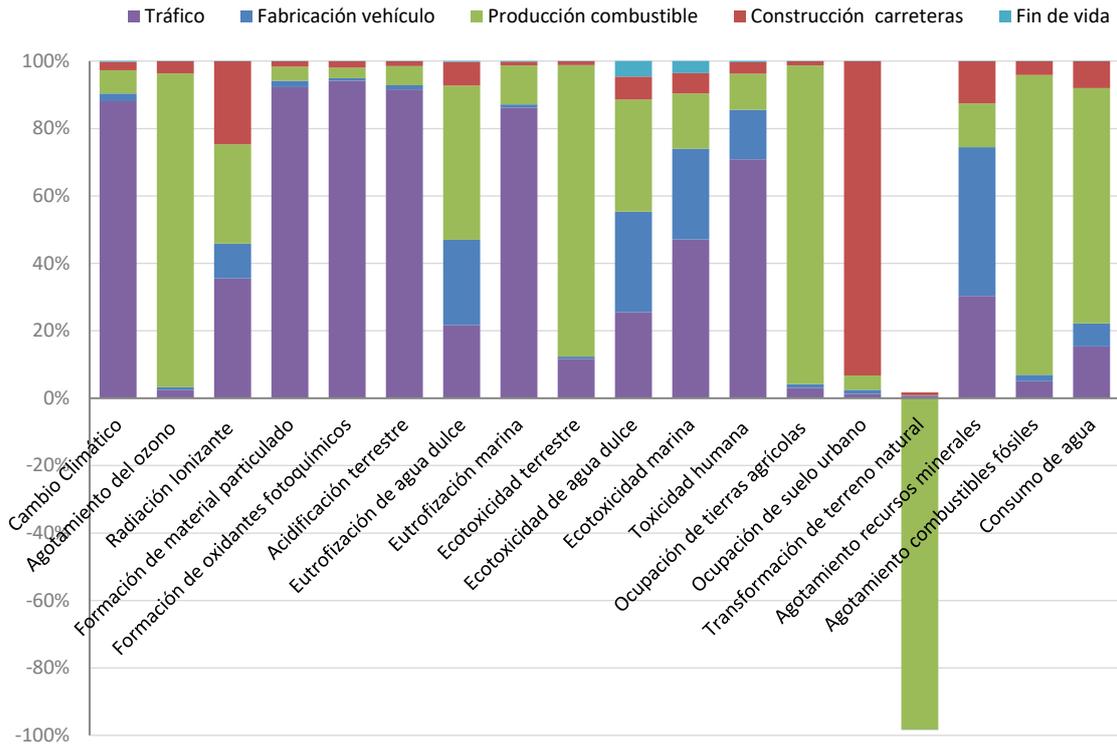
de Pereira a Quibdó (260,5 km) en camión rígido PBV 16 t convencional, en sus unidades originales mediante el método ReCiPe 2008 se presentan en la Tabla IV.21 y mediante el método ReCiPe 2016 se presentan en la Tabla IV.22, mientras que la contribución porcentual de cada uno de los procesos del sistema para cada método se presentan en las Figuras IV.4 y IV.5.

**Tabla IV.21. Resultados de caracterización método ReCiPe 2008 *midpoints* caso Colombia**

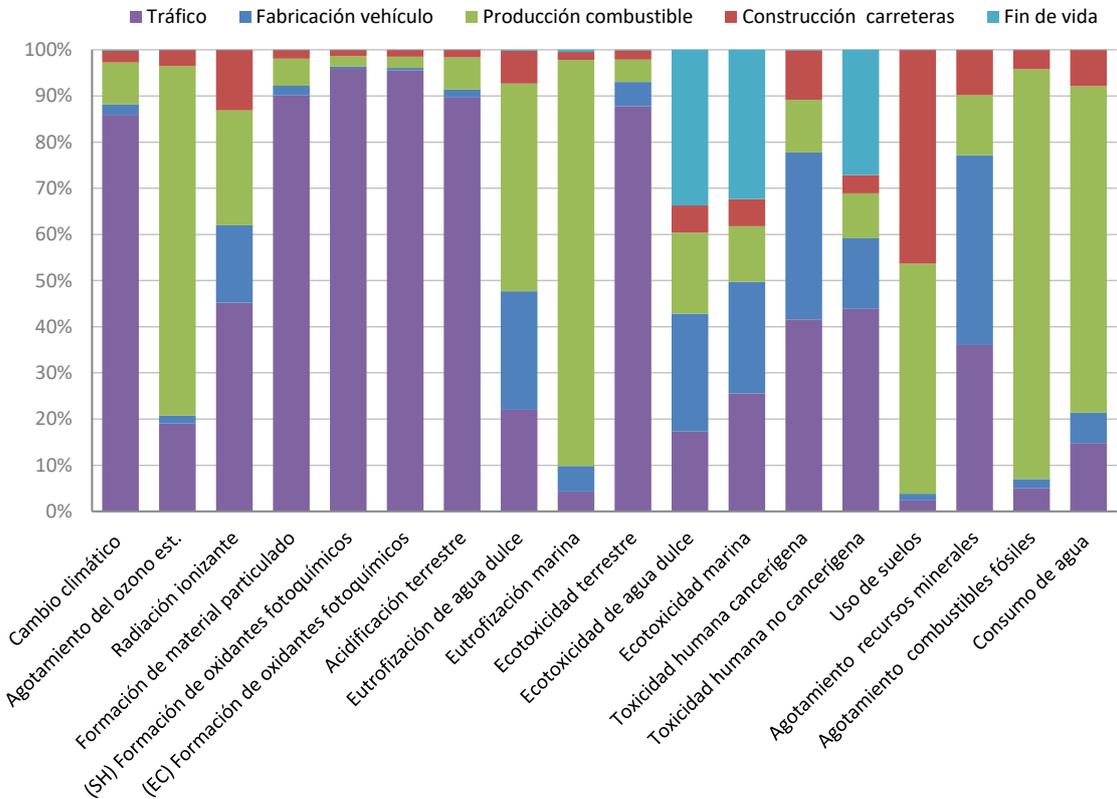
| Categoría de impacto                | Unidad                 | Total sistema    | Tráfico  | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|-------------------------------------|------------------------|------------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Cambio Climático                    | kg CO <sub>2</sub> eq  | <b>4,35E+02</b>  | 3,83E+02 | 9,75E+00             | 3,01E+01               | 1,10E+01                | 9,03E-01    |
| Agotamiento del ozono               | kg CFC-11 eq           | <b>8,99E-05</b>  | 2,20E-06 | 7,01E-07             | 8,37E-05               | 3,27E-06                | 1,81E-08    |
| Radiación Ionizante                 | kBq U235 eq            | <b>3,72E+00</b>  | 1,32E+00 | 3,83E-01             | 1,10E+00               | 9,17E-01                | 1,53E-03    |
| Formación de material particulado   | kg MP <sub>10</sub> eq | <b>1,71E+00</b>  | 1,58E+00 | 3,14E-02             | 7,20E-02               | 2,78E-02                | 3,01E-04    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos | kg COVDM               | <b>6,79E+00</b>  | 6,40E+00 | 4,73E-02             | 2,15E-01               | 1,30E-01                | 9,73E-04    |
| Acidificación terrestre             | kg SO <sub>2</sub> eq  | <b>3,83E+00</b>  | 3,50E+00 | 4,87E-02             | 2,19E-01               | 5,43E-02                | 5,68E-04    |
| Eutrofización de agua dulce         | kg P eq                | <b>2,71E-02</b>  | 5,88E-03 | 6,85E-03             | 1,24E-02               | 1,91E-03                | 5,78E-05    |
| Eutrofización marina                | kg N eq                | <b>2,69E-01</b>  | 2,32E-01 | 2,50E-03             | 3,11E-02               | 3,06E-03                | 3,45E-04    |
| Ecotoxicidad terrestre              | kg 1,4-DB eq           | <b>3,72E-01</b>  | 4,36E-02 | 2,32E-03             | 3,22E-01               | 4,29E-03                | 1,07E-04    |
| Ecotoxicidad de agua dulce          | kg 1,4-DB eq           | <b>1,08E+00</b>  | 2,76E-01 | 3,22E-01             | 3,60E-01               | 7,31E-02                | 5,01E-02    |
| Ecotoxicidad marina                 | kg 1,4-DB eq           | <b>1,15E+00</b>  | 5,42E-01 | 3,09E-01             | 1,89E-01               | 6,99E-02                | 4,06E-02    |
| Toxicidad humana                    | kg 1,4-DB eq           | <b>7,65E+01</b>  | 5,42E+01 | 1,12E+01             | 8,20E+00               | 2,58E+00                | 2,74E-01    |
| Ocupación de tierras agrícolas      | m <sup>2</sup> a       | <b>2,77E+01</b>  | 8,58E-01 | 3,14E-01             | 2,62E+01               | 3,48E-01                | 5,42E-03    |
| Ocupación de suelo urbano           | m <sup>2</sup> a       | <b>1,11E+01</b>  | 1,39E-01 | 1,34E-01             | 4,79E-01               | 1,03E+01                | 4,37E-03    |
| Transformación de terreno natural   | m <sup>2</sup>         | <b>-6,35E-01</b> | 4,62E-03 | 1,33E-03             | -6,46E-01              | 5,24E-03                | -1,15E-04   |
| Agotamiento de recursos minerales   | kg Fe eq               | <b>1,12E+01</b>  | 3,39E+00 | 4,94E+00             | 1,45E+00               | 1,40E+00                | 4,71E-03    |
| Agotamiento de combustibles fósiles | kg petróleo eq         | <b>1,48E+02</b>  | 7,44E+00 | 2,85E+00             | 1,31E+02               | 6,14E+00                | 3,09E-02    |
| Consumo de agua                     | m <sup>3</sup>         | <b>1,11E+00</b>  | 1,70E-01 | 7,58E-02             | 7,72E-01               | 8,76E-02                | 5,57E-04    |

**Tabla IV.22. Resultados de caracterización método ReCiPe 2016 *midpoints* caso Colombia**

| Categoría de impacto                              | Unidad                      | Total sistema   | Tráfico  | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|---|-----------------------------|-----------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Cambio climático                                  | kg CO <sub>2</sub> eq       | <b>4,47E+02</b> | 3,84E+02 | 1,01E+01             | 4,08E+01               | 1,12E+01                | 9,07E-01    |
| Agotamiento del ozono estratosférico              | kg CFC11 eq                 | <b>1,86E-04</b> | 3,55E-05 | 3,23E-06             | 1,41E-04               | 6,48E-06                | 6,24E-08    |
| Radiación ionizante                               | kBq Co-60 eq                | <b>1,57E+00</b> | 7,08E-01 | 2,63E-01             | 3,91E-01               | 2,04E-01                | 7,68E-04    |
| Formación de material particulado                 | kg MP <sub>2,5</sub> eq     | <b>1,02E+00</b> | 9,19E-01 | 2,11E-02             | 6,01E-02               | 1,90E-02                | 8,61E-04    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos: salud humana | kg NOx eq                   | <b>5,57E+00</b> | 5,34E+00 | 2,66E-02             | 1,28E-01               | 7,53E-02                | 1,91E-04    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos: ecosistemas  | kg NOx eq                   | <b>5,64E+00</b> | 5,39E+00 | 2,83E-02             | 1,39E-01               | 8,22E-02                | 8,74E-04    |
| Acidificación terrestre                           | kg SO <sub>2</sub> eq       | <b>2,59E+00</b> | 2,32E+00 | 4,36E-02             | 1,82E-01               | 4,11E-02                | 3,95E-04    |
| Eutrofización de agua dulce                       | kg P eq                     | <b>2,67E-02</b> | 5,87E-03 | 6,85E-03             | 1,20E-02               | 1,90E-03                | 5,77E-05    |
| Eutrofización marina                              | kg N eq                     | <b>7,55E-03</b> | 3,23E-04 | 4,17E-04             | 6,64E-03               | 1,33E-04                | 3,25E-05    |
| Ecotoxicidad terrestre                            | kg 1,4-DCB                  | <b>1,46E+03</b> | 1,28E+03 | 7,69E+01             | 6,98E+01               | 2,99E+01                | 1,51E+00    |
| Ecotoxicidad de agua dulce                        | kg 1,4-DCB                  | <b>3,86E+00</b> | 6,68E-01 | 9,84E-01             | 6,78E-01               | 2,29E-01                | 1,30E+00    |
| Ecotoxicidad marina                               | kg 1,4-DCB                  | <b>5,69E+00</b> | 1,45E+00 | 1,38E+00             | 6,85E-01               | 3,33E-01                | 1,84E+00    |
| Toxicidad humana cancerígena                      | kg 1,4-DCB                  | <b>7,75E+00</b> | 3,22E+00 | 2,80E+00             | 8,83E-01               | 8,31E-01                | 9,66E-03    |
| Toxicidad humana no cancerígena                   | kg 1,4-DCB                  | <b>1,86E+02</b> | 8,18E+01 | 2,85E+01             | 1,83E+01               | 7,31E+00                | 5,06E+01    |
| Uso de suelos                                     | m <sup>2</sup> a cultivo eq | <b>1,65E+01</b> | 3,92E-01 | 2,36E-01             | 8,23E+00               | 7,64E+00                | 4,84E-03    |
| Agotamiento de recursos minerales                 | kg Cu eq                    | <b>6,62E-01</b> | 2,39E-01 | 2,73E-01             | 8,66E-02               | 6,44E-02                | 2,59E-04    |
| Agotamiento de combustibles fósiles               | kg petróleo eq              | <b>1,43E+02</b> | 7,24E+00 | 2,77E+00             | 1,27E+02               | 5,92E+00                | 2,99E-02    |
| Consumo de agua                                   | m <sup>3</sup>              | <b>1,17E+00</b> | 1,73E-01 | 7,72E-02             | 8,26E-01               | 9,16E-02                | 5,72E-04    |



**Figura IV.4. Contribución procesos en resultados de caracterización método ReCiPe 2008 midpoints caso Colombia**



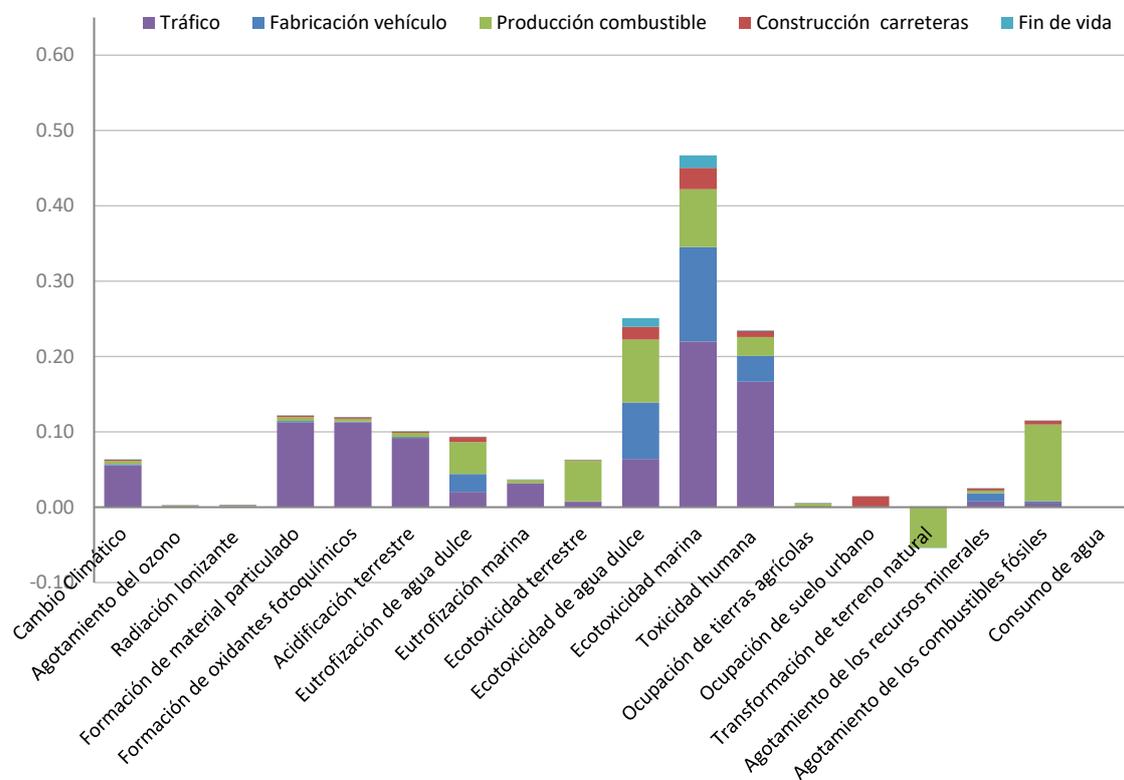
**Figura IV.5. Contribución procesos en resultados de caracterización método ReCiPe 2016 midpoints caso Colombia**

### 4.1.1.3.3. Normalización *midpoints*

Para este paso de la fase de evaluación de impactos únicamente son presentados los resultados de la caracterización normalizados mediante el método ReCiPe 2008 en la Tabla IV.23 y Figura IV.6.

**Tabla IV.23. Resultados de caracterización normalizados método ReCiPe 2008 *midpoints* caso Colombia**

| Categoría de impacto                | Total sistema | Tráfico  | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|-------------------------------------|---------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Cambio Climático                    | 6,31E-02      | 5,56E-02 | 1,41E-03             | 4,36E-03               | 1,59E-03                | 1,31E-04    |
| Agotamiento del ozono               | 2,39E-03      | 5,85E-05 | 1,86E-05             | 2,23E-03               | 8,70E-05                | 4,83E-07    |
| Radiación Ionizante                 | 2,83E-03      | 1,01E-03 | 2,91E-04             | 8,33E-04               | 6,96E-04                | 1,16E-06    |
| Formación de material particulado   | 1,22E-01      | 1,12E-01 | 2,23E-03             | 5,12E-03               | 1,97E-03                | 2,14E-05    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos | 1,20E-01      | 1,13E-01 | 8,33E-04             | 3,79E-03               | 2,29E-03                | 1,71E-05    |
| Acidificación terrestre             | 1,00E-01      | 9,18E-02 | 1,28E-03             | 5,75E-03               | 1,42E-03                | 1,49E-05    |
| Eutrofización de agua dulce         | 9,34E-02      | 2,03E-02 | 2,36E-02             | 4,27E-02               | 6,59E-03                | 1,99E-04    |
| Eutrofización marina                | 3,66E-02      | 3,16E-02 | 3,40E-04             | 4,24E-03               | 4,16E-04                | 4,70E-05    |
| Ecotoxicidad terrestre              | 6,26E-02      | 7,32E-03 | 3,90E-04             | 5,41E-02               | 7,21E-04                | 1,80E-05    |
| Ecotoxicidad de agua dulce          | 2,51E-01      | 6,40E-02 | 7,48E-02             | 8,36E-02               | 1,70E-02                | 1,16E-02    |
| Ecotoxicidad marina                 | 4,67E-01      | 2,20E-01 | 1,26E-01             | 7,65E-02               | 2,84E-02                | 1,65E-02    |
| Toxicidad humana                    | 2,35E-01      | 1,66E-01 | 3,45E-02             | 2,52E-02               | 7,91E-03                | 8,42E-04    |
| Ocupación de tierras agrícolas      | 5,10E-03      | 1,58E-04 | 5,78E-05             | 4,82E-03               | 6,40E-05                | 9,98E-07    |
| Ocupación de suelo urbano           | 1,43E-02      | 1,79E-04 | 1,73E-04             | 6,17E-04               | 1,33E-02                | 5,64E-06    |
| Transformación de terreno natural   | -5,27E-02     | 3,84E-04 | 1,11E-04             | -5,37E-02              | 4,36E-04                | -9,56E-06   |
| Agotamiento de recursos minerales   | 2,52E-02      | 7,63E-03 | 1,11E-02             | 3,27E-03               | 3,14E-03                | 1,06E-05    |
| Agotamiento de combustibles fósiles | 1,15E-01      | 5,77E-03 | 2,21E-03             | 1,02E-01               | 4,76E-03                | 2,40E-05    |
| Consumo de agua                     | 0,00E+00      | 0,00E+00 | 0,00E+00             | 0,00E+00               | 0,00E+00                | 0,00E+00    |



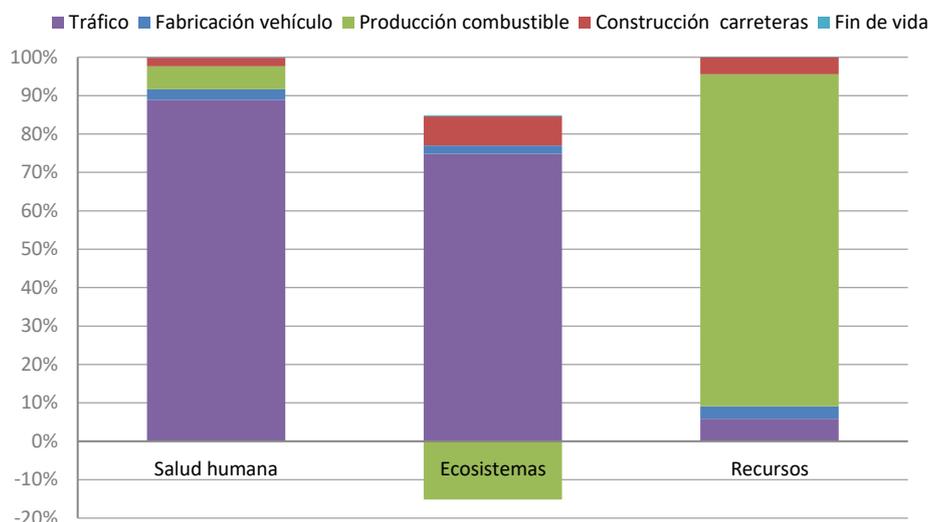
**Figura IV.6. Resultados de caracterización normalizados método ReCiPe 2008 *midpoints* caso Colombia**

#### 4.1.1.3.4. Agregación

En este paso se convierten los resultados de la caracterización de cada categoría de impacto a unidades comunes para las tres categorías de daño final, mediante factores de conversión *midpoints to endpoints* disponibles para los métodos ReCiPe 2008 y 2016. Los resultados agregados con la perspectiva global y Jerárquica por el método ReCiPe 2008 se presentan en la Tabla IV.24 y la Figura IV.7, y por el método ReCiPe 2016 en la Tabla IV.25 y Figura IV.8. Las consideraciones para descartar los resultados del método ReCiPe 2008 son explicadas en la siguiente fase de Interpretación de resultados de este ACV.

**Tabla IV.24. Resultados agregados método ReCiPe 2008 endpoints caso Colombia**

| Categorías de daño | Unidad        | Total sistema   | Tráfico  | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|--------------------|---------------|-----------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Salud humana       | DALYs         | <b>1,11E-03</b> | 9,85E-04 | 2,97E-05             | 6,68E-05               | 2,44E-05                | 1,53E-06    |
| Ecosistemas        | especies-año  | <b>2,87E-06</b> | 3,09E-06 | 8,76E-08             | -6,27E-07              | 3,15E-07                | 7,17E-09    |
| Recursos           | dólares(2013) | <b>2,52E+01</b> | 1,47E+00 | 8,24E-01             | 2,18E+01               | 1,11E+00                | 5,45E-03    |



**Figura IV.7. Contribución procesos en resultados agregados método ReCiPe 2008 endpoints caso Colombia**

**Tabla IV.25. Resultados agregados método ReCiPe 2016 endpoints caso Colombia**

| Categorías de daño | Unidad         | Total sistema   | Tráfico  | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|--------------------|----------------|-----------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Salud humana       | DALYs          | <b>1,19E-03</b> | 1,03E-03 | 3,86E-05             | 8,48E-05               | 2,71E-05                | 1,25E-05    |
| Ecosistemas        | Especies-año   | <b>2,73E-06</b> | 2,29E-06 | 5,08E-08             | 2,64E-07               | 1,22E-07                | 3,94E-09    |
| Recursos           | Dólares (2013) | <b>6,30E+01</b> | 2,65E+00 | 7,67E-01             | 5,70E+01               | 2,57E+00                | 1,27E-02    |

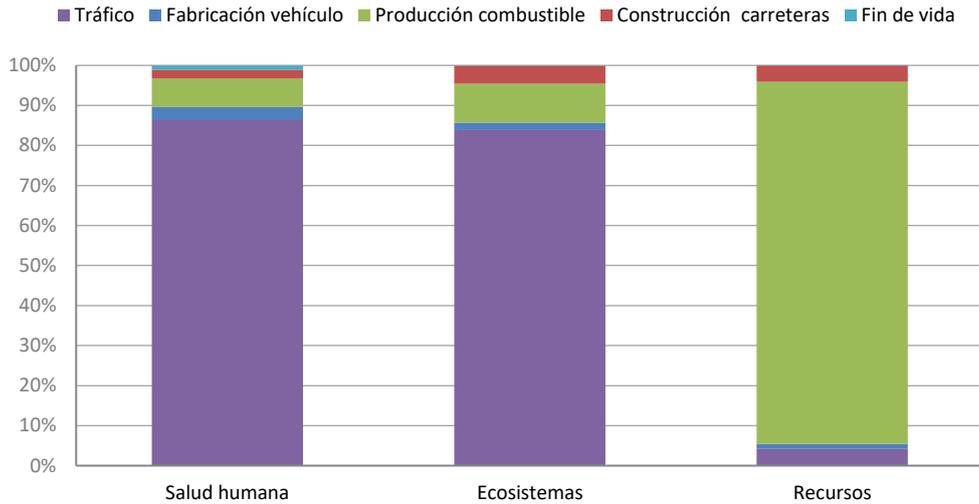


Figura IV.8. Contribución procesos en resultados agregados método ReCiPe 2016 *endpoints* caso Colombia

#### 4.1.1.3.5. Normalización *endpoints*

Para este paso de la fase de evaluación de impactos únicamente son presentados los resultados de la agregación de impactos normalizados mediante el método ReCiPe 2008 en la Tabla IV.26 y Figura IV.9.

Tabla IV.26. Normalización resultados agregados método ReCiPe 2008 *endpoints* caso Colombia

| Categorías de daño | Total sistema   | Tráfico  | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|--------------------|-----------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Salud humana       | <b>8,12E-02</b> | 7,22E-02 | 2,18E-03             | 4,90E-03               | 1,79E-03                | 1,12E-04    |
| Ecosistemas        | <b>3,13E-03</b> | 3,37E-03 | 9,55E-05             | -6,84E-04              | 3,43E-04                | 7,81E-06    |
| Recursos           | <b>1,03E-01</b> | 6,01E-03 | 3,36E-03             | 8,91E-02               | 4,55E-03                | 2,22E-05    |

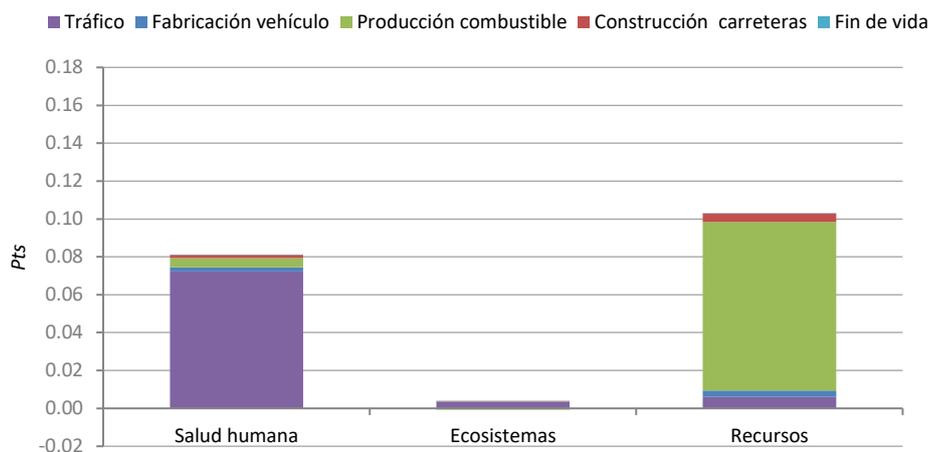


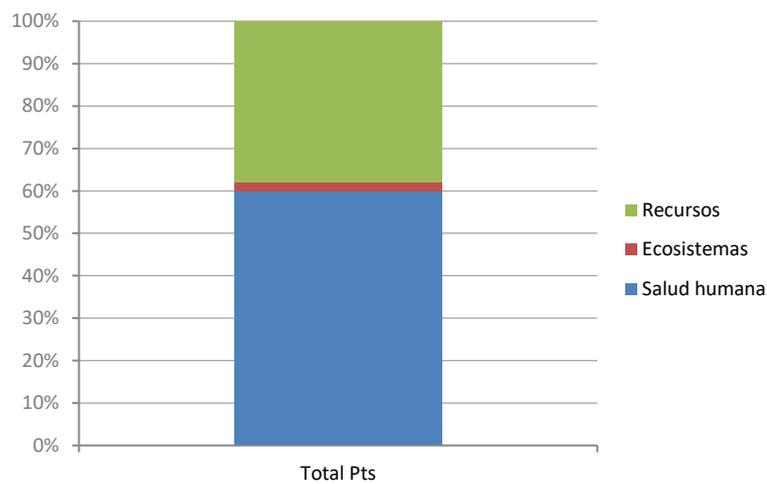
Figura IV.9. Normalización resultados agregados método ReCiPe 2008 *endpoints* caso Colombia

#### 4.1.1.3.6. Ponderación

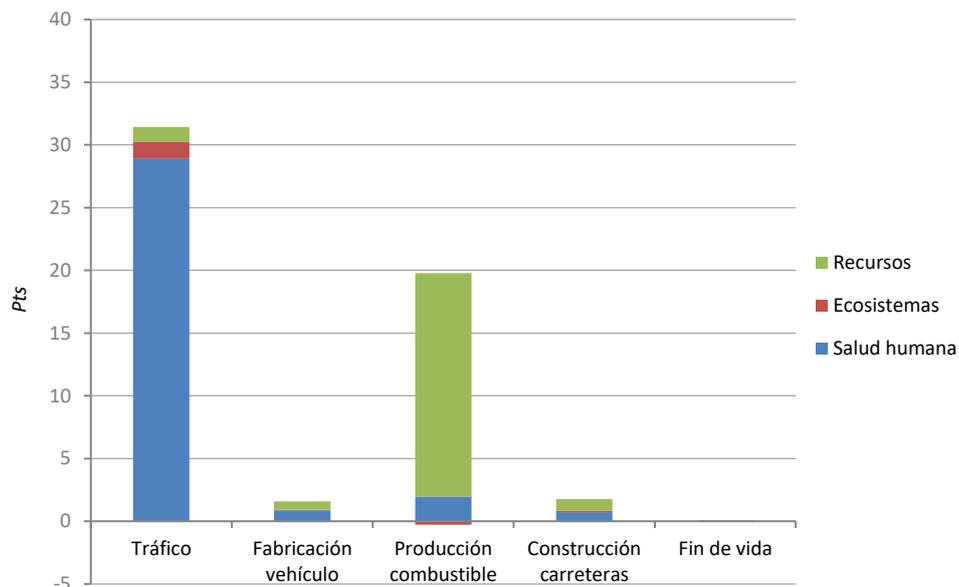
Para este ACV, dado que la ponderación de *endpoints* se obtiene a partir de los resultados normalizados, únicamente se realiza para los resultados del método ReCiPe 2008. Los resultados calculados mediante los factores de ponderación para la perspectiva promedio se presentan en la Tabla IV.27 y en las Figuras IV.10, IV.11 y IV.12.

**Tabla IV.27. Resultados de la ponderación método ReCiPe 2008 *endpoints* caso Colombia**

| Categorías de daño | Unidad | Total sistema | Tráfico | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|--------------------|--------|---------------|---------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Salud humana       | Pt     | <b>32,48</b>  | 28,89   | 0,87                 | 1,96                   | 0,72                    | 0,045       |
| Ecosistemas        | Pt     | <b>1,25</b>   | 1,35    | 0,04                 | -0,27                  | 0,14                    | 0,003       |
| Recursos           | Pt     | <b>20,60</b>  | 1,20    | 0,67                 | 17,81                  | 0,91                    | 0,004       |
| <b>TOTAL</b>       | Pt     | <b>54,33</b>  | 31,44   | 1,58                 | 19,50                  | 1,76                    | 0,053       |



**Figura IV.10. Resultados de la ponderación método ReCiPe 2008 *endpoints* caso Colombia**



**Figura IV.11. Contribución por proceso a los daños finales método ReCiPe 2008 *endpoints* caso Colombia**

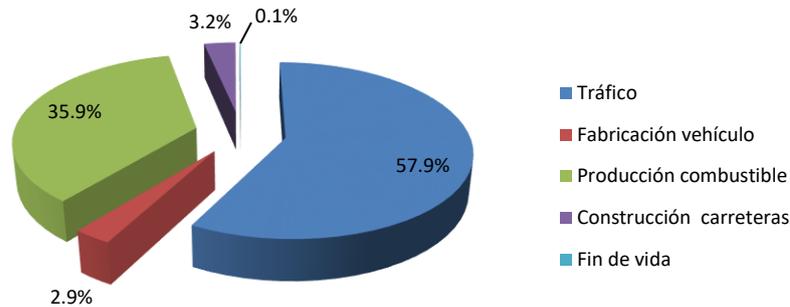


Figura IV.12. Contribución por proceso al impacto medioambiental total del sistema caso Colombia

#### 4.1.1.4. Interpretación de resultados

##### Identificación de aspectos relevantes

De acuerdo con los resultados de la evaluación de inventario del ciclo de vida del servicio de transporte de mercancías, considerando los componentes principales del sistema de transporte, se obtiene un indicador de impacto medioambiental total de 54,3 Pts, es decir, 21 mPts por tkm transportada. De este impacto total, se encuentra que el 58% es generado por el proceso principal del Tráfico y el 36% por el proceso de producción de combustibles, mientras que la fabricación del vehículo y la construcción de carreteras solo contribuyen cada uno en un 3% aproximadamente, Figura IV.12.

Si bien el proceso de Tráfico es el mayor responsable del impacto medioambiental de manera general, analizando el impacto medioambiental desde diferentes puntos de vista la responsabilidad de cada proceso del sistema puede variar. Por ejemplo, si el tema medioambiental se aborda desde el punto de vista de la afectación a la disponibilidad de recursos, el 87% de la responsabilidad es del proceso de producción de combustibles, mientras que desde el punto de vista de la afectación a la salud humana, el 89% de la responsabilidad recae en el proceso de Tráfico; Tabla IV.27. Desde el punto de vista de los Ecosistemas, aunque es afectado muy levemente (2,3%), el total de esta afectación es responsabilidad del proceso de Tráfico, mientras el proceso de producción de combustibles genera un impacto positivo en estos ecosistemas.

Es por lo anterior que es importante analizar los resultados discriminados por cada categoría de impacto con el fin de identificar los procesos y subprocesos/actividades que más contribuyen a cada tipo de impacto medioambiental (categoría de daño) y así adoptar medidas focalizadas en cada problema e interés socioeconómico.

De los resultados de la caracterización para las 18 categorías de impacto, el proceso de tráfico es el de mayor contribución en 8 categorías evaluadas por el método ReCiPe 2008, Figura IV.4. Entre estas categorías de impacto, el proceso de tráfico afecta principalmente al Cambio Climático (88%), la Formación de Material Particulado (92%), la Formación de Oxidantes Fotoquímicos (94%), la Acidificación Terrestre (92%) y Eutrofización Marina (86%).

Por otro lado, el proceso de producción de combustibles es el de mayor contribución en 8 categorías evaluadas por el método ReCiPe 2008, Figura IV.4. Entre estas categorías de impacto, el proceso de producción de combustibles afecta principalmente el Agotamiento del ozono (93%), la Ocupación de tierras agrícolas (94%), el Agotamiento de combustibles fósiles (89%) y de manera positiva en la Transformación de la Tierra Natural.

El proceso de construcción de carreteras, aunque tiene una contribución pequeña frente al impacto medioambiental total del sistema, tiene una responsabilidad del 93% la categoría de Ocupación de Suelo Urbano y del 25% de la categoría de Radiación Ionizante. Asimismo, el proceso de fabricación de vehículos, contribuye en un 44% en la categoría de Agotamiento de los Recursos Minerales y en un 30% en la categoría de Ecotoxicidad del Agua Dulce, Figura IV.4.

Analizando los resultados de la caracterización normalizados para cada categoría de impacto en la Figura IV.6, se observa que el servicio de transporte de mercancías tiene una mayor afectación relativa en las categorías de Ecotoxicidad de Agua Dulce, la Ecotoxicidad Marina y la Toxicidad Humana, para las cuales el proceso de mayor contribución es el de Tráfico.

Para la mayoría de categorías de impacto en donde el proceso de Tráfico tiene una alta contribución, la mayor parte de este impacto es debido a las emisiones por la combustión del diésel, como en las categorías de Cambio Climático, Formación de Material Particulado, Formación de Oxidantes Fotoquímicos y la Acidificación Terrestre. Sin embargo, en las categorías con afectación relativa más importantes sobre el medioambiente, relacionadas con la toxicidad, la contribución del proceso de Tráfico más importante no es debida a la combustión del diésel sino a las emisiones por la abrasión de frenos y por el mantenimiento del vehículo, Figura IV.13; emisiones que no son comúnmente tenidas en cuenta en estudios medioambientales.

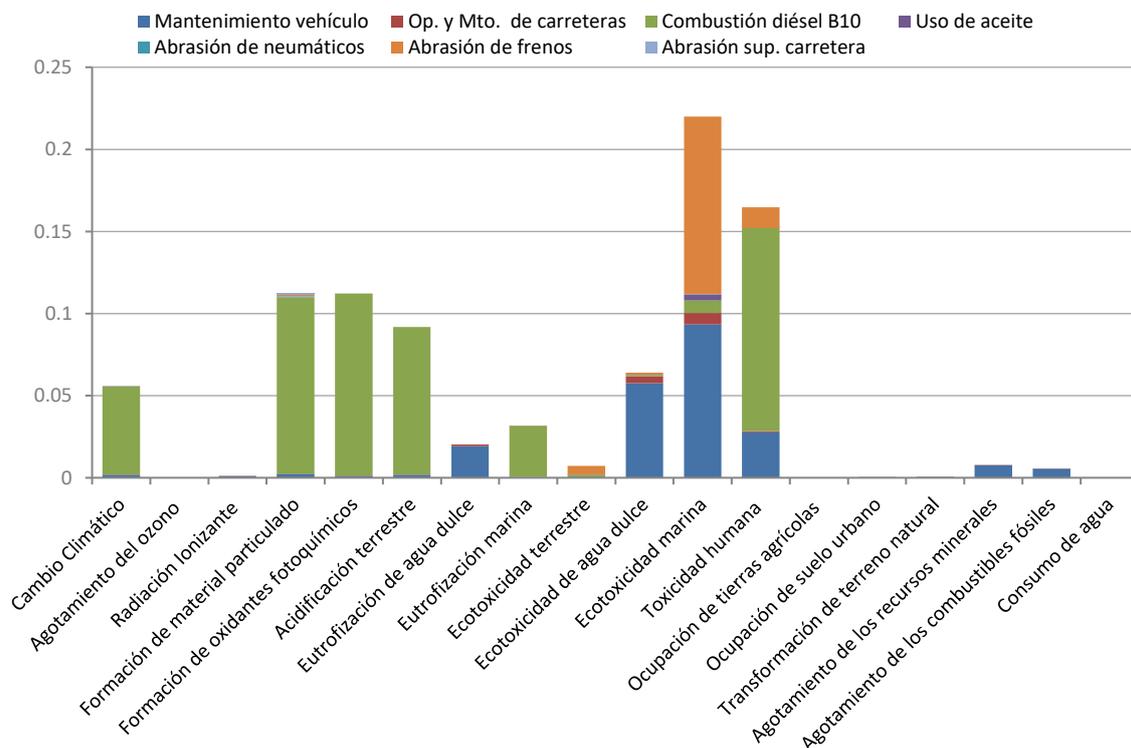


Figura IV.13. Resultados de caracterización normalizados Proceso Tráfico, ReCiPe 2008 midpoints caso Colombia

El principal residuo que afecta estas categorías de impacto relacionada con la toxicidad son las emisiones de cobre al agua, presente en los frenos y en las redes de distribución de la electricidad utilizada en los talleres para el mantenimiento del vehículo.

Verificación de los resultados

Con la finalidad de desarrollar la fase de evaluación de impacto del inventario de ciclo de vida completamente, es decir, realizando los seis pasos descritos para esta fase, fue utilizado el método ReCiPe 2008. Sin embargo, tras la obtención de los resultados de la caracterización para cada categoría de impacto, se evidenciaron algunas falencias o conceptos discutibles en los métodos de caracterización usado en ReCiPe 2008 y que fueron corregidos y/o actualizados en el método ReCiPe 2016. Por esta razón, los resultados de la caracterización que serán tomados en cuenta para este ACV son los calculados por el método ReCiPe 2016. Por otra parte, la identificación de categorías de impacto críticas a través de los resultados normalizados de la caracterización realizados por el método ReCiPe 2008 se considera fiable, ya que las falencias encontradas en este método no afectan estos resultados. Sin embargo, los resultados agregados, normalizados y ponderados si pueden ser afectados por estas falencias, por lo cual deben ser ajustados.

Una de las falencias que genera dudas en la fiabilidad de los resultados utilizando Recipe 2008, es el método de caracterización para la categoría de impacto de Transformación de Terreno Natural, en donde el proceso de la producción de combustibles contribuye positivamente debido a la actividad de producción de biodiésel de palma, Figura IV.14.

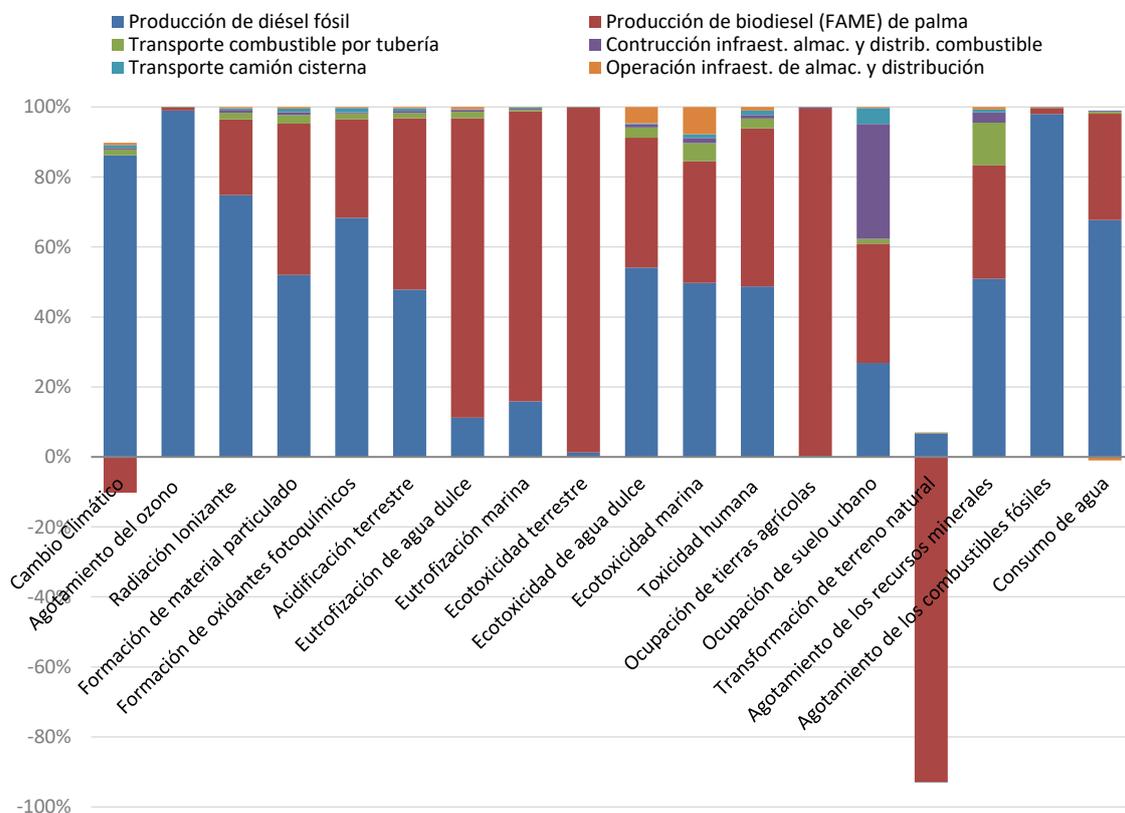
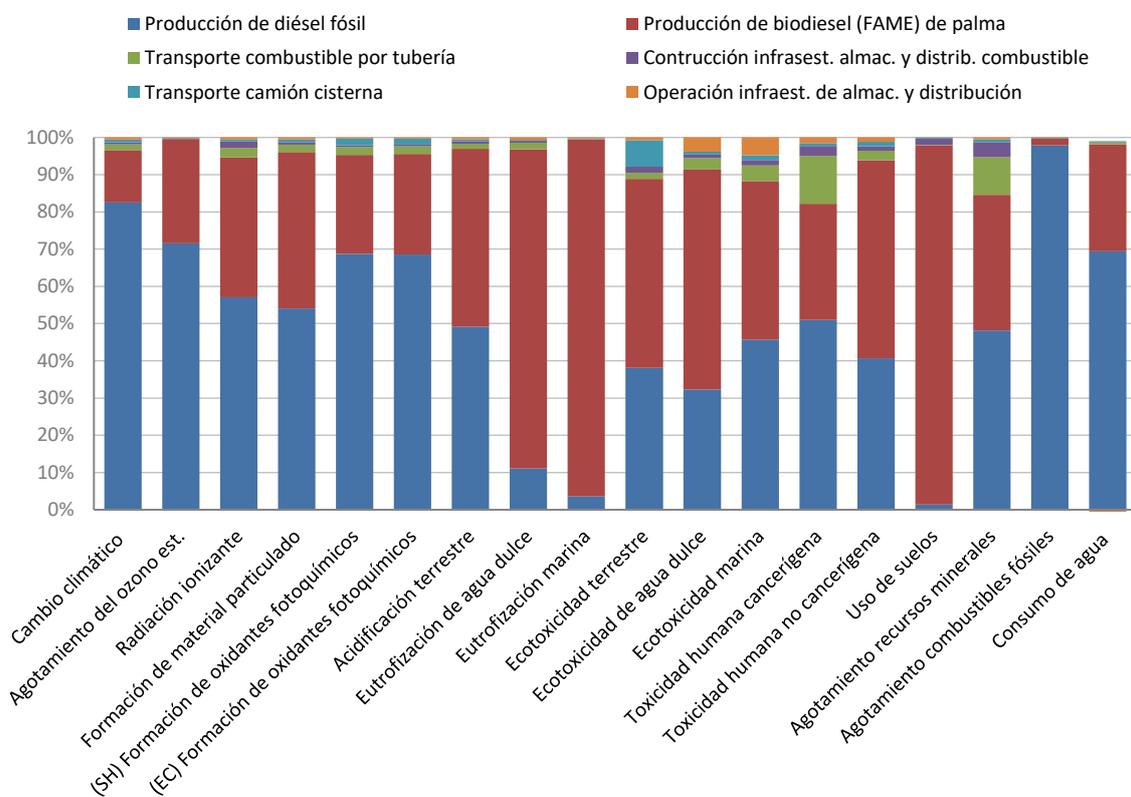


Figura IV.14. Proceso de producción y distribución de 1 kg de diésel B10 en estación Pereira. Contribución de actividades, caracterización método ReCiPe 2008

El método de caracterización utilizado por ReCiPe 2008 para la categoría de impacto Transformación de Terreno Natural, considera como una aportación positiva la transformación de terrenos sin árboles (pastizales, matorrales, cultivos anuales, etc.) en áreas arborizadas, consideradas como bosques. Es por esto que en la caracterización de esta categoría de impacto, para la sustancia *Transformation, to forest, intensive*, la producción de biodiésel de palma tiene la principal aportación ya que el 50% de las plantaciones en Colombia se han establecido en pastizales y matorrales [521]. Sin embargo, considerar los monocultivos como bosques ha sido un concepto muy discutido principalmente por temas de biodiversidad [619], además de la afectación a los bosques nativos de otras áreas y a los depósitos de carbono por los cambios indirectos de uso de suelo [33,620,621]. Por estos motivos, ya no es contabilizado el efecto de este tipo de plantaciones en la caracterización por el método actualizado de ReCiPe 2016 para la categoría Uso de Suelos, Figura IV.15.



**Figura IV.15. Proceso de producción y distribución de 1 kg de diésel B10 en estación Pereira. Contribución de actividades, caracterización método ReCiPe 2016**

El otro aspecto que afecta la fiabilidad de los resultados es también identificado en la caracterización del proceso de producción de combustibles mediante el método ReCiPe 2008, en donde para las plantaciones de palma en Colombia se contabiliza una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la categoría de impacto de Cambio Climático, Figura IV.14.

Esta contabilización positiva en la caracterización de la categoría de Cambio Climático es debido al cambio de uso de tierra, al pasar de tierras con cultivos anuales a cultivos perennes (> 2 años) como el de palma, los cuales absorben y capturan mayor cantidad de carbono orgánico en el suelo. Por esta razón, debido a que en Colombia el 72% por las plantaciones de palma se han establecido en tierras sin cultivos perennes, esta absorción adicional de CO<sub>2</sub> es

contabilizada [622]. Sin embargo, al evaluar el ciclo de vida del servicio del transporte, en donde la emisiones de CO<sub>2</sub> por el uso de biocombustibles en la operación del vehículo no son contabilizadas por el concepto de neutralidad del carbono [373], contabilizar esta absorción de CO<sub>2</sub> en el proceso de producción del combustible genera resultados erróneos para esta categoría de Cambio Climático.

Esta inconsistencia generada por la contabilización del CO<sub>2</sub> adicional capturado por las plantaciones de palma, contabilizado en el método ReCiPe 2008 en la sustancia *Carbon dioxide, to soil or biomass stock* en SimaPro, es corregida en la actualización del método en ReCiPe 2016, en donde ya no es contabilizado este efecto en el balance del CO<sub>2</sub> total del proceso de producción de combustibles. De esta manera, para la producción y distribución de 1 kg de diésel B10 utilizado, las emisiones de CO<sub>2</sub> eq calculadas por el método ReCiPe 2008 son de 0,232 kg y mediante el método ReCiPe 2016 son de 0,315 kg.

Las dos anteriores inconsistencias identificadas en los métodos de evaluación generan diferencias significativas en los resultados de la caracterización de todo el sistema para las categorías de Cambio Climático y Uso/transformación de suelos, lo cual afectaría los resultados agregados finales por la relevancia que tiene el proceso de producción de combustibles en el impacto medioambiental total del sistema.

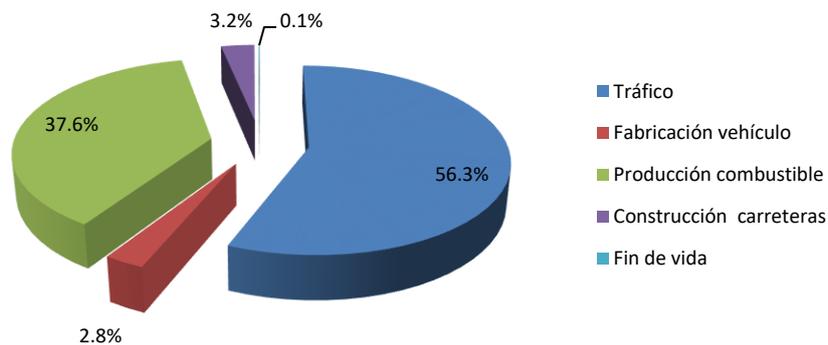
Otra diferencia significativa en los resultados de la caracterización del sistema por los métodos ReCiPe 2008 y 2016, se observa en la categoría de impacto de Ecotoxicidad Terrestre, en donde el resultado total aumenta significativamente mediante el método ReCiPe 2016, con el proceso de Tráfico como principal responsable, Figura IV.4 y Figura IV.5.

Esta importante diferencia en los resultados para la categoría de Ecotoxicidad Terrestre se da por las emisiones de cobre al aire de la operación de vehículo, las cuales equivalen a 1210 kg 1,4-DCB eq del total de 1450 kg 1,4-DCB eq, calculadas por el método de 2016, mientras que por el método de 2008 estas emisiones de cobre no son relevantes, las cuales equivalen solamente a 0,326 kg 1,4-DCB eq. Estas diferencias, si bien se deben a los factores de caracterización usados en cada método, que son actualizados o corregidos dados los avances en las investigaciones sobre los efectos medioambientales de las diversas sustancias emitidas, hacen más fiables los resultados obtenidos por el método más actual.

Si se tuvieran en cuenta estos resultados para la Ecotoxicidad Terrestre con el método ReCiPe 2016, el impacto relativo de esta categoría aumentaría de manera importante en los resultados normalizados de la Figura IV.13, en donde la principal responsable de estos impactos negativos sería también la abrasión de frenos por sus altas emisiones de partículas de cobre al aire.

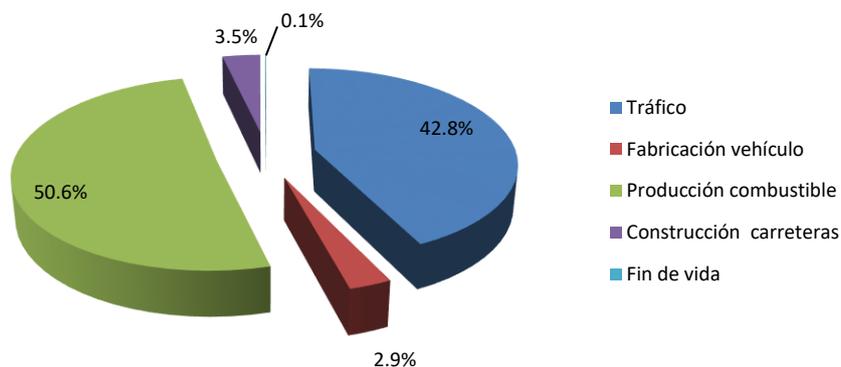
Por todo lo anterior, se consideran más fiables los resultados de la caracterización del método ReCiPe 2016. Sin embargo, para obtener el impacto medioambiental total agregado en un solo indicador, es necesario utilizar el método ReCiPe 2008 y, por lo tanto, se deben ajustar los resultados de la caracterización y así observar los cambios en los resultados agregados y ponderados mediante este método.

Los ajustes realizados son los relacionados con las actividades del cultivo de palma de aceite que afectan las categorías de Cambio Climático y la de Transformación de Terreno natural. De esta manera, la actividad de producción y distribución de un 1 kg de diésel B10 en estación en Pereira, para la categoría de Cambio Climático, el resultado con el método ReCiPe 2008 cambia de 0,232 kg CO<sub>2</sub> eq a 0,305 kg CO<sub>2</sub> eq, resultado más cercano al valor obtenido mediante el método ReCiPe 2016 para esta categoría de impacto. De manera general, mediante estos ajustes para el cálculo de los impactos de las categorías de daño final agregados con el método ReCiPe 2008 se obtiene un impacto medioambiental total del sistema ajustado de 55,8 pts, incrementando asimismo la contribución del proceso de producción de combustibles a este impacto total, Figura IV.16.



**Figura IV.16. Contribución por proceso al impacto medioambiental total del sistema caso Colombia (ajustado)**

En los resultados generales para todo el sistema de transporte, el proceso de Tráfico es el mayor responsable del impacto medioambiental. Sin embargo, este resultado se da a causa de los factores de ponderación utilizados, en donde al utilizar la perspectiva Promedio, la afectación a la Salud Humana tiene el doble de importancia que la afectación a los Recursos, Tabla III.22. Si se utilizan los factores de ponderación de categorías de daño bajo la perspectiva Jerárquica, el proceso de producción de combustibles sería ahora el principal responsable del impacto medioambiental del sistema, Figura IV.17.



**Figura IV.17. Contribución por proceso al impacto medioambiental total del sistema caso Colombia (ajustado), perspectiva jerárquica**

En los diferentes métodos de evaluación utilizados, la construcción de carreteras tiene un impacto relativamente bajo en la mayoría de categorías de impacto y de daño final. Es por esto que, en cuanto a la incertidumbre en los factores de asignación de los impactos de la

construcción de carreteras, generada por la falta de información estadística precisa en la fase de elaboración de inventarios, no es necesario realizar análisis de sensibilidad utilizando otros o factores de asignación calculados a partir de otras fuentes o de datos supuestos, dado que los resultados no afectarían las conclusiones generales del estudio.

### Conclusiones y recomendaciones

Para el ACV del servicio de transporte evaluado los principales responsables del impacto total del sistema de transporte son el proceso de Tráfico y el proceso de Producción de Combustibles, cuyas contribuciones a este impacto total dependen de los factores de ponderación utilizados en el método de evaluación.

Estos resultados finales dependen también de los factores de caracterización y normalización usados en cada método. Estos resultados han sido obtenidos por el método ReCiPe 2008, deben ser tomados como una aproximación a los impactos potenciales reales y usados solamente a modo de comparación con otros ACV usando diferentes combustibles o vehículos.

Debido a que el método ReCiPe 2008 ya es considerado desactualizado, además de los aspectos identificado que afectan y subestiman los resultados de este ACV por cuenta del método de caracterización de los impactos de la producción de biodiésel de Palma en Colombia, los resultados discriminados para cada categoría de impacto que deben ser considerados para análisis específicos son los del método de 2016, Figura IV.5. De esta manera, de una forma más representativa, los resultados de la caracterización del servicio evaluado para el transporte de 10 t de mercancía en camión rígido de 16 t convencional desde Pereira a Quibdó son presentados por tkm para cada categoría de impacto en la Tabla IV.28.

**Tabla IV.28. Resultados de caracterización método ReCiPe 2016 *midpoints* por tkm caso Colombia**

| Categoría de impacto                              | Unidad                      | Total sistema   | Tráfico  | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|---|-----------------------------|-----------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Cambio climático                                  | kg CO <sub>2</sub> eq       | <b>1,72E-01</b> | 1,48E-01 | 3,90E-03             | 1,57E-02               | 4,31E-03                | 3,48E-04    |
| Agotamiento del ozono estratosférico              | kg CFC11 eq                 | <b>7,16E-08</b> | 1,36E-08 | 1,24E-09             | 5,42E-08               | 2,49E-09                | 2,40E-11    |
| Radiación ionizante                               | kBq Co60eq                  | <b>6,02E-04</b> | 2,72E-04 | 1,01E-04             | 1,50E-04               | 7,85E-05                | 2,95E-07    |
| Formación de material particulado                 | kg MP <sub>2,5</sub> eq     | <b>3,91E-04</b> | 3,53E-04 | 8,09E-06             | 2,31E-05               | 7,30E-06                | 7,34E-08    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos: salud humana | kg NOx eq                   | <b>2,14E-03</b> | 2,05E-03 | 1,02E-05             | 4,92E-05               | 2,89E-05                | 3,31E-07    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos: ecosistemas  | kg NOx eq                   | <b>2,16E-03</b> | 2,07E-03 | 1,09E-05             | 5,32E-05               | 3,16E-05                | 3,35E-07    |
| Acidificación terrestre                           | kg SO <sub>2</sub> eq       | <b>9,93E-04</b> | 8,90E-04 | 1,67E-05             | 6,97E-05               | 1,58E-05                | 1,52E-07    |
| Eutrofización de agua dulce                       | kg P eq                     | <b>1,02E-05</b> | 2,25E-06 | 2,63E-06             | 4,61E-06               | 7,30E-07                | 2,22E-08    |
| Eutrofización marina                              | kg N eq                     | <b>2,90E-06</b> | 1,24E-07 | 1,60E-07             | 2,55E-06               | 5,10E-08                | 1,25E-08    |
| Ecotoxicidad terrestre                            | kg 1,4-DCB                  | <b>5,59E-01</b> | 4,91E-01 | 2,95E-02             | 2,68E-02               | 1,15E-02                | 5,79E-04    |
| Ecotoxicidad de agua dulce                        | kg 1,4-DCB                  | <b>1,48E-03</b> | 2,56E-04 | 3,78E-04             | 2,60E-04               | 8,78E-05                | 4,99E-04    |
| Ecotoxicidad marina                               | kg 1,4-DCB                  | <b>2,19E-03</b> | 5,58E-04 | 5,30E-04             | 2,63E-04               | 1,28E-04                | 7,07E-04    |
| Toxicidad humana cancerígena                      | kg 1,4-DCB                  | <b>2,97E-03</b> | 1,24E-03 | 1,08E-03             | 3,39E-04               | 3,19E-04                | 3,71E-06    |
| Toxicidad humana no cancerígena                   | kg 1,4-DCB                  | <b>7,16E-02</b> | 3,14E-02 | 1,09E-02             | 7,01E-03               | 2,81E-03                | 1,94E-02    |
| Uso de suelos                                     | m <sup>2</sup> a cultivo eq | <b>6,34E-03</b> | 1,51E-04 | 9,06E-05             | 3,16E-03               | 2,93E-03                | 1,86E-06    |
| Agotamiento de recursos minerales                 | kg Cu eq                    | <b>2,54E-04</b> | 9,16E-05 | 1,05E-04             | 3,32E-05               | 2,47E-05                | 9,94E-08    |
| Agotamiento de combustibles fósiles               | kg petróleo eq              | <b>5,48E-02</b> | 2,78E-03 | 1,06E-03             | 4,86E-02               | 2,27E-03                | 1,15E-05    |
| Consumo de agua                                   | m <sup>3</sup>              | <b>4,49E-04</b> | 6,64E-05 | 2,96E-05             | 3,17E-04               | 3,52E-05                | 2,20E-07    |

De manera general, se podría concluir que los resultados de este ACV concuerdan con estudios similares [53,422] en donde el proceso de Tráfico (operación del vehículo) es el

responsable de la mayor parte de las emisiones generadas por el sistema relacionadas con categorías de impacto que afectan la salud humana, como el CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, MP y COVDM, con excepción de los resultados para las emisiones de SO<sub>2</sub> relacionadas con la categoría de Acidificación terrestre. Para este servicio de transporte en Colombia, el principal responsable de las emisiones de SO<sub>2</sub> es el proceso de Tráfico, mientras que en los estudios citados para Europa [53] y para Norteamérica [422] los principales responsables son la fabricación del vehículo y la construcción de carreteras. Esta diferencia se da básicamente por las emisiones de la combustión del diésel utilizado en el caso a estudio de 500 ppm de azufre, mientras en los estudios citados se utiliza diésel bajo en azufre.

Para el transporte evaluado en este caso a estudio, si bien se tiene un consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub> elevado por km recorrido, 58 l/100 km frente a promedios de 26 l/100 km de acuerdo con los factores de la EMEP/EEA [373], la contribución de cada kg de combustible a las emisiones de CO<sub>2</sub> totales es mucho menor que el promedio global. El diésel B10 utilizado en Colombia está compuesto en un 10% de su volumen por biodiésel de palma producido localmente. El 90% restante de diésel fósil, también es producido localmente a partir de petróleo colombiano. Tanto el combustible como el petróleo son transportados en su mayor parte a través de tuberías. Además, la electricidad utilizada en todas las actividades involucradas en la producción y distribución del combustible en Colombia es producida en un 76% por hidroeléctricas [623]. Por estos motivos, las emisiones para la producción y distribución de 1 kg de diésel B10 puesto en estación en Colombia son en promedio de 0,32 kg CO<sub>2</sub>-eq, mientras que el promedio global para el diésel son de 0,56 kg CO<sub>2</sub>-eq y para el diésel bajo en azufre son 0,61 kg CO<sub>2</sub>-eq [125,521].

#### **4.1.2. ACV caso a estudio Malasia**

##### **4.1.2.1. Definición de objetivos y alcance**

La empresa de transporte *Prima Transport and Trading* (“*Sykt Usahajaya Bersatu SDN BHD*” - oficialmente en *Bahasa Malay* (idioma malayo)) cuenta con su oficina principal en el área metropolitana de Kuala Lumpur, capital en Malasia. La empresa realiza el servicio de transporte de mercancía básicamente para dos rutas; una de corta distancia al interior del área metropolitana de Kuala Lumpur a diferentes clientes y otra de larga distancia a su cliente principal en la ciudad de Kulim, estado de Kedah, ubicado al noroccidente de Malasia peninsular.

Su flota consta de 8 vehículos, 4 de ellos son camiones rígidos de 10 t de capacidad para la ruta de larga distancia y los otros 4 camiones rígidos de menor capacidad para la ruta de corta distancia y para reparto de pedidos pequeños en zonas urbanas en el área metropolitana de Kuala Lumpur.

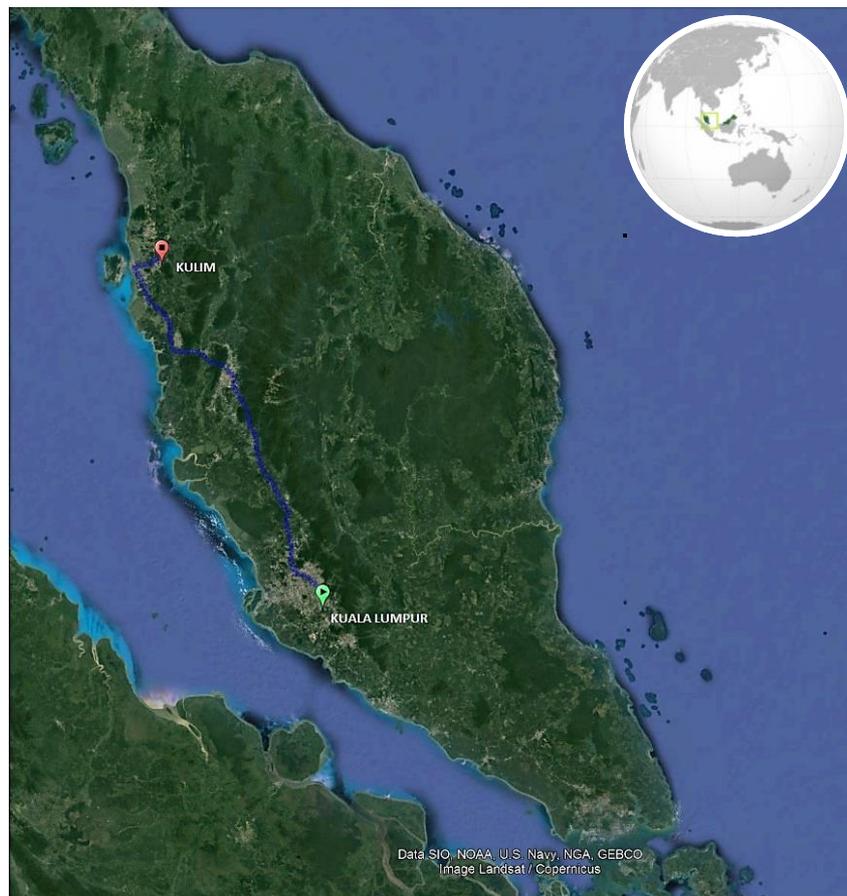
**Tabla IV.29. Caracterización de la flota propia**

| Vehículo      | Marca      | Modelo | Cantidad | Peso bruto vehicular (PBV) (t) | Capacidad de carga (t) | Combustible | Año              |
|---------------|------------|--------|----------|--------------------------------|------------------------|-------------|------------------|
| Camión rígido | Nissan     | PKD211 | 3        | 16                             | 10                     | Diésel      | 2002 (2)<br>2005 |
| Camión rígido | Hino       | 500    | 1        | 16                             | 10                     | Diésel      | 2004             |
| Camión rígido | Nissan     | LKA211 | 1        | 13,5                           | 7                      | Diésel      | ≈2000            |
| Camión rígido | Isuzu      | NPR    | 2        | 5                              | 3                      | Diésel      | ≈2000            |
| Camión ligero | Mitsubishi | Canter | 1        | 3,2                            | 1                      | Diésel      | ≈2000            |

De acuerdo con la clasificación por tipo de vehículo, la flota está compuesta de un camión del tipo N1 (PBV  $\leq 3,5$  t); por dos camiones rígidos tipo N2 ( $3,5$  t < PBV  $\leq 12$  t) y 5 camiones rígidos tipo N3 (PBV  $\geq 12$  t).

En cuanto a la tecnología de control de emisiones, los camiones adquiridos en Malasia a partir de 1997 debían cumplir la normativa Euro I [624], mientras que la norma Euro II se exigiría a partir del año 2013 [625]. Por esta razón, toda la flota de la empresa tendría tecnología de control de emisiones Euro I.

En este sentido, el objetivo del ACV es la evaluación de los potenciales impactos medioambientales de un servicio específico de transporte de mercancías, para el trayecto principal de larga distancia de la empresa; Figura IV.18.



**Figura IV.18. Situación geográfica de la ruta Kuala Lumpur-Kulim en Malasia (sin escala) [596]**

La función del sistema es el transporte por carretera de una carga de 2,5 t para el cliente externo desde Kuala Lumpur a Kulim. La mercancía de baja densidad es cargada en bastidores metálicos que ocupan la capacidad volumétrica total del camión. Se consideran los siguientes datos suministrados por la empresa para el servicio a evaluar en la Tabla IV.30.

**Tabla IV.30. Descripción servicio de transporte de 2,5 t de mercancías desde Kuala Lumpur a Kulim.**

|  |   |                       |                          |
|--|---|-----------------------|--------------------------|
| <b>Peso:</b> 2 t + 0,5 t (bastidores)                                | <b>Origen:</b> Kuala Lumpur                     | <b>Destino:</b> Kulim | <b>Fecha:</b> 28-08-2017 |
| <b>Medio de transporte:</b> Un camión rígido de PBV 16 t, (año 2002) |   |                       |                          |
| <b>Procedimiento</b>   |   |                       |                          |
| Lugar de recogida de mercancía                                       | Jalan CJ 1/1, Kawasan Perindustrian Cheras Jaya |                       |                          |
| Lugar de Destino   | Mukim Padang Meha Padang Serai                  |                       |                          |
| Consumo de combustible (diésel B7)                                   | 201,5 litros                                    |                       |                          |
| Distancia total recorrida  | 774 km (ida y vuelta)                           |                       |                          |
| Tiempo trayecto de sitio de recogida a destino                       | 6,66 horas                                      |                       |                          |
| Tiempo descanso  | 0,25 horas                                      |                       |                          |
| Tkm transportados  | 774   |                       |                          |

El camión realiza el trayecto de regreso vacío, solo con los bastidores metálicos que pesan aproximadamente 0,5 t. Las actividades incluidas en este ACV son inicialmente las descritas en la Figura III.2, de acuerdo con los límites y flujos del ACV atributivo como de la Figura III.3 Durante el desarrollo del análisis de inventario, los límites del sistema podrían ser redefinidos y algunas actividades podrían ser excluidas por ausencia o poca precisión de los datos hallados en las fuentes más fiables seleccionadas para cada proceso.

Las categorías de impacto ambiental y el método de evaluación utilizado es el descrito por ReCiPe, el cual agrupa 18 categorías de impacto en 3 categorías de daños finales [534].

#### 4.1.2.2. Análisis de inventario

La recopilación de datos se inicia con el análisis del proceso principal, en donde se calcula el consumo de combustible y emisiones contaminantes de la operación del vehículo. Posteriormente, se realiza el análisis de inventario para las actividades de apoyo al proceso principal y las actividades de los procesos secundarios se fabricación del vehículo, construcción de carreteras y producción del combustible.

##### 4.1.2.2.1. Inventario proceso de Tráfico

###### Operación del vehículo

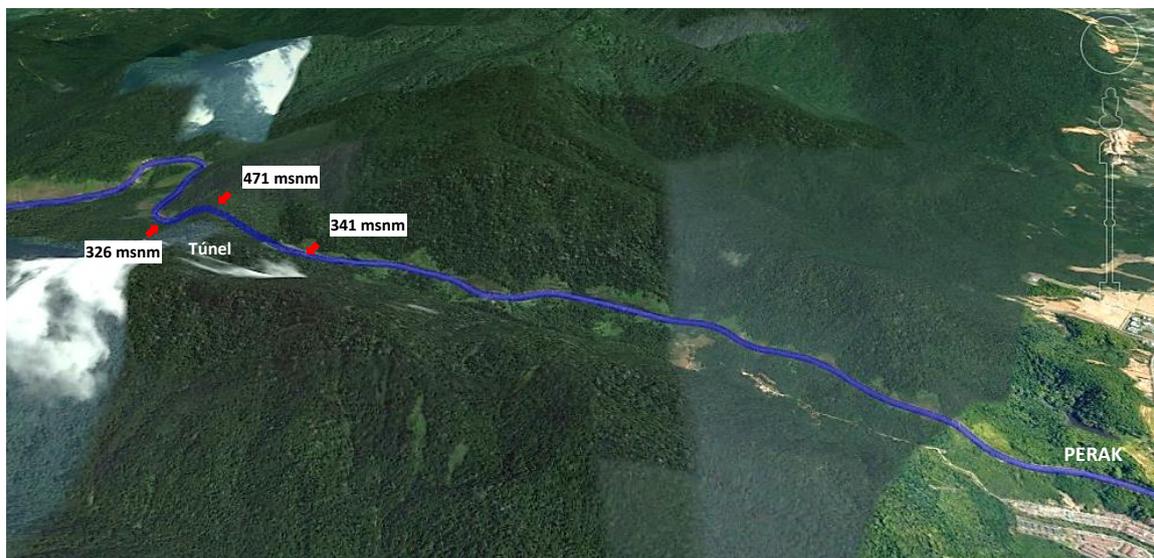
Para la operación del vehículo, se conoce que se consume en esta ruta en promedio 201,5 litros de diésel para los trayectos de ida y vuelta, dato que sirve como punto de partida para realizar los cálculos básicos como las emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y demás metales pesados presentes en el combustible.

De acuerdo con los factores de consumo *Tier 2* [373], se toma un promedio de 7,8 MJ/km para el camión evaluado de 16 t, obteniendo un consumo de 21,9 l/100 km; considerando el diésel B7 en Kuala Lumpur con densidad 0,8314 kg/l y contenido energético de 42,94 MJ/kg [626,627]. Sin embargo, estas cifras obtenidas por los factores de consumo *Tier 2* están por debajo del promedio real aproximado de 26 l/100 km.

Los consumos promedio teóricos no están muy alejados de la realidad ya que el trayecto es realizado por autovías en terrenos poco accidentados, con un gradiente medio para todo el recorrido de 0,8 %, Figura IV.19. Este trayecto, entre llano y ondulado, tiene algunos tramos montañosos, con un solo un tramo de 5 km de ascenso considerable con gradiente media de 5% a partir del km 228, a la salida de la ciudad de Ipoh, en donde se alcanza una altura máxima de 341 msnm a la entrada de un túnel de cerca de un km de largo, Figura IV.20. A la salida del túnel, se comienza el descenso para continuar un recorrido más llano con pendiente promedio de 0,4% hasta el destino en Kulim.



**Figura IV.19. Perfil de elevación recorrido Kuala Lumpur – Kulim [628]**



**Figura IV.20. Tramos de mayor elevación de la ruta Kuala Lumpur – Kulim (vista inclinada, sin escala) [628]**

Si bien las cifras obtenidas teóricamente se acercan a los promedios reales, es necesario realizar un cálculo más preciso con las ecuaciones para consumo de combustible y emisiones *Tier 3* [373], en donde se consideran gradientes de la carretera, velocidad, factores de carga y la tecnología específica de control de emisiones del camión para la ruta analizada.

A partir de los datos generales del trayecto de ida de 387 km como el tiempo de recorrido de 6,4 h, se estima una velocidad promedio de 60 km/h y gradientes medios de rampas y pendientes de 0,8% y -0,8%, respectivamente. Se utilizarían los coeficientes para la ecuación

(III.1) para camión rígido diésel con PBV entre 14 y 20 t con tecnología Euro I para gradientes de 0% [373].

De la ecuación (III.1) se obtiene que el camión consume 8,22 MJ/km para camión completo y 6,46 MJ/km para un camión vacío. A partir de la ecuación (III.2), para cargas parciales, se obtiene que el consumo energético para un factor de carga del 25% es de 6,90 MJ/km, es decir, 2671 MJ para 387 km de recorrido. Por lo cual, el consumo de diésel promedio sería de 19,3 l/100 km, cifra que se ubica entre las obtenidas a través de *EcoTransIT* y de los factores *Tier 2*. Por esto, es necesario dividir la ruta por tramos, ya que tomando como referencia el gradiente promedio de la ruta completa de  $\pm 0,8\%$ , se estarían omitiendo las diferentes rampas y pendientes de la carretera en tramos con topografía ondulada y montañosa como los que se pueden observar en el perfil de elevación de la Figura IV.19.

En este sentido, realizando la división del trayecto en tramos homogéneos manualmente, se calculan los consumos de combustible y emisiones para 33 tramos para el recorrido de ida y 33 tramos del trayecto de vuelta con el camión vacío y así obtener el consumo total y ser comparado con el promedio reportado por la empresa.

Con base en las anteriores consideraciones, se desarrollan los cálculos del consumo de combustible y emisiones del trayecto ida y vuelta Kuala Lumpur-Kulim. En el Anexo D.1 son presentados los datos utilizados para el trayecto de ida.

Para los 33 tramos del trayecto de ida, se obtiene un consumo promedio de 23,14 l/100 km, y para el de regreso un consumo de 22 l/100 km, cifras un poco superiores a la obtenida con el factor de consumo *Tier 2*, aunque sigue siendo inferior al promedio real. El valor obtenido para el trayecto ida y vuelta de 22,6 l/100 km, representa un 87% del consumo real, el cual, a pesar de realizarse por el método de cálculo más preciso, sigue siendo subestimado por omitir los consumos adicionales que se pueden generar en los cambios de marcha en cada una de las rampas y pendientes presentes en cada tramo, además de que muchas de estas rampas pueden tener gradientes muy superiores al gradiente medio obtenido para los tramos considerados. Por otra parte, el modelo no considera la antigüedad del camión ni el estilo de conducción, factores que influyen de manera importante el consumo real de combustible [11,36,52,496,503,599].

Por lo anterior, para obtener las emisiones dependientes del consumo de combustible se utiliza el consumo real, mientras que para las emisiones independientes del consumo de combustible se consideran las cifras obtenidas mediante el método de cálculo *Tier 3* por tramos y corregidas de manera proporcional a la diferencia entre el consumo de combustible calculado y el real. Los resultados finales para del inventario de la operación del vehículo, calculados para los 66 tramos de los trayectos ida y regreso Kuala Lumpur- Kulim son representados en las Tablas IV.31 a IV.37.

**Tabla IV.31. Consumo energético total TTW caso Malasia**

| Consumo diésel B7 | Promedio real | Método de cálculo |                            |                              |
|-------------------|---------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|
|                   |               | Tier 2            | Tier 3 (trayecto completo) | Tier 3 (trayecto por tramos) |
| Litros            | 201,5         | 169               | 147                        | 167                          |
| kg                | 167           | 141               | 122                        | 139                          |
| MJ                | 7242          | 6032              | 5242                       | 5957                         |
| l/100 km          | 26,1          | 21,9              | 19,0                       | 22,6                         |
| MJ/km             | 9,36          | 7,80              | 6,78                       | 7,70                         |
| MJ/tkm            | 4,68          | 3,9               | 3,39                       | 3,85                         |

**Tabla IV.32. Emisiones contaminantes del Grupo 1 por la combustión de diésel B7 caso Malasia**

| Salidas                               | kg       | g/km     | g/tkm    |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|
| CO                                    | 1,02E+00 | 1,32E+00 | 1,32E+00 |
| NOx (sin NO <sub>2</sub> )            | 5,10E+00 | 6,59E+00 | 6,59E+00 |
| MP < 2,5 um                           | 1,92E-01 | 2,48E-01 | 2,48E-01 |
| CH <sub>4</sub>                       | 7,43E-02 | 9,60E-02 | 9,60E-02 |
| COVDM (COV-CH <sub>4</sub> - grupo 4) | 8,50E-03 | 1,10E-02 | 1,10E-02 |
| N <sub>2</sub> O                      | 6,88E-03 | 8,89E-03 | 8,89E-03 |
| NH <sub>3</sub>                       | 2,80E-03 | 3,62E-03 | 3,62E-03 |
| NO <sub>2</sub>                       | 6,30E-01 | 8,14E-01 | 8,14E-01 |

**Tabla IV.33. Emisiones contaminantes del Grupo 2 por la combustión de diésel B7 caso Malasia**

| Salidas         | kg       | g/km     | g/tkm    |
|-----------------|----------|----------|----------|
| CO <sub>2</sub> | 4,89E+02 | 6,32E+02 | 6,32E+02 |
| SO <sub>2</sub> | 1,11E-01 | 1,43E-01 | 1,43E-01 |
| Plomo           | 8,38E-08 | 1,08E-07 | 1,08E-07 |
| Arsénico        | 1,68E-08 | 2,17E-08 | 2,17E-08 |
| Cadmio          | 8,38E-09 | 1,08E-08 | 1,08E-08 |
| Cobre           | 9,55E-07 | 1,23E-06 | 1,23E-06 |
| Cromo           | 2,80E-06 | 3,62E-06 | 3,62E-06 |
| Mercurio        | 8,88E-07 | 1,15E-06 | 1,15E-06 |
| Níquel          | 3,35E-09 | 4,33E-09 | 4,33E-09 |
| Selenio         | 1,68E-09 | 2,17E-09 | 2,17E-09 |
| Zinc            | 3,02E-06 | 3,90E-06 | 3,90E-06 |

**Tabla IV.34. Emisiones contaminantes del Grupo 3 por la combustión de diésel B7 caso Malasia**

| Salidas                | kg       | g/km     | g/tkm    |
|------------------------|----------|----------|----------|
| Indeno(1,2,3-cd)pireno | 1,31E-06 | 1,69E-06 | 1,69E-06 |
| Benzo(k)fluoranteno    | 5,69E-06 | 7,35E-06 | 7,35E-06 |
| Benzo(b)fluoranteno    | 5,09E-06 | 6,58E-06 | 6,58E-06 |
| Benzo(ghi)perileno     | 7,19E-07 | 9,29E-07 | 9,29E-07 |
| Fluoranteno            | 2,00E-05 | 2,58E-05 | 2,58E-05 |
| Benzo(a)pireno         | 8,40E-07 | 1,09E-06 | 1,09E-06 |
| Pireno                 | 2,95E-05 | 3,81E-05 | 3,81E-05 |
| Perileno               | 1,87E-07 | 2,42E-07 | 2,42E-07 |
| Benzo(b)fluoreno       | 9,88E-06 | 1,28E-05 | 1,28E-05 |
| Benzo(e)pireno         | 1,90E-06 | 2,45E-06 | 2,45E-06 |
| Tripenileno            | 8,96E-07 | 1,16E-06 | 1,16E-06 |
| Benzo(j)fluoranteno    | 1,22E-05 | 1,58E-05 | 1,58E-05 |
| Benzo(a)antraceno      | 2,23E-06 | 2,88E-06 | 2,88E-06 |
| Fluoreno               | 3,73E-05 | 4,82E-05 | 4,82E-05 |
| Criseno                | 1,52E-05 | 1,96E-05 | 1,96E-05 |
| Fenantreno             | 2,15E-05 | 2,78E-05 | 2,78E-05 |
| Naftaleno              | 5,23E-05 | 6,76E-05 | 6,76E-05 |
| Antraceno              | 8,08E-06 | 1,04E-05 | 1,04E-05 |
| Coronene               | 1,40E-07 | 1,81E-07 | 1,81E-07 |
| Dibenzo(ah)antraceno   | 3,17E-07 | 4,10E-07 | 4,10E-07 |
| Total HAPs             | 2,25E-04 | 2,91E-04 | 2,91E-04 |

**Tabla IV.35. Emisiones contaminantes del Grupo 4 por la combustión de diésel B7 caso Malasia**

| Salidas (agrupadas) | kg       | g/km     | g/tkm    |
|---------------------|----------|----------|----------|
| Alcanos             | 8,14E-02 | 1,05E-01 | 1,05E-01 |
| Cicloalcanos        | 3,00E-03 | 3,88E-03 | 3,88E-03 |
| Alquenos            | 3,71E-02 | 4,79E-02 | 4,79E-02 |
| Aldehídos           | 6,32E-02 | 8,17E-02 | 8,17E-02 |
| Aromáticos          | 6,50E-02 | 8,40E-02 | 8,40E-02 |

**Tabla IV.36. Emisiones contaminantes por el consumo de aceite lubricante de motor caso Malasia**

| Salidas         | kg       | g/km     | g/tkm    |
|-----------------|----------|----------|----------|
| CO <sub>2</sub> | 3,76E-01 | 4,86E-01 | 4,86E-01 |
| Plomo           | 4,01E-09 | 5,18E-09 | 5,18E-09 |
| Cadmio          | 5,50E-07 | 7,11E-07 | 7,11E-07 |
| Cobre           | 9,39E-05 | 1,21E-04 | 1,21E-04 |
| Cromo           | 2,32E-06 | 3,00E-06 | 3,00E-06 |
| Mercurio        | 3,85E-06 | 4,97E-06 | 4,97E-06 |
| Níquel          | 5,48E-07 | 7,08E-07 | 7,08E-07 |
| Selenio         | 5,43E-05 | 7,02E-05 | 7,02E-05 |
| Zinc            | 3,76E-01 | 4,86E-01 | 4,86E-01 |

**Tabla IV.37. Emisiones por la abrasión de neumáticos, frenos y superficie de carretera caso Malasia**

| Salidas               | Cantidad (kg) |          |           |
|-----------------------|---------------|----------|-----------|
|                       | Neumáticos    | Frenos   | Carretera |
| MP > 10 um            | 6,20E-03      | 4,16E-04 | 2,94E-02  |
| MP > 2,5 um, y < 10um | 2,79E-03      | 1,23E-02 | 1,35E-02  |
| MP < 2,5 um           | 6,51E-03      | 6,51E-03 | 1,59E-02  |
| Benzo(a)pireno        | 6,04E-08      | 1,54E-08 | -         |
| Benzo(b)fluoranteno   | -             | 8,74E-09 | -         |
| Benzo(k)fluoranteno   | -             | 1,29E-08 | -         |

Las emisiones de partículas de diferentes elementos metálicos y no metálicos, contenidos en el material particulado emitido por la abrasión de neumáticos y frenos, son presentadas individualmente y de manera específica según su destino en el Anexo D.2.

### **Mantenimiento del vehículo**

Se utiliza el inventario para el mantenimiento de camiones de 16 t del reporte *Transport services. Ecoinvent report No. 14* [529]. Se ajusta el inventario de materiales y energía utilizados para el mantenimiento anual del camión, considerando que cada camión realiza 5 viajes mensuales a Kulim, se asume un recorrido anual de 50 000 km.

Se ajusta el inventario de materiales y energía necesaria para el mantenimiento anual del camión. Las baterías de los vehículos se cambian en promedio cada 1,5 años. Los neumáticos se cambian cada 6 meses, es decir, en un año se usan 12 neumáticos de recambio. Los neumáticos traseros cambiados se reencauchan una sola vez, por lo cual, considerando que su duración es igual al de los nuevos, de acuerdo con el gerente de la empresa, se asume que la mitad de estos 8 se reencauchan al año. De esta manera, el 33% de los neumáticos cambiados anualmente se ahorra el porcentaje de acero utilizado en la fabricación de neumáticos nuevos, los cuales están compuestos en un 17% de este mineral [529].

Los gastos energéticos de electricidad y limpieza de los talleres de mantenimiento son incluidos en el inventario. Se excluyen gastos energéticos de climatización del taller. A partir

de estos ajustes, los insumos y repuestos (principalmente importados) y energía utilizados en el mantenimiento son presentados en la Tabla IV.38.

**Tabla IV.38. Inventario del ciclo de vida para el mantenimiento anual del camión de 16 t caso Malasia**

| Entradas  | Cantidad | Unidad |
|---|----------|--------|
| Electricidad, bajo voltaje {MY}  en mercado               | 410,19   | kWh    |
| Plomo {GLO}  en mercado                                   | 70,00    | kg     |
| Aceite lubricante {GLO}  en mercado                       | 72,22    | kg     |
| Papel, pulpa química, sin recubrimiento {RoW}  en mercado | 3,24     | kg     |
| Polietileno, alta densidad, granulado {GLO}  en mercado   | 13,15    | kg     |
| Acero reforzado GLO}  en mercado                          | 107,51   | kg     |
| Ácido sulfúrico {GLO}  en mercado                         | 26,57    | kg     |
| Caucho sintético {GLO}  en mercado                        | 306,98   | kg     |

La asignación de impactos del mantenimiento se realiza a los tkm transportados en el servicio. El camión transporta en cada viaje a Kulim en promedio 2 toneladas, regresándose sin mercancía a Kuala Lumpur, por lo que el camión transporta aproximadamente 46 440 tkm al año. De esta manera, el factor de asignación de los impactos del mantenimiento del camión para el servicio evaluado es igual a 1,67E-02.

### **Operación y mantenimiento de la carretera**

Para el inventario presentado en la Tabla IV.39, se utilizan los datos genéricos de Ecoinvent v3.4, los cuales provienen del reporte Transport services. *Ecoinvent report No. 14* [529]. El inventario es ajustado considerando la distribución de carreteras existentes en Malasia, en donde el 1,3% eran autovías, 13,6% carreteras primarias, 43,9% carreteras secundarias y el 41,2% carreteras terciarias [629].

**Tabla IV.39. Inventario de ciclo de vida para la operación y mantenimiento de carreteras por metro-año en Malasia**

| Entradas   | Cantidad | Unidad |
|--|----------|--------|
| Electricidad, medio voltaje {MY}, en mercado                           | 1,56E+01 | kWh    |
| Glifosato {MY}, en el mercado  | 3,35E-05 | kg     |
| Pintura alquídica, a base de agua, solución al 60% {MY} en mercado     | 3,47E-02 | kg     |
| Pintura alquídica, a base de solvente, solución al 60% {MY} en mercado | 2,08E-02 | kg     |
| Transporte, coche pasajeros, grande, diésel, EURO 3 {MY}, mercado      | 6,72E-01 | km     |
| Salidas  |          |        |
| <i>Emisiones al Aire</i>   |          |        |
| COVDM  | 5,20E-03 | kg     |
| Calor residual   | 5,62E+01 | MJ     |
| <i>Vertimientos al suelo</i>   |          |        |
| Glifosato  | 3,35E-05 | kg     |

Del inventario del ciclo de vida de *Ecoinvent* para el mantenimiento y operación de carreteras, son excluidos los materiales usados para el control del hielo/nieve, ya que estas condiciones climáticas no se presentan Malasia.

La asignación de impactos se realiza por vkm recorridos. El método de cálculo del factor de asignación es desarrollado más adelante en la sección del inventario del proceso de construcción de carreteras.

#### 4.1.2.2.2. Inventario proceso de fabricación de Vehículos

No se encuentra información para la fabricación del camión 16 t de la marca Nissan, por lo que es utilizado el inventario de *Ecoinvent v3.4*, elaborado a partir de datos para la fabricación de camiones Volvo en Alemania del 2004.

El camión evaluado en el caso a estudio fue importado de Japón, por lo que se incluye el transporte marítimo del camión a Port Klang, Malasia (7347 km) y el transporte por carretera desde la planta de Nissan en Ageo al puerto de Tokio (70 km) y desde Port Klang al distribuidor de Tan Chong Motor en Kuala Lumpur (68 km). En este sentido, se ajustan los flujos energéticos y de transporte en el inventario del ciclo de vida para la fabricación del camión presentado en el Anexo D.3.

La asignación de impactos de la fabricación del camión se realiza a los tkm transportados en el servicio específico con relación a las tkm transportadas en su vida útil. Sin embargo, no existe una fuente confiable que reporte la distribución histórica de la edad promedio de los vehículos en Malasia. La estimación a partir del registro vehicular anual no es posible debido a que en Malasia se importan muchos camiones usados. Por lo cual, M. Bin Azmi [630] estimó, basado en información de otros autores [631,632] y de una empresa de seguros anónima, que la vida útil promedio de los vehículos en Malasia es de 15 años. No obstante, en la empresa de transporte evaluada hay camiones con 17 años de antigüedad que trabajarán unos años más, por lo cual, se asumirá una vida útil de 20 años. De esta manera, el camión evaluado transportaría un total de 928 800 tkm en toda su vida útil, por lo que el factor de asignación es igual a  $8,33E-04$ .

#### 4.1.2.2.3. Inventario proceso de producción de Combustibles

Para el cálculo del impacto medioambiental de la producción, almacenamiento y transporte de los combustibles hasta la estación de servicio, se elabora el inventario para el Diésel B7 puesto en la estación de servicio en Kuala Lumpur, es decir, considerando un análisis WTT.

El diésel en Malasia está compuesto en un 7% de su volumen por biodiésel (FAME) de palma de aceite cultivada localmente, mientras que el 93% es diésel convencional (azufre $\approx$ 330 ppm) [626] a partir de petróleo de diferentes partes del mundo, pero principalmente de origen local [633], específicamente de plataformas de producción en el mar de China Meridional a 200 km de la costa este de la Malasia peninsular de su principal proveedor *ExxonMobil Exploration and Production Malaysia Inc.* (EMEPMI) [633].

Debido a que el refinado del diésel fósil no está modelado para Malasia en las bases de datos para ACV y, teniendo en cuenta que las actividades disponibles de refinado para Suiza (CH), Europa (RER) o resto del mundo (RoW) no representan el ciclo de vida de la producción de combustibles en Malasia por contener crudo importado de muchas partes del mundo, y por ende, diferente distribución e impacto de modos de transporte y energía usados, es necesario crear las actividades y sus correspondientes inventarios para la producción de biodiésel de palma y diésel convencional de manera específica para Malasia.

El diésel B7 es llevado a la estación de servicio *Petron South City* mediante camión cisterna desde la terminal de almacenamiento *Klang Valley Distribution Terminal* ( $\approx 19$  km), la cual recibe el combustible a través de poliductos desde la terminal de *Petron Port Dickson* ( $\approx 80$  km), adyacente a su refinería [633].

Para el caso del biodiésel de palma, la actividad ya está modelada para Malasia en la base de datos de *Ecoinvent*, aunque no está considerado el transporte del fruto de palma de los cultivos a la planta extractora, ni de esta planta a la refinería de biodiésel, por lo cual, son incluidos estas actividades en este ciclo de vida del biodiésel en Malasia. Para este transporte, se asume una distancia media desde los cultivos a las plantas extractoras de 79 km [634], 41 km desde las extractoras a las refinerías [635] y 25 km desde estas refinerías a las terminales de almacenamiento y distribución del diésel B7. De acuerdo con las anteriores consideraciones, el proceso de mercado para el diésel B7 en Kuala Lumpur es presentado en la Tabla IV.40.

**Tabla IV.40. Inventario de ciclo de vida para producción, almacenamiento y transporte de un kg de diésel B7 a la estación de servicio caso Malasia**

| Entradas  |  | Cantidad | Unidad         |
|---|--|----------|----------------|
| Diésel {MY}, en planta  |  | 9,26E-01 | kg             |
| Éster metílico de aceite vegetal {MY} esterificación del aceite de palma, en planta       |  | 7,37E-02 | kg             |
| Transporte por tubería, en tierra, petróleo {MY} proceso                                  |  | 7,44E-02 | tkm            |
| Infraestructura, para la distribución regional del producto petrolífero {MY} construcción |  | 2,48E-10 | unit           |
| Transporte de mercancías en camión {MY}   todos los tamaños, genérico a EURO3, mercado    |  | 2,08E-02 | tkm            |
| Agua de grifo {RoW}, en el mercado  |  | 6,89E-04 | kg             |
| Electricidad, bajo voltaje {MY}, en mercado   |  | 6,70E-03 | kWh            |
| Salidas   |  |          |                |
|   |  |          | <i>al aire</i> |
| Agua/m <sup>3</sup>   |  | 1,03E-03 | m <sup>3</sup> |
|   |  |          | <i>al agua</i> |
| Agua, MY  |  | 5,86E-03 | m <sup>3</sup> |

La proporción en kg de los dos tipos de combustible en el inventario es calculada considerando densidades para el diésel fósil de 0,828 kg/l y para el biodiésel de palma de 0,875 kg/l [627], ya que la mezcla B7 se realiza volumétricamente.

#### 4.1.2.2.4. Inventario proceso de construcción de Carreteras

La carretera usada para el trayecto Kuala Lumpur- Kulim es la autovía E1, correspondiente a la parte norte de la autovía *North-South Expressway* (NSE). La NSE arranca desde el norte de Malasia peninsular en la frontera con Tailandia, hasta el sur en la frontera con Singapur, atravesando las principales ciudades del occidente de Malasia peninsular. Esta autovía fue construida y abierta oficialmente en 1994 como una alternativa a la Ruta Federal 1, para aliviar la congestión en la carretera pública, convirtiéndose en el principal eje vial de la península. La carretera que conecta Kulim con la autovía E1 es la autovía E15.

Para el cálculo de los impactos asociados a la construcción y reconstrucción de las carreteras identificadas, deberá realizarse el inventario del ciclo de vida con información a nivel país, es decir, por la ausencia de información acerca de las tkm transportadas anualmente por la autovía E1, no pueden ser asignados sus impactos a las tkm del servicio evaluado.

De acuerdo con los datos disponibles para realizar la asignación de impactos, se estima a partir de las cifras de emisiones de CO<sub>2</sub> por pkm y por tkm frente a las totales en Malasia en 2010, reportadas por *Clear Air Asia* [636], que durante ese año se movilizaron aproximadamente 667 250 millones de pkm y 467 070 millones de tkm en el país. Se obtiene del *Malaysian Institute of Road Safety Research (MIROS)* que los vehículos en Malasia recorrieron un total de 423 936 millones de vkm en 2010 [637].

Para realizar la asignación Gtkm movilizadas en el servicio, es necesario calcular el total de Gtkm movilizadas por todo el parque vehicular en Malasia. Sin embargo, la información referente a los factores de carga o de toneladas y pasajeros movilizadas por tipo vehículo y la distribución porcentual del tráfico promedio por tipo de camión para las carreteras en Malasia no está disponible. Por esta razón, se realizan los cálculos utilizando las cifras de tráfico y los factores de carga y ocupación promedio por tipo de vehículo en Europa del reporte *Transport No. 14 de Ecoinvent* [529], los cuales están basados en las cifras de *Tremove* [523].

Utilizando los factores de carga y ocupación promedio de los vehículos en Europa, se obtuvo en un cálculo preliminar que para que los se movilizaran 667 250 millones de pkm y 467 070 millones de tkm en Malasia, todos los vehículos tendrían que haber recorrido un total de 292 758 millones de vkm. Esta diferencia entre el total de vkm estimados y el reportado por MIROS se debe a que los factores de carga y ocupación promedio en Malasia son inferiores a los de Europa. Por ejemplo, en el área metropolitana de Kuala Lumpur, solo el 17% de los desplazamientos se realiza en transporte público, mientras que el 83% se realiza en vehículos privados, que en su mayoría son ocupados solamente por el conductor [638].

Con base en las anteriores consideraciones, se realiza un cálculo con factores de carga y ocupación promedio ajustados al país, obteniendo que un total aproximado 2 277 379 millones de Gtkm movilizadas por las carreteras malayas, Tabla IV.41. Las estimaciones son realizadas con cifras para el 2010 por ser las más recientes disponibles. Aunque, dado que el factor de asignación a cada Gtkm del servicio evaluado es un ratio derivado del total de km de carreteras construidas y el total de Gtkm movilizadas en un año en el país, este factor puede ser usado para otros años.

**Tabla IV.41. Estimación del total de Gtkm y vkm anual en Malasia por vehículos de transporte de mercancías y de pasajeros (estimación para el 2010)**

|  | Unidades                  | Vehículos mercancías | Vehículos pasajeros | TOTAL            |
|--|---------------------------|----------------------|---------------------|------------------|
| Vehículo-kilómetro recorridos          | 10 <sup>6</sup> vkm       | 77 435               | 346 501             | <b>423 936</b>   |
| Carga-kilómetro transportadas          | 10 <sup>6</sup> tkm (pkm) | 467 071              | 667 245             | 1 134 316        |
| Peso neto promedio del vehículo        | t                         | 14,10                | 2,07                | -                |
| Carga promedio                         | t (p)                     | 6,03                 | 1,93                | -                |
| Peso bruto promedio del vehículo       | t                         | 20,13                | 2,07                | -                |
| Ratio Peso bruto/carga promedio        | %                         | 3,34                 | 1,08                | -                |
| Toneladas brutas-kilómetro movilizadas | 10 <sup>6</sup> Gtkm      | 1 558 752            | 718 627             | <b>2 277 379</b> |

En cuanto a la elaboración del inventario para la construcción y reconstrucción de carreteras, se considera la distribución de carreteras por tipo de la Tabla IV.42, siguiendo la metodología de cálculo realizado por Ecoinvent para el caso suizo y manteniendo las proporciones de

túneles y puentes por km usados para dicho análisis [529]. Los resultados del inventario del ciclo de vida para la construcción de carreteras ajustado a la red vial y flujos energéticos y de materiales nacionales son presentados en la Tabla IV.43.

**Tabla IV.42. Distribución de la red vial en Malasia por tipo de carretera [629,639,640]**

| Tipo de carretera | Malasia |            |
|-------------------|---------|------------|
|                   | Km      | Proporción |
| Autovía           | 1821    | 1,31%      |
| Primaria          | 18 866  | 13,59%     |
| Secundaria        | 60 902  | 43,87%     |
| Terciaria         | 57 248  | 41,23%     |
| TOTAL             | 138 837 | 100,00%    |

**Tabla IV.43. Inventario de ciclo de vida para la construcción y reconstrucción de carreteras por metro-año, incluyendo túneles y puentes caso Malasia**

| Entradas  | Cantidad | Unidad           |
|---|----------|------------------|
| Hormigón, para construcción de carreteras {MY}, en mercado              | 2,47E-03 | m <sup>3</sup>   |
| Compuesto adhesivo de betún, caliente {MY}, en mercado                  | 3,10E+00 | kg               |
| Grava, triturada {MY}, en mercado                                       | 1,01E+02 | kg               |
| Electricidad, medio voltaje {MY}, en mercado                            | 3,85E-01 | kWh              |
| Diésel, utilizado en maquinaria {MY}, en mercado                        | 3,46E+01 | MJ               |
| Excavación, mini cargadora {MY}, proceso                                | 1,60E-01 | m <sup>3</sup>   |
| Transporte de mercancías, camión 16-32 toneladas, genérico a EURO3 {MY} | 3,60E+00 | tkm              |
| Acero, de baja aleación, laminado en caliente {MY}, en mercado          | 6,47E-02 | kg               |
| Acero reforzado {MY}, en mercado  | 3,62E-01 | kg               |
| Salidas   |          |                  |
| <i>Uso de suelos</i>  |          |                  |
| Ocupación, área de tráfico, terraplén de la carretera                   | 1,27E+00 | m <sup>2</sup> a |
| Ocupación, área de tráfico, red de carreteras                           | 6,26E+00 | m <sup>2</sup> a |
| Transformación, de desconocido  | 1,06E-02 | m <sup>2</sup>   |
| Transformación, al área de tráfico, red de carreteras                   | 7,43E-03 | m <sup>2</sup>   |
| Transformación, al área de tráfico, terraplén de la carretera           | 3,14E-03 | m <sup>2</sup>   |
| <i>Emisiones al aire</i>  |          |                  |
| COVDM   | 3,73E-02 | kg               |
| MP, > 10um  | 1,22E-03 | kg               |
| MP, >2,5 um, y < 10um   | 3,12E-04 | kg               |
| Calor residual  | 1,39E+00 | MJ               |
| <i>Residuos</i>   |          |                  |
| Residuos inertes, para disposición final {MY}, en mercado               | 8,61E+00 | kg               |

El factor de asignación de impactos del ciclo de vida de la construcción y reconstrucción de carreteras a cada Gtkm transportado en Malasia, es igual a  $6,10E-5$  ( $138\ 837\ E+03 / 2\ 277\ 379\ E+06\ Gtkm$ ). De esta manera, dado que el servicio evaluado moviliza 5801 Gtkm, el factor de asignación al ciclo de vida del servicio es igual a 0,354. Por otra parte, el factor de asignación de impactos de la operación y mantenimiento de carreteras de la Tabla IV.39, asignado por vkm al servicio evaluado, es igual a 0,253.

#### 4.1.2.2.5. Inventario proceso de Fin de Vida

Las actividades incluidas en la etapa de Fin de Vida del sistema del transporte son las relacionadas con el desmantelamiento del vehículo y de las carreteras, utilizando la información para los correspondientes inventarios para estas actividades las mismas fuentes para cada proceso.

Para el inventario de ciclo de vida para las actividades de desmantelamiento del camión, se asume el completo reciclado del acero, aluminio y cobre. Se asume una distancia media de 20

km de la empresa de transporte a una de las plantas de desmantelamiento de la región, para el transporte de 360 kg, correspondientes a fracción del camión que no sería reciclado. Para cada uno de los procesos de disposición final o tratamiento de residuos se considera una distancia media de 60 km al sitio de tratamiento, incineración o al vertedero, Tabla IV.44.

**Tabla IV.44. Inventario de ciclo de vida para el desmantelamiento del camión de 16 t caso Malasia**

| Entradas  | Cantidad | Unidad |
|---|----------|--------|
| Transporte de mercancías, camión 16-32 toneladas, genérico a EURO3 {MY} | 7,20E+00 | tkm    |
| Salidas   |          |        |
| Residual emulsiones de pintura {MY}, en mercado                         | 4,00E+01 | kg     |
| Residuos de vidrio {MY}, en mercado                                     | 4,50E+01 | kg     |
| Residuos de aceite mineral {MY}, en mercado                             | 2,52E+01 | kg     |
| Residuos de plástico, mezcla {MY}, en mercado                           | 2,30E+02 | kg     |
| Residuos de Zinc de la trituración de automóviles {MY}, en mercado      | 2,00E+01 | kg     |

El factor de asignación del inventario del fin de vida del vehículo es el mismo utilizado para el inventario de la fabricación del vehículo, igual a 8,33E-04.

Para el desmantelamiento de carreteras y su disposición final de materiales, se asume un completo reciclado/reutilización de todos los materiales. Por consiguiente, solo son consideradas las actividades de excavación y el transporte del 80% de los residuos a los sitios de utilización o plantas de reciclaje con distancias superiores a 20 km [529], Tabla IV.45.

**Tabla IV.45. Inventario de ciclo de vida para el desmantelamiento de carreteras por metro-año caso Malasia**

| Entradas  | Cantidad | Unidad         |
|---|----------|----------------|
| Excavación, mini cargadora {MY}, proceso                                | 4,42E-02 | m <sup>3</sup> |
| Transporte de mercancías, camión 16-32 toneladas, genérico a EURO3 {MY} | 2,78E-01 | tkm            |

El factor de asignación del inventario del fin de vida de las carreteras es el mismo utilizado para el inventario de la construcción de carreteras, igual a 0,354.

#### 4.1.2.3. Evaluación de impactos

Con el fin de llevar a cabo los seis pasos definidos para esta fase de evaluación de impactos se utilizan los métodos ReCiPe 2008 y 2016 para este ACV. Los datos modelados mediante la herramienta *SimaPro 8.5.0* y la base de datos *Ecoinvent v3.4*.

##### 4.1.2.3.1. Clasificación

Para este ACV se incluyen las 18 categorías utilizadas por cada método, presentadas en la Tabla III.16.

##### 4.1.2.3.2. Caracterización

Para realizar la caracterización de resultados por cada método se utiliza la perspectiva global y jerárquica (100 años). De esta manera, los resultados para el transporte de 2 t de mercancía de Kuala Lumpur a Kulim (387 km) en camión rígido PBV 16 t Euro I, incluyendo regreso en vacío, en sus unidades originales mediante el método ReCiPe 2008 se presentan en la Tabla IV.46 y

mediante el método ReCiPe 2016 se presentan en la Tabla IV.47, mientras que la contribución porcentual de cada uno de los procesos del sistema para cada método se presentan en la Figura IV.21 y Figura IV.22.

**Tabla IV.46. Resultados de caracterización método ReCiPe 2008 *midpoints* caso Malasia**

| Categoría de impacto                | Unidad                 | Total sistema   | Tráfico  | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|-------------------------------------|------------------------|-----------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Cambio Climático                    | kg CO <sub>2</sub> eq  | <b>6,20E+02</b> | 5,25E+02 | 2,04E+01             | 7,02E+01               | 3,72E+00                | 3,93E-01    |
| Agotamiento del ozono               | kg CFC-11 eq           | <b>3,17E-05</b> | 4,30E-06 | 1,34E-06             | 2,53E-05               | 8,14E-07                | 3,07E-09    |
| Radiación Ionizante                 | kBq U235 eq            | <b>4,25E+01</b> | 2,49E+00 | 7,65E-01             | 3,89E+01               | 3,47E-01                | 2,69E-03    |
| Formación de material particulado   | kg MP <sub>10</sub> eq | <b>1,81E+00</b> | 1,62E+00 | 6,54E-02             | 1,20E-01               | 9,29E-03                | 1,19E-04    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos | kg COVDM               | <b>6,42E+00</b> | 6,02E+00 | 9,51E-02             | 2,61E-01               | 3,97E-02                | 3,76E-04    |
| Acidificación terrestre             | kg SO <sub>2</sub> eq  | <b>3,91E+00</b> | 3,50E+00 | 1,03E-01             | 2,94E-01               | 1,74E-02                | 2,27E-04    |
| Eutrofización de agua dulce         | kg P eq                | <b>3,34E-02</b> | 1,33E-02 | 1,33E-02             | 6,07E-03               | 7,24E-04                | 2,17E-05    |
| Eutrofización marina                | kg N eq                | <b>4,04E-01</b> | 2,30E-01 | 5,17E-03             | 1,67E-01               | 1,23E-03                | 5,66E-04    |
| Ecotoxicidad terrestre              | kg 1,4-DB eq           | <b>1,78E+00</b> | 4,88E-02 | 5,51E-03             | 1,72E+00               | 4,02E-03                | 1,24E-04    |
| Ecotoxicidad de agua dulce          | kg 1,4-DB eq           | <b>1,75E+00</b> | 5,29E-01 | 5,97E-01             | 5,09E-01               | 2,70E-02                | 8,82E-02    |
| Ecotoxicidad marina                 | kg 1,4-DB eq           | <b>2,29E+00</b> | 8,16E-01 | 5,72E-01             | 8,02E-01               | 2,66E-02                | 7,11E-02    |
| Toxicidad humana                    | kg 1,4-DB eq           | <b>8,68E+01</b> | 8,85E+01 | 2,08E+01             | 8,19E+00               | 9,41E-01                | 4,46E-01    |
| Ocupación de tierras agrícolas      | m <sup>2</sup> a       | <b>2,14E+01</b> | 1,69E+00 | 5,96E-01             | 1,90E+01               | 7,86E-02                | 1,41E-03    |
| Ocupación de suelo urbano           | m <sup>2</sup> a       | <b>3,90E+00</b> | 2,88E-01 | 2,62E-01             | 6,31E-01               | 2,72E+00                | 2,02E-03    |
| Transformación de terreno natural   | m <sup>2</sup>         | <b>3,38E-01</b> | 9,23E-03 | 3,79E-03             | 3,21E-01               | 3,79E-03                | 9,63E-06    |
| Agotamiento de recursos minerales   | kg Fe eq               | <b>1,64E+01</b> | 5,76E+00 | 8,81E+00             | 1,36E+00               | 4,96E-01                | 1,98E-03    |
| Agotamiento de combustibles fósiles | kg petróleo eq         | <b>1,95E+02</b> | 1,54E+01 | 5,92E+00             | 1,72E+02               | 1,92E+00                | 1,27E-02    |
| Consumo de agua                     | m <sup>3</sup>         | <b>1,73E+00</b> | 3,58E-01 | 1,52E-01             | 1,19E+00               | 2,90E-02                | 3,32E-04    |

**Tabla IV.47. Resultados de caracterización método ReCiPe 2016 *midpoints* caso Malasia**

| Categoría de impacto                              | Unidad                      | Total sistema   | Tráfico  | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|---|-----------------------------|-----------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Cambio climático                                  | kg CO <sub>2</sub> eq       | <b>6,24E+02</b> | 5,27E+02 | 2,12E+01             | 7,18E+01               | 3,77E+00                | 3,96E-01    |
| Agotamiento del ozono estratosférico              | kg CFC11 eq                 | <b>2,36E-04</b> | 9,08E-05 | 6,49E-06             | 1,37E-04               | 1,92E-06                | 4,45E-08    |
| Radiación ionizante                               | kBq Co-60 eq                | <b>6,99E+00</b> | 1,33E+00 | 4,94E-01             | 5,11E+00               | 6,61E-02                | 6,24E-04    |
| Formación de material particulado                 | kg MP <sub>2,5</sub> eq     | <b>1,11E+00</b> | 9,57E-01 | 4,63E-02             | 9,96E-02               | 6,51E-03                | 7,67E-05    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos: salud humana | kg NO <sub>x</sub> eq       | <b>5,44E+00</b> | 5,19E+00 | 5,64E-02             | 1,72E-01               | 2,31E-02                | 3,32E-04    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos: ecosistemas  | kg NO <sub>x</sub> eq       | <b>5,47E+00</b> | 5,21E+00 | 5,96E-02             | 1,82E-01               | 2,51E-02                | 3,37E-04    |
| Acidificación terrestre                           | kg SO <sub>2</sub> eq       | <b>2,69E+00</b> | 2,33E+00 | 9,21E-02             | 2,49E-01               | 1,34E-02                | 1,60E-04    |
| Eutrofización de agua dulce                       | kg P eq                     | <b>3,31E-02</b> | 1,33E-02 | 1,33E-02             | 5,74E-03               | 7,22E-04                | 2,17E-05    |
| Eutrofización marina                              | kg N eq                     | <b>4,75E-02</b> | 7,43E-04 | 8,47E-04             | 4,58E-02               | 1,26E-04                | 5,75E-05    |
| Ecotoxicidad terrestre                            | kg 1,4-DCB                  | <b>1,79E+03</b> | 1,54E+03 | 1,40E+02             | 1,03E+02               | 9,26E+00                | 1,18E+00    |
| Ecotoxicidad de agua dulce                        | kg 1,4-DCB                  | <b>5,97E+00</b> | 1,29E+00 | 1,79E+00             | 5,01E-01               | 8,19E-02                | 2,31E+00    |
| Ecotoxicidad marina                               | kg 1,4-DCB                  | <b>1,18E+01</b> | 2,42E+00 | 2,51E+00             | 3,45E+00               | 1,25E-01                | 3,27E+00    |
| Toxicidad humana cancerígena                      | kg 1,4-DCB                  | <b>1,02E+01</b> | 3,89E+00 | 5,07E+00             | 9,45E-01               | 3,03E-01                | 5,29E-03    |
| Toxicidad humana no cancerígena                   | kg 1,4-DCB                  | <b>2,47E+02</b> | 9,04E+01 | 5,17E+01             | 1,23E+01               | 2,60E+00                | 9,00E+01    |
| Uso de suelos                                     | m <sup>2</sup> a cultivo eq | <b>2,27E+01</b> | 7,48E-01 | 4,61E-01             | 1,94E+01               | 2,04E+00                | 2,56E-03    |
| Agotamiento de recursos minerales                 | kg Cu eq                    | <b>1,04E+00</b> | 4,40E-01 | 4,86E-01             | 8,77E-02               | 2,28E-02                | 1,18E-04    |
| Agotamiento de combustibles fósiles               | Kg petróleo eq              | <b>1,88E+02</b> | 1,50E+01 | 5,76E+00             | 1,66E+02               | 1,85E+00                | 1,23E-02    |
| Consumo de agua                                   | m <sup>3</sup>              | <b>1,82E+00</b> | 3,64E-01 | 1,55E-01             | 1,27E+00               | 3,02E-02                | 3,39E-04    |

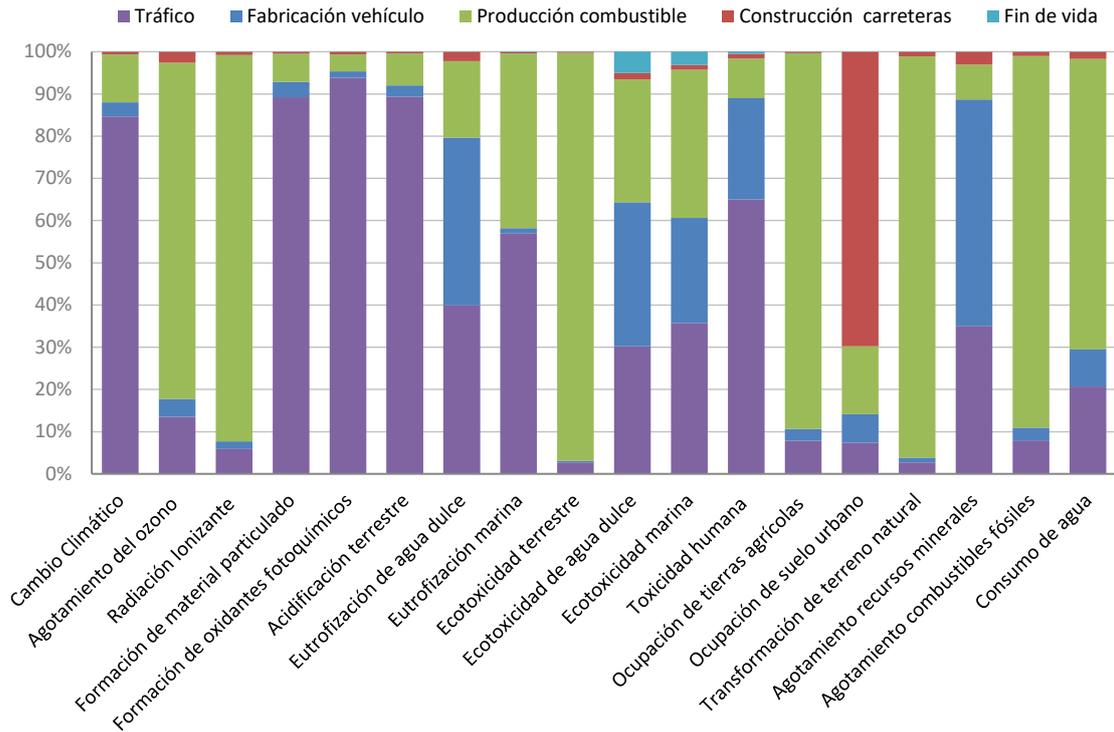


Figura IV.21. Contribución procesos en resultados de caracterización método ReCiPe 2008 *midpoints* caso Malasia

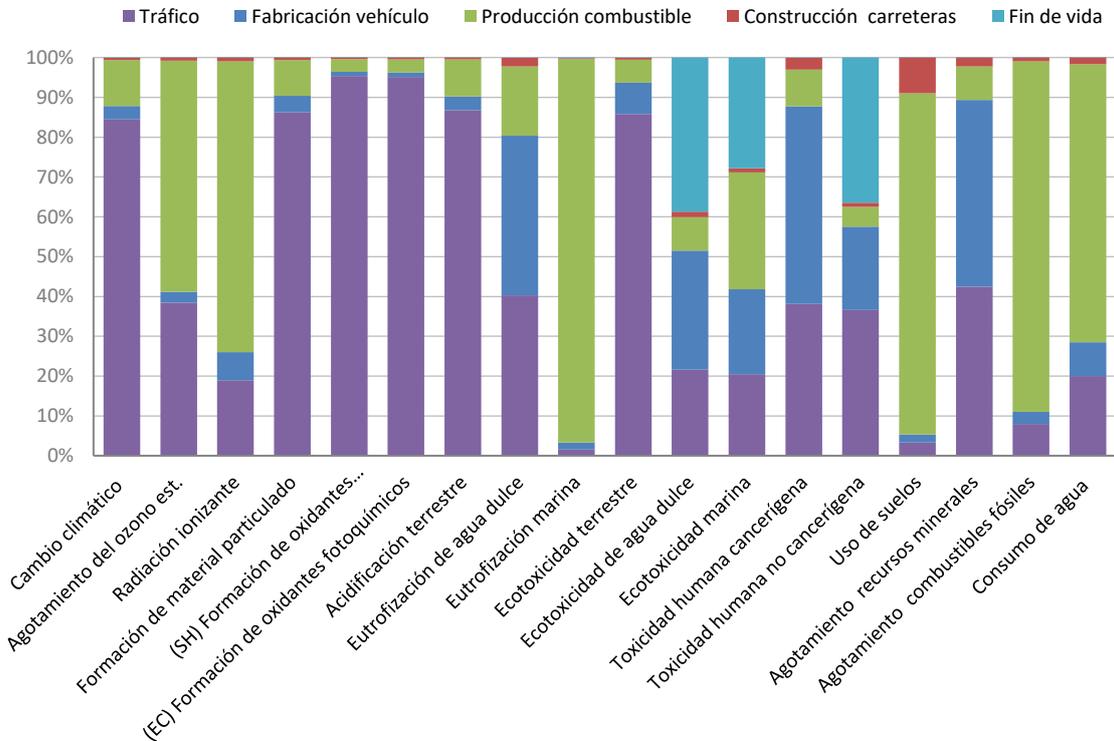


Figura IV.22. Contribución procesos en resultados de caracterización método ReCiPe 2016 *midpoints* caso Malasia

#### 4.1.2.3.3. Normalización *midpoints*

Para este paso de la fase de evaluación de impactos únicamente son presentados los resultados de la caracterización normalizados mediante el método ReCiPe 2008 en la Figura IV.23.

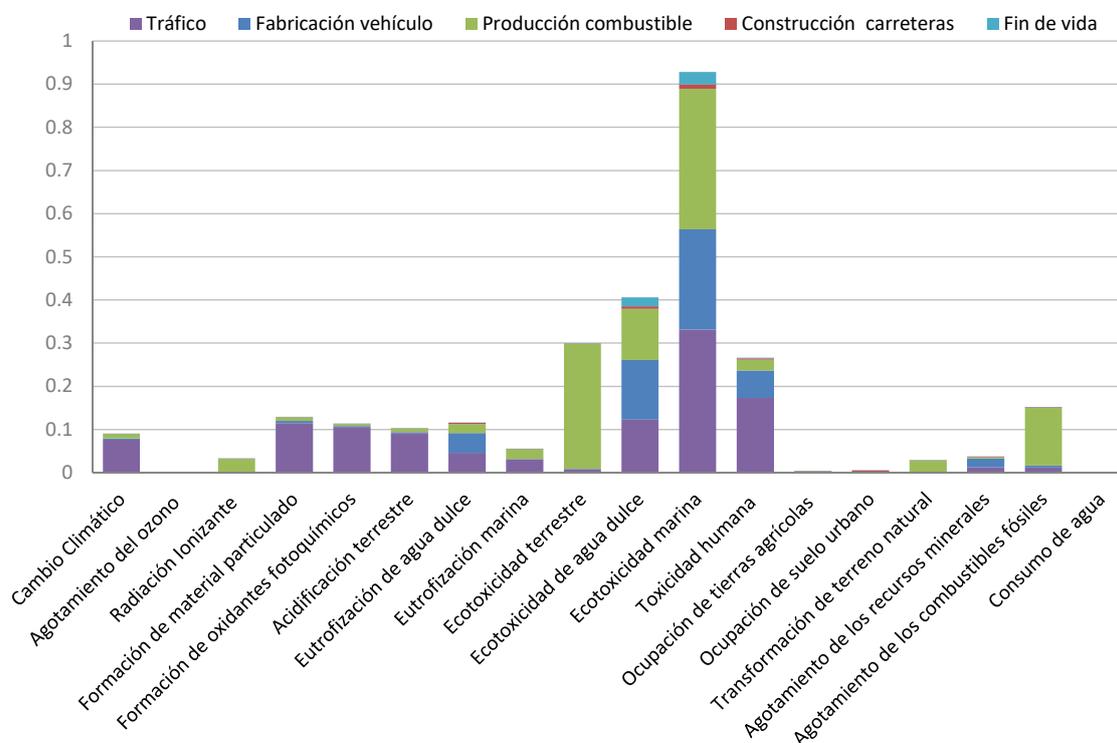


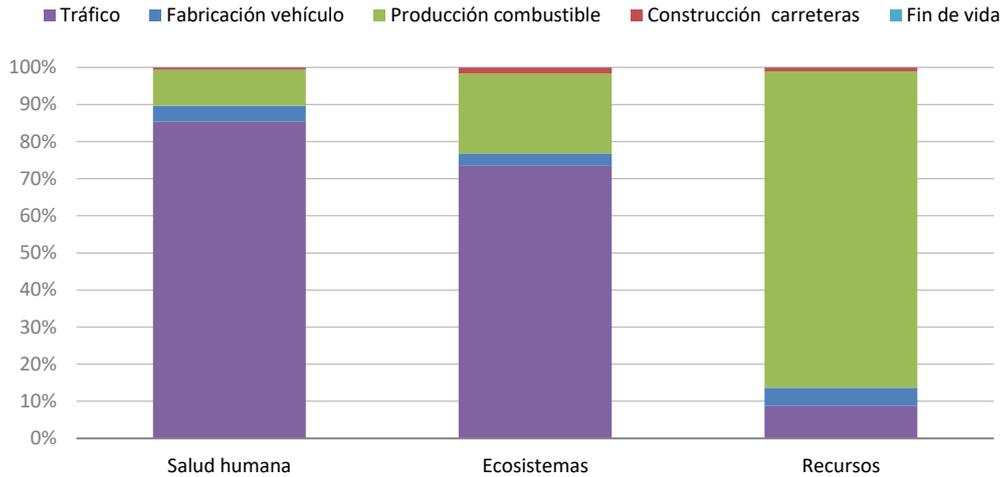
Figura IV.23. Resultados de caracterización normalizados método ReCiPe 2008 *midpoints* caso Malasia

#### 4.1.2.3.4. Agregación

En este paso se convierten los resultados de la caracterización de cada categoría de impacto a unidades comunes para las tres categorías de daño final, mediante factores de conversión *midpoints to endpoints* disponibles para los métodos ReCiPe 2008 y 2016. Los resultados agregados con la perspectiva global y Jerárquica por el método ReCiPe 2008 se presentan en la Tabla IV.48 y Figura IV.24 y por el método ReCiPe 2016 en la Tabla IV.49 y Figura IV.25. Las consideraciones para descartar los resultados del método ReCiPe 2008 son explicadas en la siguiente fase de Interpretación de resultados de este ACV.

Tabla IV.48. Resultados agregados método ReCiPe 2008 *endpoints* caso Malasia

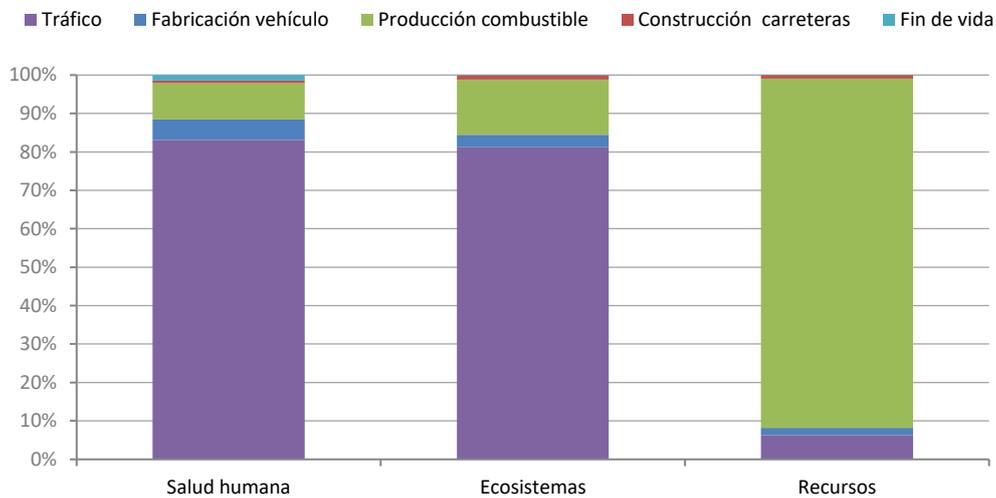
| Categorías de daño | Unidad         | Total sistema   | Tráfico  | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|--------------------|----------------|-----------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Salud humana       | DALYs          | <b>1,41E-03</b> | 1,21E-03 | 6,02E-05             | 1,36E-04               | 8,29E-06                | 8,93E-07    |
| Ecosistemas        | especies-año   | <b>5,75E-06</b> | 4,24E-06 | 1,84E-07             | 1,23E-06               | 9,35E-08                | 3,28E-09    |
| Recursos           | Dólares (2013) | <b>3,33E+01</b> | 2,83E+00 | 1,61E+00             | 2,85E+01               | 3,52E-01                | 2,24E-03    |



**Figura IV.24. Contribución procesos en resultados agregados método ReCiPe 2008 endpoints caso Malasia**

**Tabla IV.49. Resultados agregados método ReCiPe 2016 endpoints caso Malasia**

| Categorías de daño | Unidad        | Total sistema   | Tráfico  | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|--------------------|---------------|-----------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Salud humana       | DALYs         | <b>1,46E-03</b> | 1,21E-03 | 7,78E-05             | 1,38E-04               | 9,28E-06                | 2,10E-05    |
| Ecosistemas        | especies-año  | <b>3,29E-06</b> | 2,67E-06 | 1,05E-07             | 4,73E-07               | 3,58E-08                | 3,18E-09    |
| Recursos           | dólares(2013) | <b>8,23E+01</b> | 5,14E+00 | 1,59E+00             | 7,48E+01               | 7,88E-01                | 5,17E-03    |



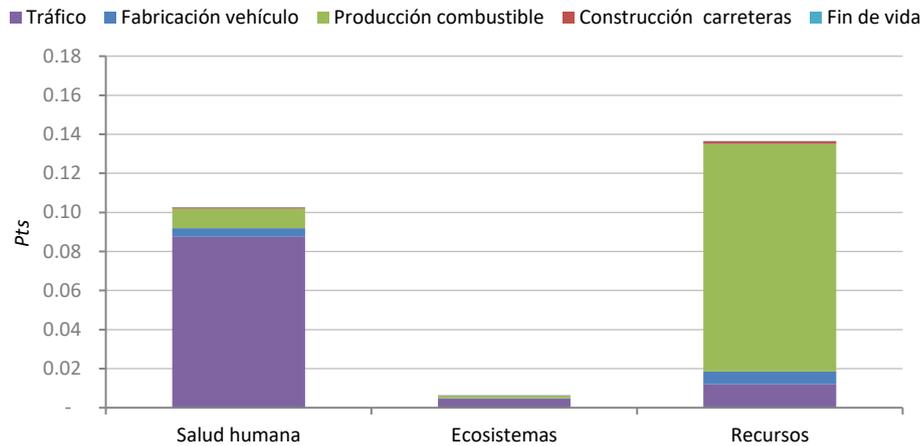
**Figura IV.25. Contribución procesos en resultados agregados método ReCiPe 2016 endpoints caso Malasia**

#### 4.1.2.3.5. Normalización endpoints

Para este paso de la fase de evaluación de impactos únicamente son presentados los resultados de la agregación de impactos normalizados mediante el método ReCiPe 2008 en la Tabla IV.50 y Figura IV.26.

**Tabla IV.50. Normalización resultados agregados método ReCiPe 2008 endpoints caso Malasia**

| Categorías de daño | Total sistema   | Tráfico  | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|--------------------|-----------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Salud humana       | <b>1,03E-01</b> | 8,76E-02 | 4,41E-03             | 9,97E-03               | 6,07E-04                | 6,55E-05    |
| Ecosistemas        | <b>6,26E-03</b> | 4,61E-03 | 2,00E-04             | 1,34E-03               | 1,02E-04                | 3,58E-06    |
| Recursos           | <b>1,36E-01</b> | 1,21E-02 | 6,56E-03             | 1,16E-01               | 1,44E-03                | 9,15E-06    |



**Figura IV.26. Normalización resultados agregados método ReCiPe 2008 endpoints caso Malasia**

#### 4.1.2.3.6. Ponderación

Para este ACV, dado que la ponderación de *endpoints* se obtiene a partir de los resultados normalizados, únicamente se realiza para los resultados del método ReCiPe 2008. Los resultados calculados mediante los factores de ponderación para la perspectiva promedio se presentan en la Tabla IV.51 y en las Figuras IV.27, IV.28 y IV.29.

**Tabla IV.51. Resultados de la ponderación método ReCiPe 2008 endpoints caso Malasia**

| Categorías de daño | Unidad | Total sistema | Tráfico | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|--------------------|--------|---------------|---------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Salud humana       | Pt     | <b>41,06</b>  | 35,04   | 1,76                 | 3,99                   | 0,24                    | 0,026       |
| Ecosistemas        | Pt     | <b>2,51</b>   | 1,85    | 0,08                 | 0,54                   | 0,04                    | 0,001       |
| Recursos           | Pt     | <b>27,30</b>  | 2,41    | 1,31                 | 23,28                  | 0,29                    | 0,002       |
| TOTAL              | Pt     | <b>70,86</b>  | 39,30   | 3,16                 | 27,81                  | 0,57                    | 0,029       |

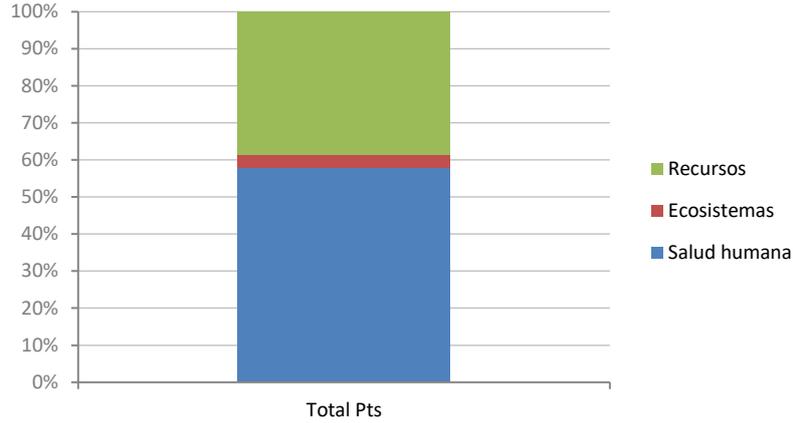


Figura IV.27. Resultados de la ponderación método ReCiPe 2008 *endpoints* caso Malasia

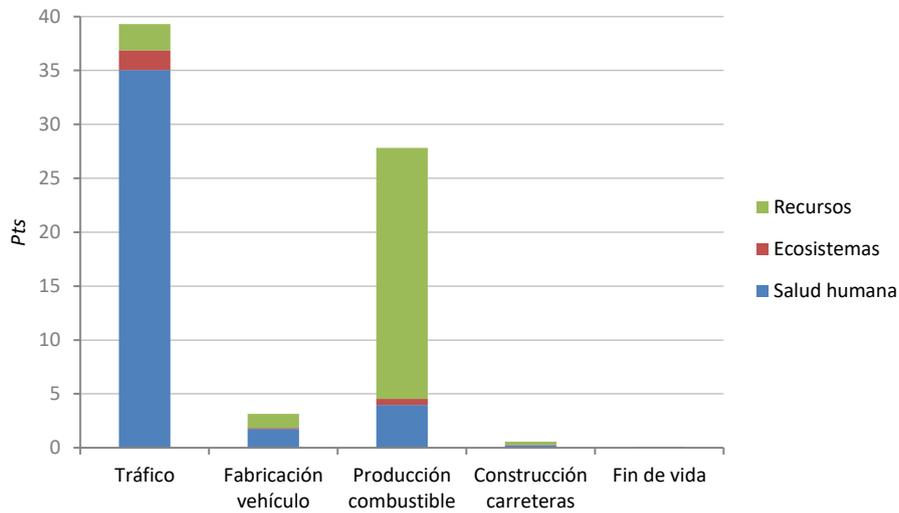


Figura IV.28. Contribución por proceso a los daños finales método ReCiPe 2008 *endpoints* caso Malasia

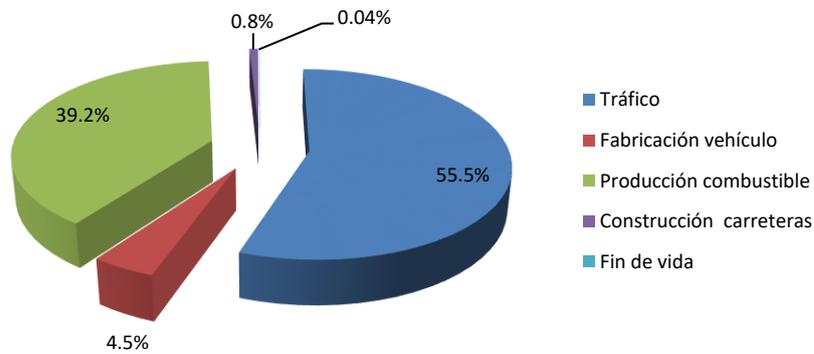


Figura IV.29. Contribución por proceso al impacto medioambiental total del sistema caso Malasia

#### 4.1.2.4. Interpretación de resultados

##### Identificación de aspectos relevantes

El servicio de transporte de 2 t de mercancías en camión rígido de 16 t de Kuala Lumpur a Kulim obtiene un indicador de impacto medioambiental total de 70,9 Pts, es decir, 91,5 mPts por tkm transportada. De este impacto total, se encuentra que el 55,5% es generado por el proceso principal del Tráfico, el 39,2% por el proceso de producción de combustibles, el 4,5% la fabricación del vehículo y menos del 1% los procesos de construcción de carreteras y procesos de fin de vida.

Analizando el impacto medioambiental desde el punto de vista de la afectación a la disponibilidad de recursos, el 86% de la responsabilidad es del proceso de producción de combustibles, mientras que desde el punto de vista de la afectación a la salud humana, el 85% de la responsabilidad recae en el proceso de Tráfico; Tabla IV.51. Desde el punto de vista de los Ecosistemas, el cual es afectado muy levemente (3,5%) respecto al total del sistema del transporte, el 74% de la afectación a estos Ecosistemas es responsabilidad del proceso de Tráfico, mientras el proceso de producción de combustibles genera un impacto positivo en estos ecosistemas.

De los resultados de la caracterización para las 18 categorías de impacto, el proceso de Tráfico es el de mayor contribución en 6 categorías evaluadas por el método ReCiPe 2008; Figura IV.21. Entre estas categorías de impacto, el proceso de Tráfico afecta principalmente al Cambio Climático (85%), la Formación de Material Particulado (89%), la Formación de Oxidantes Fotoquímicos (94%), la Acidificación Terrestre (89%).

Por otro lado, el proceso de Producción de Combustibles es el de mayor contribución en 7 categorías evaluadas por el método ReCiPe 2008. Entre estas categorías de impacto, el proceso de Producción de Combustibles afecta principalmente en la Radiación Ionizante (92%), la Transformación de la Tierra Natural (95%) y la Ecotoxicidad Terrestre (97%).

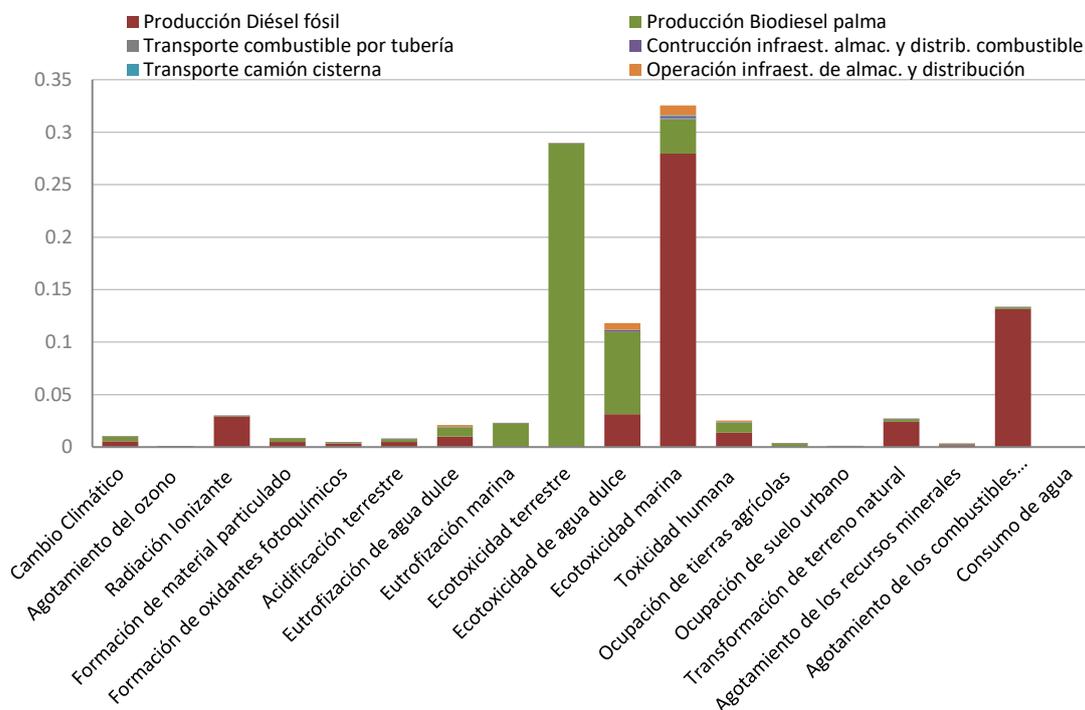
El proceso de Construcción de Carreteras tiene una responsabilidad del 70% la categoría de Ocupación de Suelo Urbano, pero en el resto de categorías de impacto su participación es de menos del 3%. Esta baja contribución en el impacto global del sistema es debido a que por las carreteras en Malasia se moviliza una cantidad importante de vehículos de carga y de pasajeros, por lo que la asignación de los impactos derivados de la construcción y reconstrucción de carreteras al servicio específico evaluada es muy pequeña.

En cuanto al proceso de Fabricación de Vehículos, este contribuye en un 54% en la categoría de Agotamiento de los Recursos Minerales y en un 40% en la categoría de Eutrofización de Agua Dulce; Figura IV.21.

Analizando los resultados de la caracterización normalizados para cada categoría de impacto en la Figura IV.23, se observa que el servicio de transporte de mercancías tiene una mayor afectación relativa en las categorías de Ecotoxicidad de Agua Dulce, Marina, Humana y Terrestre, para las cuales los procesos de mayor contribución son el de Tráfico y el de Producción de Combustibles.

Para la mayoría de categorías de impacto en donde el proceso de Tráfico tiene una alta contribución, la mayor parte de este impacto es debido a las emisiones por la combustión del diésel, como en las categorías de Cambio Climático, Formación de Material Particulado, Formación de Oxidantes Fotoquímicos y la Acidificación Terrestre. Sin embargo, en las categorías con afectación relativa más importantes sobre el medioambiente, relacionadas con la Ecotoxicidad, la contribución del proceso de Tráfico más importante no es debida a la combustión del diésel sino a las emisiones por la abrasión de frenos y mantenimiento del vehículo, de manera similar al caso evaluado en Colombia.

Para este caso específico de Malasia, se destaca que el proceso de Producción de Combustibles tiene una alta contribución en las categorías de Ecotoxicidad Terrestre y Marina generado por las actividades de producción de biodiésel (FAME) de palma y por la producción de diésel fósil, respectivamente; Figura IV.30.



**Figura IV.30. Resultados de caracterización normalizados Proceso producción combustible (167 kg diésel B7), ReCiPe 2008 midpoints caso Malasia**

Verificación de los resultados

Los resultados de la caracterización mediante los métodos ReCiPe 2008 y ReCiPe 2016 presentan diferencias apreciables en algunas categorías de impacto, especialmente en las categorías de Ecotoxicidad Terrestre, Eutrofización Marina, Agotamiento del Ozono y Radiación Ionizante. Se destaca que mediante el método ReCiPe 2016 el impacto sobre la categoría de Ecotoxicidad Terrestre aumenta significativamente con el proceso de Tráfico como principal responsable; Figura IV.21 y Figura IV.22.

Los factores de caracterización del método ReCiPe 2008 que podrían haber afectado los resultados generales del sistema, son los relacionados con las categorías impacto de Cambio Climático y de Transformación de Terreno Natural, en donde el método contabiliza de manera

positiva (inversa) sustancias asociadas a la producción de combustibles a partir de cultivos agroforestales.

De manera puntual, esta contabilización positiva en la caracterización de la categoría de Cambio Climático, contabilizada como *Carbon dioxide, to soil or biomass stock* en SimaPro, es debido al cambio de uso de tierra al pasar de tierras con cultivos anuales a cultivos perennes (> 2 años) como el de palma, los cuales absorben y capturan mayor cantidad de carbono orgánico en el suelo. Sin embargo, debido a que en Malasia la mayor parte de cultivos de palma se establecen en terrenos donde ya existían cultivos de palma o en bosques tropicales, la absorción de CO<sub>2</sub> adicional por cultivos de palma no es significativa. Por este mismo motivo, los factores de caracterización relacionados con la categoría de Transformación de Terreno Natural que contabilizan el subproceso *Transformation, to forest, intensive* de manera positiva, no es relevante, ya que la proporción de pastizales o cultivos anuales que se cambian por los “bosques” de palma de aceite es muy baja en Malasia.

Por estos motivos, no se encuentra una diferencia significativa en los resultados de la caracterización por cada método para el proceso de producción de diésel B7 en Malasia. Por ejemplo, para la categoría de Cambio Climático, la producción y distribución de 1 kg de diésel B7 generaría 0,42 kg de CO<sub>2</sub> eq calculado por el método ReCiPe 2008, o 0,43 kg de CO<sub>2</sub> eq calculado por el método ReCiPe 2016.

La identificación de categorías de impacto críticas a través de los resultados normalizados de la caracterización realizados por el método ReCiPe 2008 es aceptable, aunque si se consideraran los factores de caracterización de ReCiPe 2016 para la Ecotoxicidad Terrestre, esta categoría aumentaría considerablemente la afectación relativa, en donde el proceso de Tráfico sería el principal contribuyente debido a las emisiones de partículas de cobre durante la operación del vehículo.

Por lo anterior, dado que los resultados de la caracterización realizada por el método actualizado ReCiPe 2016 difieren en varias categorías de impacto de una forma considerable frente al método anterior, los resultados agregados del método ReCiPe 2008 para este ACV perderían consistencia.

### Conclusiones y recomendaciones

Para el ACV del servicio de transporte evaluado los principales responsables del impacto total del sistema son el proceso de Tráfico y el proceso de Producción de Combustibles, cuyas contribuciones a este impacto total dependen de los factores de ponderación utilizados en el método de evaluación.

Estos resultados finales dependen también de los factores de caracterización y normalización usados en cada método. Por esto, los resultados obtenidos por el método ReCiPe 2008, deben ser tomados como una aproximación a los impactos potenciales reales y usados solamente a modo de comparación con otros ACV usando diferentes combustibles o vehículos.

De una forma más representativa, los resultados de la caracterización del servicio evaluado para el transporte de 2 t de mercancías en camión rígido de 16 t de Kuala Lumpur a Kulim son presentados por tkm transportada para cada categoría de impacto en la Tabla IV.52.

**Tabla IV.52. Resultados de caracterización método ReCiPe 2016 *midpoints* por tkm caso Malasia**

| Categoría de impacto                              | Unidad                      | Total sistema   | Tráfico  | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|---|-----------------------------|-----------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Cambio climático                                  | kg CO <sub>2</sub> eq       | <b>8,06E-01</b> | 6,81E-01 | 2,74E-02             | 9,28E-02               | 4,87E-03                | 5,12E-04    |
| Agotamiento del ozono estratosférico              | kg CFC11 eq                 | <b>3,05E-07</b> | 1,17E-07 | 8,39E-09             | 1,77E-07               | 2,47E-09                | 5,75E-11    |
| Radiación ionizante                               | kBq Co60eq                  | <b>9,03E-03</b> | 1,71E-03 | 6,38E-04             | 6,60E-03               | 8,54E-05                | 8,06E-07    |
| Formación de material particulado                 | kg MP <sub>2,5</sub> eq     | <b>1,43E-03</b> | 1,24E-03 | 5,98E-05             | 1,29E-04               | 8,41E-06                | 9,91E-08    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos: salud humana | kg NOx eq                   | <b>7,03E-03</b> | 6,71E-03 | 7,28E-05             | 2,22E-04               | 2,98E-05                | 4,30E-07    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos: ecosistemas  | kg NOx eq                   | <b>7,07E-03</b> | 6,73E-03 | 7,70E-05             | 2,36E-04               | 3,25E-05                | 4,35E-07    |
| Acidificación terrestre                           | kg SO <sub>2</sub> eq       | <b>3,47E-03</b> | 3,01E-03 | 1,19E-04             | 3,22E-04               | 1,73E-05                | 2,07E-07    |
| Eutrofización de agua dulce                       | kg P eq                     | <b>4,27E-05</b> | 1,72E-05 | 1,71E-05             | 7,42E-06               | 9,33E-07                | 2,80E-08    |
| Eutrofización marina                              | kg N eq                     | <b>6,14E-05</b> | 9,61E-07 | 1,09E-06             | 5,91E-05               | 1,62E-07                | 7,43E-08    |
| Ecotoxicidad terrestre                            | kg 1,4-DCB                  | <b>2,31E+00</b> | 1,98E+00 | 1,81E-01             | 1,33E-01               | 1,20E-02                | 1,53E-03    |
| Ecotoxicidad de agua dulce                        | kg 1,4-DCB                  | <b>7,71E-03</b> | 1,67E-03 | 2,31E-03             | 6,48E-04               | 1,06E-04                | 2,98E-03    |
| Ecotoxicidad marina                               | kg 1,4-DCB                  | <b>1,52E-02</b> | 3,12E-03 | 3,25E-03             | 4,46E-03               | 1,61E-04                | 4,23E-03    |
| Toxicidad humana cancerígena                      | kg 1,4-DCB                  | <b>1,32E-02</b> | 5,03E-03 | 6,55E-03             | 1,22E-03               | 3,91E-04                | 6,84E-06    |
| Toxicidad humana no cancerígena                   | kg 1,4-DCB                  | <b>3,19E-01</b> | 1,17E-01 | 6,68E-02             | 1,59E-02               | 3,36E-03                | 1,16E-01    |
| Uso de suelos                                     | m <sup>2</sup> a cultivo eq | <b>2,93E-02</b> | 9,66E-04 | 5,95E-04             | 2,51E-02               | 2,63E-03                | 3,31E-06    |
| Agotamiento de recursos minerales                 | kg Cu eq                    | <b>1,34E-03</b> | 5,69E-04 | 6,28E-04             | 1,13E-04               | 2,95E-05                | 1,53E-07    |
| Agotamiento de combustibles fósiles               | Kg petróleo eq              | <b>2,43E-01</b> | 1,94E-02 | 7,44E-03             | 2,14E-01               | 2,39E-03                | 1,59E-05    |
| Consumo de agua                                   | m <sup>3</sup>              | <b>2,36E-03</b> | 4,71E-04 | 2,01E-04             | 1,65E-03               | 3,90E-05                | 4,38E-07    |

De manera similar al caso evaluado en Colombia, los resultados generales del sistema de transporte evaluado en Malasia concluyen que la operación del vehículo la principal responsable de emisiones como CO<sub>2</sub>, CO, NOx, MP y COVDM, de manera similar a otros estudios [53,422], con excepción de los resultados para las emisiones de SO<sub>2</sub>, ya que en Malasia el diésel utilizado contiene 330 ppm de azufre, mientras en los estudios citados se utilizó diésel bajo en azufre.

Para el transporte evaluado en este caso a estudio, se tiene un consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub> elevado por tkm transportado, ya que el camión viaja con un factor de carga del 25% y se regresa vacío. También, la contribución al servicio del transporte por la Fabricación del Vehículo en el impacto de cada categoría, si bien es pequeña a nivel global (4,5%), es responsable del 50% de la Toxicidad Humana Cancerígena y del 47% del Agotamiento de Recursos Minerales, Figura IV.22, debido principalmente al uso de hierro y acero. Esta fabricación del vehículo tiene una contribución poco despreciable en el servicio de transporte, debido a la baja utilización anual del vehículo, ya que solo realiza un promedio de 60 servicios como el evaluado anualmente. Sin embargo, por considerarse una vida útil de 20 años, el impacto de la fabricación del vehículo asignado al servicio unitario es bajo de términos generales.

### 4.1.3. ACV caso a estudio España

#### 4.1.3.1. Definición de objetivos y alcance

La empresa de transporte de mercancías participante del caso a estudio Vía Augusta cuenta con su oficina principal en Zaragoza, España. La empresa realiza el servicio de transporte de mercancía de media y larga distancia en España, Portugal, Francia, Italia, Bélgica, Alemania y Marruecos, contando con más de 12 millones de km recorridos anualmente.

Su flota consta de 91 camiones articulados con antigüedad media de 4 años y 28 camiones rígidos con antigüedad media de 7 años. De acuerdo con la normativa para el control de emisión de gases contaminantes del aire procedentes de vehículos tipo pesado [64], la mayor parte de flota cumple las normativas Euro V y Euro VI.

Una de las principales rutas que opera actualmente la empresa se realiza entre Zaragoza y Almusafes (Valencia), recorrido de aproximadamente 370 km, utilizando principalmente autovías nacionales, Figura IV.31.



Figura IV.31. Situación geográfica de la ruta Zaragoza-Almusafes en España (sin escala) [596]

La función del sistema es el transporte por carretera de una carga promedio de 10 t de mercancía para el cliente externo desde Zaragoza a Almusafes. La mercancía es cargada en bastidores metálicos que ocupan la capacidad volumétrica total del camión. Se consideran los siguientes datos suministrados por la empresa para el servicio a evaluar en la Tabla IV.53.

**Tabla IV.53. Descripción servicio de transporte de 10 t de mercancías desde Zaragoza a Almusafes**

|  |                         |                           |                          |
|--|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
| <b>Peso:</b> 10 t + 5 t (bastidores)                               | <b>Origen:</b> Zaragoza | <b>Destino:</b> Almusafes | <b>Fecha:</b> 31-05-2018 |
| <b>Medio de transporte:</b> camión articulado de PBV 40 t, Euro VI |                         |                           |                          |
| <b>Procedimiento</b>   |                         |                           |                          |
| Consumo de combustible (diésel B5)                                 | 215 litros              |                           |                          |
| Distancia total recorrido interurbano                              | 694 km (ida y vuelta)   |                           |                          |
| Tiempo trayecto de sitio de recogida a destino                     | 4,5 horas               |                           |                          |
| Tiempo descanso  | 0,5 horas               |                           |                          |
| Tkm transportados  | 3480                    |                           |                          |

El camión realiza el trayecto de regreso vacío, solo con los bastidores metálicos que pesan aproximadamente 5 t. Las actividades incluidas en este ACV son inicialmente las descritas en la Figura III.2, de acuerdo con los límites y flujos del ACV atributivo de la Figura III.3. Durante el desarrollo del análisis de inventario, los límites del sistema son redefinidos y algunas actividades excluidas por ausencia o poca precisión de los datos hallados. Las categorías de impacto ambiental y el método de evaluación que será utilizado es el descrito por ReCiPe [534].

#### 4.1.3.2. Análisis de inventario

La recopilación de datos se inicia con el análisis del proceso principal, en donde se calcula el consumo de combustible y las emisiones de la operación del vehículo. Posteriormente, se realiza el análisis de inventario para las actividades de apoyo al proceso principal y para las actividades de la fabricación del vehículo, construcción de carreteras y producción de combustibles.

##### 4.1.3.2.1. Inventario proceso de Tráfico

###### Operación del vehículo

Para la operación del vehículo, se conoce que se consume en esta ruta en promedio 31 l/100 km de diésel para los trayectos de ida y vuelta, dato que sirve como punto de partida para realizar los cálculos básicos como las emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y demás metales pesados presentes en el combustible.

De acuerdo con los factores de consumo promedio *Tier 2* [373], los camiones con PBV > 32 t con tecnología Euro I-VI consumen en promedio 10,72 MJ/km. En este sentido, considerando el uso de diésel B5 (densidad 0,839 kg/l y contenido energético 42,63 MJ/kg [641,642]), se tendría un consumo promedio de 29,9 l/100 km, cifra que cercana al consumo promedio real reportado por la empresa.

El trayecto evaluado, realizado por autovía y en terreno ondulado, coincide con el tipo de carretera promedio europeo, con circulación a una velocidad límite de 90 km/h, por lo cual, se reúnen las características para tener un consumo de combustible similar al promedio calculado para los factores *Tier 2*, desarrollados para Europa.

Dado que se conocen detalles específicos del trayecto, de la carga y del vehículo, también es posible realizar una estimación teórica de las emisiones mediante el método de cálculo con factores *Tier 3* [373].

El trayecto inicia en Zaragoza con una altitud aproximada de 213 msnm y termina en Almusafes con una altitud aproximada de 26 msnm. Durante este trayecto se alcanza una altitud máxima de 1224 msnm en el kilómetro 195; Figura IV.32.



**Figura IV.32. Perfil de elevación recorrido Zaragoza-Almusafes [628]**

Se realiza el cálculo para el consumo de combustible mediante los coeficientes *Tier 3* para recorridos con gradientes de  $\pm 2\%$ , con velocidad promedio de 77,3 km/h y factor de carga de 0% y 100%, dado que para el trayecto de ida el gradiente medio es de 1,1% para las rampas y de -1,4% para las pendientes y con factores de carga intermedios.

Se utilizan los coeficientes para camión articulado diésel (34-40 t) Euro VI, para la ecuación (III.1). Los resultados para el consumo energético (MJ/km) se calculan para el factor de carga de 60% para la ida y del 20% para el regreso con la ecuación (III.2) [373].

Se obtiene que el camión con carga del 60% consume 22,94 MJ/km en promedio subiendo y 2,15 MJ/km bajando, mientras que de regreso con factor de carga del 20% consume 16,82 MJ/km en subiendo y 1,96 MJ/km bajando. Por lo cual, estimando que durante 168,3 km del trayecto de ida y 178,6 km del trayecto de regreso se está subiendo y el resto bajando, el consumo de diésel promedio sería de 30,5 l/100 km (ida: 34,1 l/100km; regreso: 26,9 l/100 km) cifra cercana pero ligeramente inferior al consumo promedio real.

La estimación del consumo de combustible mediante el factor *Tier 2* y *Tier 3* se acercan bastante al consumo real, por lo que si no se contara con datos específicos del trayecto, la utilización de factores *Tier 2* para la estimación de las emisiones de la operación del vehículo podría ser aceptable. Sin embargo, hay emisiones que dependen en gran medida de la velocidad, gradiente y peso del vehículo, especialmente las de la abrasión de neumáticos y frenos, por lo que considerando que el vehículo tiene un factor de carga del 60% para la ida y un 20% para el regreso, el cálculo con factores *Tier 3* para cada tramo del recorrido arrojaría datos más precisos.

Para este servicio evaluado, la velocidad durante el recorrido tiene muchas variaciones por tratarse de un terreno ondulado, por lo cual, el recorrido es dividido en 29 tramos para cada trayecto.

Con base en las anteriores consideraciones, se desarrollan los cálculos del consumo de combustible y emisiones para los 58 tramos del recorrido ida y regreso Zaragoza-Almusafes. En el Anexo E.1 son presentados los datos para los tramos del trayecto de ida.

El tiempo de ida estimado para cualquier vehículo en este trayecto es de 3,3 h, mientras que los camiones de la empresa tardan un 4,5 h, debido principalmente al límite de 90 km/h de los vehículos pesados y a que la carretera en su mayor parte es de calzada múltiple/doble, por lo que los vehículos ligeros pueden alcanzar velocidades más altas con un límite de 120 km/h. Para los 29 tramos del trayecto de ida, se obtiene un consumo promedio de 35,7 l/100 km, y para el de regreso un consumo de 26,6 l/100 km. El valor obtenido para el trayecto ida y vuelta fue de 31,2 l/100 km. La cifra estimada para este caso evaluado por el método *Tier 3* por tramos es la más cercana al promedio para esta ruta en la empresa, el cual puede variar hasta un 5%, según el director técnico de la empresa.

Los resultados finales para el inventario de emisiones de la operación del vehículo, calculados para los 58 tramos de los trayectos ida y regreso Zaragoza-Almusafes son representados en las Tablas IV.54 a IV.60.

**Tabla IV.54. Consumo energético total TTW caso España**

| Consumo diésel B5 | Método de cálculo |               |                                      |  |
|-------------------|-------------------|---------------|--------------------------------------|--|
|                   | Promedio real     | <i>Tier 2</i> | <i>Tier 3</i><br>(trayecto completo) | <i>Tier 3</i><br>(trayecto por tramos) |
| Litros            | 215,1             | 208           | 212                                  | 216                                    |
| kg                | 180               | 174           | 178                                  | 182                                    |
| MJ                | 7730              | 7438          | 7580                                 | 7743                                   |
| l/100 km          | 31,0              | 29,9          | 30,5                                 | 31,2                                   |
| MJ/km             | 11,14             | 10,72         | 10,92                                | 11,16                                  |
| MJ/tkm            | 1,11              | 1,07          | 1,09                                 | 1,12                                   |

**Tabla IV.55. Emisiones contaminantes del Grupo 1 por la combustión de diésel B5 caso España**

| Salidas                               | kg       | g/km     | g/tkm    |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|
| CO                                    | 5,80E-02 | 8,36E-02 | 1,67E-02 |
| NOx (sin NO <sub>2</sub> )            | 2,60E-01 | 3,74E-01 | 7,47E-02 |
| MP < 2,5 $\mu$ m                      | 2,04E-03 | 2,93E-03 | 5,86E-04 |
| CH <sub>4</sub>                       | 7,02E-05 | 1,01E-04 | 2,02E-05 |
| COVDM (COV-CH <sub>4</sub> - grupo 4) | 4,89E-04 | 7,05E-04 | 1,41E-04 |
| N <sub>2</sub> O                      | 4,90E-03 | 7,06E-03 | 1,41E-03 |
| NH <sub>3</sub>                       | 2,07E-03 | 2,98E-03 | 5,96E-04 |
| NO <sub>2</sub>                       | 3,21E-02 | 4,63E-02 | 9,24E-03 |

**Tabla IV.56. Emisiones contaminantes del Grupo 2 por la combustión de diésel B5 caso España**

| Salidas         | kg       | g/km     | g/tkm    |
|-----------------|----------|----------|----------|
| CO <sub>2</sub> | 5,45E+02 | 7,86E+02 | 1,57E+02 |
| SO <sub>2</sub> | 3,61E-03 | 5,21E-03 | 1,04E-03 |
| Plomo           | 9,03E-08 | 1,30E-07 | 2,60E-08 |
| Arsénico        | 1,81E-08 | 2,60E-08 | 5,20E-09 |
| Cadmio          | 9,03E-09 | 1,30E-08 | 2,60E-09 |
| Cobre           | 1,03E-06 | 1,48E-06 | 2,96E-07 |
| Cromo           | 2,07E-06 | 2,98E-06 | 5,95E-07 |
| Mercurio        | 9,57E-07 | 1,38E-06 | 2,75E-07 |
| Níquel          | 3,61E-09 | 5,21E-09 | 1,04E-09 |
| Selenio         | 1,81E-09 | 2,60E-09 | 5,20E-10 |
| Zinc            | 3,25E-06 | 4,69E-06 | 9,35E-07 |

**Tabla IV.57. Emisiones contaminantes del Grupo 3 por la combustión de diésel B5 caso España**

| Salidas                 | kg       | g/km     | g/tkm    |
|-------------------------|----------|----------|----------|
| Indeno (1,2,3-cd)pireno | 9,66E-07 | 1,39E-06 | 2,78E-07 |
| Benzo(k)fluoranteno     | 4,20E-06 | 6,06E-06 | 1,21E-06 |
| Benzo(b)fluoranteno     | 3,76E-06 | 5,42E-06 | 1,08E-06 |
| Benzo(ghi)perileno      | 5,31E-07 | 7,66E-07 | 1,53E-07 |
| Fluoranteno             | 1,48E-05 | 2,13E-05 | 4,25E-06 |
| Benzo(a)pireno          | 6,21E-07 | 8,95E-07 | 1,79E-07 |
| Pireno                  | 2,18E-05 | 3,14E-05 | 6,27E-06 |
| Perileno                | 1,38E-07 | 1,99E-07 | 3,97E-08 |
| Benzo(b)fluoreno        | 7,30E-06 | 1,05E-05 | 2,10E-06 |
| Benzo(e)pireno          | 1,41E-06 | 2,03E-06 | 4,05E-07 |
| Tripenileno             | 6,63E-07 | 9,55E-07 | 1,91E-07 |
| Benzo(j)fluoranteno     | 9,02E-06 | 1,30E-05 | 2,59E-06 |
| Benzo(a)antraceno       | 1,65E-06 | 2,38E-06 | 4,75E-07 |
| Fluoreno                | 2,76E-05 | 3,98E-05 | 7,94E-06 |
| Criseno                 | 1,12E-05 | 1,62E-05 | 3,22E-06 |
| Fenantreno              | 1,59E-05 | 2,29E-05 | 4,57E-06 |
| Naftaleno               | 3,86E-05 | 5,57E-05 | 1,11E-05 |
| Antraceno               | 5,97E-06 | 8,6E-06  | 1,72E-06 |
| Coronene                | 1,04E-07 | 1,49E-07 | 2,98E-08 |
| Dibenzo(ah)antraceno    | 2,35E-07 | 3,38E-07 | 6,75E-08 |
| Total HAPs              | 1,66E-04 | 2,40E-04 | 4,79E-05 |

**Tabla IV.58. Emisiones contaminantes del Grupo 4 por la combustión de diésel B5 caso España**

| Salidas (agrupadas) | kg       | g/km     | g/tkm    |
|---------------------|----------|----------|----------|
| Alcanos             | 4,69E-03 | 6,76E-03 | 1,35E-03 |
| Cicloalcanos        | 1,73E-04 | 2,49E-04 | 4,96E-05 |
| Alquenos            | 2,14E-03 | 3,08E-03 | 6,15E-04 |
| Aldehídos           | 3,64E-03 | 5,25E-03 | 1,05E-03 |
| Aromáticos          | 3,74E-03 | 5,40E-03 | 1,08E-03 |

**Tabla IV.59. Emisiones contaminantes por el consumo de aceite lubricante de motor y urea caso España**

| Salidas                 | kg       | g/km     | g/tkm    |
|-------------------------|----------|----------|----------|
| CO <sub>2</sub>         | 3,37E-01 | 4,86E-01 | 9,70E-02 |
| Plomo                   | 3,59E-09 | 5,18E-09 | 1,03E-09 |
| Cadmio                  | 4,94E-07 | 7,11E-07 | 1,42E-07 |
| Cobre                   | 8,42E-05 | 1,21E-04 | 2,42E-05 |
| Cromo                   | 2,08E-06 | 3,00E-06 | 5,98E-07 |
| Mercurio                | 3,45E-06 | 4,97E-06 | 9,93E-07 |
| Níquel                  | 4,91E-07 | 7,08E-07 | 1,41E-07 |
| Selenio                 | 4,87E-05 | 7,02E-05 | 1,40E-05 |
| Zinc                    | 3,37E-01 | 4,86E-01 | 9,70E-02 |
| CO <sub>2</sub> de urea | 1,51E+00 | 2,18E+00 | 4,35E-01 |

**Tabla IV.60. Emisiones por la abrasión de neumáticos, frenos y superficie de carretera caso España**

| Salidas               | Cantidad (kg) |          |           |
|-----------------------|---------------|----------|-----------|
|                       | Neumáticos    | Frenos   | Carretera |
| MP > 10 µm            | 1,49E-02      | 2,77E-04 | 2,64E-02  |
| MP > 2,5 µm, y < 10µm | 6,69E-03      | 8,16E-03 | 1,21E-02  |
| MP < 2,5 µm           | 1,56E-02      | 1,56E-02 | 1,42E-02  |
| Benzo(a)pireno        | 2,03E-08      | 1,02E-08 | -         |
| Benzo(b)fluoranteno   | -             | 5,81E-09 | -         |
| Benzo(k)fluoranteno   | -             | 8,58E-09 | -         |

Las emisiones de partículas de diferentes elementos metálicos y no metálicos, contenidos en el material particulado emitido por la abrasión de neumáticos y frenos, son presentadas individualmente y de manera específica según su destino en el Anexo E.2.

La producción de la solución de urea utilizada en la operación del vehículo es también incluida en el inventario del proceso de Tráfico. Para este servicio de transporte evaluado se consumen 6,36 kg de solución de urea.

### **Mantenimiento del vehículo**

Se utiliza el inventario para el mantenimiento de camiones de 40 t del reporte No. 14 de *Ecoinvent* [529]. Se ajusta el inventario de materiales y energía usados para el mantenimiento anual del camión, considerando un recorrido anual de 120 000 km, un recambio de 8 neumáticos al año y una batería cada 3,5 años, según información facilitada por la empresa. Los gastos energéticos de electricidad, climatización y limpieza de los talleres de mantenimiento son incluidos en el inventario. A partir de estos ajustes, los insumos, repuestos y energía utilizados en el mantenimiento son presentados en la Tabla IV.61.

**Tabla IV.61. Material y energía utilizados para el mantenimiento anual del camión de 40 t caso España**

| Entradas   | Cantidad | Unidad |
|--|----------|--------|
| Electricidad, bajo voltaje {ES}  en mercado                      | 9,84E+02 | kWh    |
| Calor, climatización, diferentes al gas natural {RER} en mercado | 1,20E+04 | MJ     |
| Plomo {GLO}  en mercado  | 3,00E+01 | kg     |
| Aceite lubricante {RER}  en el mercado                           | 2,60E+02 | kg     |
| Papel, pulpa química, sin recubrimiento {RER} en mercado         | 7,78E+00 | kg     |
| Polietileno, alta densidad, granulado {GLO}  en mercado          | 3,16E+01 | kg     |
| Acero reforzado {GLO}  en mercado                                | 9,92E+01 | kg     |
| Ácido sulfúrico {GLO}  en mercado                                | 1,14E+01 | kg     |
| Caucho sintético {GLO}  en mercado                               | 3,37E+02 | kg     |

La asignación de impactos del mantenimiento se realiza a los tkm transportados en el servicio. El camión utilizado transporta en promedio 584 640 tkm al año, por lo cual, el factor de asignación de los impactos del mantenimiento del camión para el servicio evaluado es igual a 5,95E-03.

### **Operación y mantenimiento de la carretera**

Para el inventario presentado en la Tabla IV.62, se utilizan como base los datos genéricos del reporte No. 14 de *Ecoinvent* [529], ajustados a la distribución de carreteras existentes en España, en donde el 10,3% eran autovías, 40,4% carreteras primarias, 34,4% carreteras secundarias y el 14,7% carreteras terciarias [643].

**Tabla IV.62. Inventario de ciclo de vida para la operación y mantenimiento de carreteras por metro-año en España**

| Entradas   | Cantidad | Unidad |
|--|----------|--------|
| Electricidad, medio voltaje {ES}  en mercado                           | 5,00E+01 | kWh    |
| Glifosato {ES}  en mercado   | 6,22E-05 | kg     |
| Pintura alquídica, a base de agua, solución al 60% {ES} en mercado     | 2,76E-02 | kg     |
| Pintura alquídica, a base de solvente, solución al 60% {ES} en mercado | 1,66E-02 | kg     |
| Transporte, coche pasajeros, grande, diésel, EURO 5 {ES}, mercado      | 2,11E+00 | km     |
| <b>Salidas</b>   |          |        |
| <i>Al Aire</i>   |          |        |
| COVDM  | 4,14-03  | kg     |
| Calor residual   | 1,80E+02 | MJ     |
| <i>Al suelo</i>  |          |        |
| Glifosato  | 6,22E-05 | kg     |

La asignación de impactos se realiza por vkm recorridos. El método de cálculo del factor de asignación es desarrollado más adelante en la sección del inventario del proceso de construcción de carreteras.

#### **4.1.3.2.2. Inventario proceso de fabricación de Vehículos**

El camión utilizado es un fabricado por Scania AB en sus diferentes plantas europeas, ubicadas principalmente en Francia, Holanda y Suecia. Para este vehículo no se cuenta con información específica del fabricante, aunque puede ser utilizado el inventario para la fabricación del camión del *Ecoinvent v3.4*, realizado a partir de datos de *Volvo Truck Corporation* del 2004 para la fabricación de camiones en Alemania. El inventario para la fabricación del camión puede ser consultado en las Tablas 5-72 y 5-73 del *Transport services. Ecoinvent report No. 14* [529].

La asignación de impactos de la fabricación del camión se realiza a los tkm transportados en el servicio específico con relación a las tkm transportadas en su vida útil. La vida útil promedio de los camiones articulados (cabezas tractoras) en España es de aproximadamente 10,4 años [644]. De esta manera, el camión evaluado transportaría un total de 6 080 256 tkm en toda su vida útil, por lo que el factor de asignación es igual a 5,72E-04.

#### **4.1.3.2.3. Inventario proceso de producción de Combustibles**

Para el cálculo del impacto medioambiental de la producción, almacenamiento y transporte de los combustibles hasta la estación de servicio, se elabora el inventario para el diésel convencional puesto en la estación de servicio Vía Augusta Gas S.L, considerando un análisis WTT.

El diésel convencional (gasóleo A) en España sigue la normativa europea EN 590, con un contenido máximo de 7% v/v de biodiésel (FAME) y máximo 10 ppm de azufre [645], es decir, el diésel convencional de automoción en España es ULSD (*Ultra-low sulphur diesel*).

La legislación española no establece una proporción exacta o mínima de FAME en cada litro vendido de diésel, por lo cual, este contenido puede estar entre 0 y 7%.

En diciembre de 2015 fue publicado el Real Decreto 1085 de fomento de los biocarburantes, con el que se establecen objetivos anuales mínimos obligatorios para cumplir con la meta del 10% de energía renovable en el transporte en el 2020. Se establece así una proporción mínima de biocarburante del 5% para 2017, 6% para 2018, 7% para 2019 y 8,5% 2020 [646]. Sin embargo, la exigencia de estos mínimos de biocarburantes no implica que en cada litro de diésel se cumplan estos porcentajes, ya que dichos mínimos se contabilizan por empresa, por lo cual, una empresa (productora, distribuidora o consumidora) podría introducir menos biodiésel a cada litro de diésel si a cambio distribuye o utiliza biodiésel B20 o B30, por ejemplo.

Por lo anterior, y debido a que cada distribuidor no está en la obligación de informar el contenido exacto de biodiésel en el diésel vendido, y considerando el objetivo mínimo global establecido de biocarburantes en España, se asume para este análisis que el diésel utilizado contiene un 5% de FAME.

Este FAME utilizado como mezcla en el diésel en España en 2016 fue producido en su mayor parte localmente (75%), mientras que el resto fue importado de Italia (7,9%), Alemania (5,9%), Holanda (3,1%) y otros (8,1%) [647]. Las materias primas para la producción del FAME fueron principalmente el aceite crudo de palma (72,4%), de colza (15,5%) y de soja (10,3%), cultivadas en el Sudeste Asiático, en Europa y en Suramérica, respectivamente [647].

En cuanto al petróleo utilizado para la producción de la fracción del diésel fósil, el 99,6% es importado [648]. El origen del petróleo es más diverso, el cual varía cada mes, por lo cual se consideran las importaciones de los últimos años con el fin de determinar los principales países proveedores. Durante los 5 años previos a 2016 fueron importados un total de 293 millones de toneladas de crudo, principalmente de Nigeria (14,9%), México (14,0%), Arabia Saudí (12,9%) y Rusia (11,2%) [648]. El diésel fósil utilizado es producido en la refinería de Tarragona o en la de Vizcaya y es transportado mediante oleoductos al centro de almacenamiento de combustibles en Zaragoza.

De acuerdo con las anteriores consideraciones, el diésel B5 puesto en estación en Zaragoza es presentado en la Tabla IV.63.

**Tabla IV.63. Inventario de ciclo de vida para producción, almacenamiento y transporte de un kg de diésel B5 a la estación de servicio caso España**

| Entradas   |  | Cantidad       | Unidad         |
|--|--|----------------|----------------|
| Diésel {ES}   ultra-bajo en azufre, en planta  |  | 9,47E-01       | kg             |
| Éster metílico de aceite vegetal {ES} esterificación de diferentes aceites vegetales, en mercado |  | 5,31E-02       | kg             |
| Transporte por tubería, en tierra, petróleo {ES} proceso   |  | 2,80E-01       | tkm            |
| Infraestructura, para la distribución regional del producto petrolífero {ES} construcción        |  | 2,48E-10       | unit           |
| Transporte de mercancías en camión {ES}   todos los tamaños, genérico a EURO5, mercado           |  | 1,54E-02       | tkm            |
| Agua de grifo {RoW}, en el mercado   |  | 6,89E-04       | kg             |
| Electricidad, bajo voltaje {ES}, en el mercado   |  | 6,70E-03       | kWh            |
| Salidas  |  |                |                |
|  |  | <i>al aire</i> |                |
| Agua/m <sup>3</sup>  |  | 1,03E-03       | m <sup>3</sup> |
|  |  | <i>al agua</i> |                |
| Agua, ES   |  | 5,86E-03       | m <sup>3</sup> |

La proporción en kg de los dos tipos de combustible en el inventario es calculada considerando densidades para el diésel fósil de 0,837 kg/l y para el biodiésel de 0,892 kg/l [642].

Se considera el transporte de las materias primas desde cada uno de los países exportadores en los diferentes medios utilizados. Para la producción del diésel ultra bajo en azufre en España se considera un gasto adicional de energía de aproximadamente el 6,5% [649], utilizado para reducir el contenido de azufre a 10 ppm del diésel bajo en azufre de 50 ppm disponible en la base de datos de *Ecoinvent v3.4*. Para este diésel bajo en azufre de 50 ppm se utiliza un 6% de energía adicional para reducir el azufre del diésel convencional de 350 ppm [125].

Los inventarios específicos para la producción del Diésel {ES} ultra-bajo en azufre y el Éster metílico de aceite vegetal {ES} esterificación de diferentes aceites vegetales son presentados en el Anexo E.3.

#### 4.1.3.2.4. Inventario proceso de construcción de Carreteras

La mayor parte del recorrido desde Zaragoza a Almusafes es realizado por las autovías nacionales A-23 y A-7, las cuales son de doble calzada por sentido.

Para el cálculo de los impactos asociados a la construcción y reconstrucción de las carreteras identificadas, que serían asignados de manera proporcional al servicio de transporte específico evaluado, deberá realizarse el inventario del ciclo de vida de manera general con información a nivel país.

La fuente estadística que integra los datos más recientes para el desempeño del transporte de mercancías y de pasajeros en España es el reporte “Los Transportes y las Infraestructuras. Informe anual 2016” del Ministerio de Fomento publicado enero de 2018 [650]. Las estadísticas son recopiladas para la red de carreteras a cargo del Estado, de las Comunidades Autónomas y de las Diputaciones Provinciales y Cabildos, las cuales suman 165 483 km. Esta cifra se debe tener en cuenta para la asignación de impactos, dado que no se reportan datos para las carreteras a cargo de los ayuntamientos que suman 489 698 km, además de otros 11 355 km dependientes de otros organismos [650].

En este sentido, a través de la red de carreteras considerada, se movilizaron un total de 258 430 millones de tkm y 383 044 millones de pkm en 2016. Del total de pkm movilizadas, 5401 fue en motocicleta, 359 880 en vehículo turismo y 47 763 en autobús, en donde cada tipo de vehículo tuvo una ocupación media de 1,44, 1,68 y 23,55 pasajeros, respectivamente. En cuanto a los vehículos de transporte de mercancías, la carga media fue de 10,74 t [650].

A partir de los anteriores datos y del peso promedio y distribución de carga movilizada por tipo de vehículo en Europa del reporte de *Ecoinvent* [529], se obtiene que en 2016 se movilizaron aproximadamente 1 146 059 millones de Gtkm por los 165 483 km de carreteras considerados, Tabla IV.64.

**Tabla IV.64. Estimación del total de Gtkm y vkm anual en España\* por vehículos de transporte de mercancías y de pasajeros (estimación para el 2016)**

|  | Unidades                  | Vehículos mercancía | Vehículos pasajeros |          |           | Subtotal | TOTAL            |
|--|---------------------------|---------------------|---------------------|----------|-----------|----------|------------------|
|  |                           |                     | Motos               | Turismos | Autobuses |          |                  |
| Vehículo-kilómetro recorridos          | 10 <sup>6</sup> vkm       | 24 062              | 3751                | 196 357  | 2028      | 202 136  | <b>226 198</b>   |
| Carga-kilómetro transportadas          | 10 <sup>6</sup> tkm (pkm) | 258 430             | 5401                | 329 880  | 47 763    | 383 044  | -                |
| Peso neto promedio del vehículo        | t                         | 14,10               | 0,14                | 1,40     | 11,00     | 2,58     | -                |
| Carga promedio                         | t (p)                     | 10,74               | 1,44                | 1,68     | 23,55     | 1,89     | -                |
| Peso bruto promedio vehículo           | t                         | 24,84               | 1,58                | 3,08     | 34,55     | 2,71     | -                |
| Ratio Peso bruto/carga promedio        | %                         | 2,31                | 1,10                | 1,83     | 1,47      | 1,43     | -                |
| Toneladas brutas-kilómetro movilizadas | 10 <sup>6</sup> Gtkm      | 597 664             | 5 926               | 604 780  | 70 073    | 548 395  | <b>1 146 059</b> |

\*Excluyendo el tráfico por carreteras a cargo de Ayuntamientos (489 698 km) y otros organismos (11 355km)

Para la elaboración del inventario para la construcción y reconstrucción de carreteras, se considera la distribución de carreteras por tipo de la Tabla IV.65. Los resultados del inventario del ciclo de vida para la construcción de carreteras ajustado a la red vial y flujos energéticos y de materiales nacionales son presentados en la Tabla IV.66.

**Tabla IV.65. Distribución de la red vial de España por tipo de carretera [643]**

| Tipo de carretera | España * |            |
|-------------------|----------|------------|
|                   | Km       | Proporción |
| Autovía           | 17 109   | 10,34%     |
| Primaria          | 66 810   | 40,37%     |
| Secundaria        | 57 268   | 34,61%     |
| Terciaria         | 24 296   | 14,68%     |
| TOTAL             | 165 483  | 100,00%    |

\*Excluyendo carreteras a cargo de Ayuntamientos (489 698 km) y otros organismos (11 355km)

**Tabla IV.66. Inventario de ciclo de vida para la construcción y reconstrucción de carreteras por metro-año, incluyendo túneles y puentes caso España**

| Entradas  | Cantidad | Unidad           |
|---|----------|------------------|
| Hormigón, para construcción de carreteras {ES}, en mercado              | 1,26E-02 | m <sup>3</sup>   |
| Compuesto adhesivo de betún, caliente {ES}, en mercado                  | 4,93E+00 | kg               |
| Grava, triturada {ES}, en mercado                                       | 1,54E+02 | kg               |
| Electricidad, medio voltaje {ES}, en mercado                            | 1,48E+00 | kWh              |
| Diésel, utilizado en maquinaria {ES}, en mercado                        | 5,89E+01 | MJ               |
| Excavación, mini cargadora {ES}, proceso                                | 3,54E-01 | m <sup>3</sup>   |
| Transporte de mercancías, camión 16-32 toneladas, genérico a EUROS {ES} | 6,56E+00 | tkm              |
| Acero, de baja aleación, laminado en caliente {ES}, en mercado          | 3,14E-01 | kg               |
| Acero reforzado {ES}, en mercado  | 1,76E+00 | kg               |
| Salidas   |          |                  |
| <i>Uso de suelos</i>  |          |                  |
| Ocupación, área de tráfico, terraplén de la carretera                   | 2,11E+00 | m <sup>2</sup> a |
| Ocupación, área de tráfico, red de carreteras                           | 7,89E+00 | m <sup>2</sup> a |
| Transformación, de desconocido  | 1,41E-02 | m <sup>2</sup>   |
| Transformación, al área de tráfico, red de carreteras                   | 9,37E-03 | m <sup>2</sup>   |
| Transformación, al área de tráfico, terraplén de la carretera           | 5,20E-03 | m <sup>2</sup>   |
| <i>Emisiones al aire</i>  |          |                  |
| COVDM   | 5,97E-02 | kg               |
| MP, > 10um  | 1,89E-03 | kg               |
| MP, >2,5 um, y < 10um   | 4,83E-04 | kg               |
| Calor residual  | 5,33E+00 | MJ               |
| <i>Residuos</i>   |          |                  |
| Residuos inertes, para disposición final {ES}, en el mercado            | 1,90E+01 | kg               |

El factor de asignación de impactos del ciclo de vida de la construcción y reconstrucción de carreteras a cada Gtkm transportado en España, es igual a 1,44E-4 (165 483 E+03/1 146 059 E+06 Gtkm). De esta manera, dado que en el servicio evaluado se movilizan 19 250 Gtkm (ida y vuelta), el factor de asignación al ciclo de vida del servicio es igual a 2,51. Por otra parte, el factor de asignación de impactos de la operación y mantenimiento de carreteras de la Tabla IV.62, asignado por vkm al servicio evaluado, es igual a 0,508.

#### 4.1.3.2.5. Inventario proceso de Fin de Vida

Las actividades incluidas en la etapa de Fin de Vida del sistema del transporte son las relacionadas con el desmantelamiento del vehículo y de las carreteras, utilizando la información para los correspondientes inventarios para estas actividades las mismas fuentes para cada proceso.

Para el inventario de ciclo de vida para las actividades de desmantelamiento del camión, se asume el completo reciclado del acero, aluminio y cobre. Se considera una distancia media de

15 km de la empresa de transporte a una de las plantas de desmantelamiento de la provincia de Zaragoza, para el transporte de 895 kg, correspondientes a la fracción del camión que no sería reciclada. Para cada uno de los procesos de disposición final y/o tratamiento de residuos se considera una distancia media de 20 km al sitio de tratamiento, incineración o al vertedero, Tabla IV.67.

**Tabla IV.67. Inventario de ciclo de vida para el desmantelamiento del camión de 40 t caso España**

| Entradas  | Cantidad | Unidad |
|---|----------|--------|
| Transporte de mercancías, camión 16-32 toneladas, genérico a EURO5 {ES} | 1,34E+01 | tkm    |
| Salidas   |          |        |
| Residual emulsiones de pintura {ES}, en mercado                         | 1,02E+02 | kg     |
| Residuos de vidrio {ES}, en mercado                                     | 1,15E+02 | kg     |
| Residuos de aceite mineral {ES}, en mercado                             | 3,78E+01 | kg     |
| Residuos de plástico, mezcla {ES}, en mercado                           | 5,89E+02 | kg     |
| Residuos de Zinc de la trituración de automóviles {ES}, en mercado      | 5,12E+01 | kg     |

El factor de asignación del inventario del fin de vida del vehículo es el mismo utilizado para el inventario de la fabricación del vehículo, igual a 5,72E-04.

Para el desmantelamiento de carreteras y su disposición final de materiales, se asume un completo reciclado/reutilización de todos los materiales. Por consiguiente, solo son consideradas las actividades de excavación y el transporte del 80% de los residuos a los sitios de utilización o plantas de reciclaje con distancias superiores a 20 km [529], Tabla IV.68.

**Tabla IV.68. Inventario de ciclo de vida para el desmantelamiento de carreteras por metro·año caso España**

| Entradas  | Cantidad | Unidad         |
|---|----------|----------------|
| Excavación, mini cargadora {ES}, proceso                                | 9,76E-02 | m <sup>3</sup> |
| Transporte de mercancías, camión 16-32 toneladas, genérico a EURO5 {ES} | 6,14E-01 | tkm            |

El factor de asignación del inventario del fin de vida de las carreteras es el mismo utilizado para el inventario de la construcción de carreteras, igual a 2,78.

#### 4.1.3.3. Evaluación de impactos

Con el fin de llevar a cabo los seis pasos definidos para esta fase de evaluación de impactos se utilizan los métodos ReCiPe 2008 y 2016 para este ACV. Los datos modelados mediante la herramienta *SimaPro 8.5.0* y la base de datos *Ecoinvent v3.4*.

##### 4.1.3.3.1. Clasificación

Para este ACV se incluyen las 18 categorías utilizadas por cada método, presentadas en la Tabla III.16.

##### 4.1.3.3.2. Caracterización

Para realizar la caracterización de resultados por cada método se utiliza la perspectiva jerárquica. De esta manera, los resultados para el transporte de 10 t de mercancía de Zaragoza a Almusafes en camión articulado de 40 t Euro VI, incluyendo regreso en vacío, en sus

unidades originales mediante el método ReCiPe 2008 se presentan en la Tabla IV.69 y mediante el método ReCiPe 2016 se presentan en la Tabla IV.70, mientras que la contribución porcentual de cada uno de los procesos del sistema para cada método se presentan en la Figura IV.33 y Figura IV.34.

**Tabla IV.69. Resultados de caracterización método ReCiPe 2008 midpoints caso España**

| Categoría de impacto                | Unidad                 | Total sistema   | Tráfico  | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|-------------------------------------|------------------------|-----------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Cambio Climático                    | kg CO <sub>2</sub> eq  | <b>8,02E+02</b> | 5,81E+02 | 2,76E+01             | 1,26E+02               | 6,23E+01                | 4,98E+00    |
| Agotamiento del ozono               | kg CFC-11 eq           | <b>1,25E-04</b> | 5,06E-06 | 1,98E-06             | 1,05E-04               | 1,27E-05                | 9,45E-08    |
| Radiación Ionizante                 | kBq U235 eq            | <b>4,13E+01</b> | 8,99E+00 | 1,79E+00             | 2,37E+01               | 6,75E+00                | 4,46E-02    |
| Formación de material particulado   | kg MP <sub>10</sub> eq | <b>7,32E-01</b> | 2,12E-01 | 9,09E-02             | 2,77E-01               | 1,50E-01                | 1,50E-03    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos | kg COVDM               | <b>1,79E+00</b> | 4,45E-01 | 1,26E-01             | 6,93E-01               | 5,19E-01                | 4,33E-03    |
| Acidificación terrestre             | kg SO <sub>2</sub> eq  | <b>1,52E+00</b> | 3,69E-01 | 1,39E-01             | 7,32E-01               | 2,79E-01                | 2,89E-03    |
| Eutrofización de agua dulce         | kg P eq                | <b>6,03E-02</b> | 1,00E-02 | 2,15E-02             | 1,05E-02               | 1,80E-02                | 3,01E-04    |
| Eutrofización marina                | kg N eq                | <b>3,18E-01</b> | 1,87E-02 | 7,99E-03             | 2,76E-01               | 1,46E-02                | 2,67E-04    |
| Ecotoxicidad terrestre              | kg 1,4-DB eq           | <b>5,36E+00</b> | 3,36E-02 | 6,09E-03             | 5,28E+00               | 3,84E-02                | 2,01E-03    |
| Ecotoxicidad de agua dulce          | kg 1,4-DB eq           | <b>3,83E+00</b> | 4,72E-01 | 1,14E+00             | 1,35E+00               | 6,89E-01                | 1,79E-01    |
| Ecotoxicidad marina                 | kg 1,4-DB eq           | <b>3,03E+00</b> | 6,66E-01 | 1,07E+00             | 4,95E-01               | 6,57E-01                | 1,46E-01    |
| Toxicidad humana                    | kg 1,4-DB eq           | <b>9,09E+01</b> | 1,74E+01 | 3,41E+01             | 1,43E+01               | 2,41E+01                | 1,04E+00    |
| Ocupación de tierras agrícolas      | m <sup>2</sup> a       | <b>3,37E+01</b> | 3,61E+00 | 9,00E-01             | 2,82E+01               | 1,01E+00                | 1,99E-02    |
| Ocupación de suelo urbano           | m <sup>2</sup> a       | <b>2,78E+01</b> | 2,70E-01 | 3,47E-01             | 1,10E+00               | 2,61E+01                | 2,54E-02    |
| Transformación de terreno natural   | m <sup>2</sup>         | <b>5,92E-01</b> | 9,25E-03 | 4,62E-03             | 5,33E-01               | 4,44E-02                | 1,55E-04    |
| Agotamiento de recursos minerales   | kg Fe eq               | <b>3,51E+01</b> | 2,50E+00 | 1,50E+01             | 2,52E+00               | 1,50E+01                | 3,63E-02    |
| Agotamiento de combustibles fósiles | kg petróleo eq         | <b>2,47E+02</b> | 1,36E+01 | 7,93E+00             | 1,99E+02               | 2,59E+01                | 1,83E-01    |
| Consumo de agua                     | m <sup>3</sup>         | <b>2,85E+00</b> | 6,54E-01 | 2,36E-01             | 1,46E+00               | 4,94E-01                | 3,91E-03    |

**Tabla IV.70. Resultados de caracterización método ReCiPe 2016 midpoints caso España**

| Categoría de impacto                              | Unidad                      | Total sistema   | Tráfico  | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|---|-----------------------------|-----------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Cambio climático                                  | kg CO <sub>2</sub> eq       | <b>8,13E+02</b> | 5,82E+02 | 2,87E+01             | 1,33E+02               | 6,34E+01                | 4,99E+00    |
| Agotamiento del ozono estratosférico              | kg CFC11 eq                 | <b>3,89E-04</b> | 6,89E-05 | 8,78E-06             | 2,82E-04               | 2,89E-05                | 6,79E-07    |
| Radiación ionizante                               | kBq Co-60 eq                | <b>1,65E+01</b> | 7,23E+00 | 1,39E+00             | 4,78E+00               | 3,06E+00                | 2,49E-02    |
| Formación de material particulado                 | kg MP <sub>2,5</sub> eq     | <b>5,57E-01</b> | 1,49E-01 | 6,13E-02             | 2,41E-01               | 1,05E-01                | 1,03E-03    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos: salud humana | kg NO <sub>x</sub> eq       | <b>1,08E+00</b> | 3,45E-01 | 7,07E-02             | 3,59E-01               | 3,03E-01                | 3,64E-03    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos: ecosistemas  | kg NO <sub>x</sub> eq       | <b>1,16E+00</b> | 3,52E-01 | 7,51E-02             | 3,98E-01               | 3,29E-01                | 3,71E-03    |
| Acidificación terrestre                           | kg SO <sub>2</sub> eq       | <b>1,29E+00</b> | 2,90E-01 | 1,26E-01             | 6,50E-01               | 2,25E-01                | 2,17E-03    |
| Eutrofización de agua dulce                       | kg P eq                     | <b>5,99E-02</b> | 9,96E-03 | 2,15E-02             | 1,02E-02               | 1,80E-02                | 3,01E-04    |
| Eutrofización marina                              | kg N eq                     | <b>7,89E-02</b> | 9,37E-04 | 1,30E-03             | 7,55E-02               | 1,12E-03                | 3,58E-05    |
| Ecotoxicidad terrestre                            | kg 1,4-DCB                  | <b>1,61E+03</b> | 1,09E+03 | 2,29E+02             | 1,12E+02               | 1,67E+02                | 7,02E+00    |
| Ecotoxicidad de agua dulce                        | kg 1,4-DCB                  | <b>1,58E+01</b> | 9,91E-01 | 7,06E+00             | 9,31E-01               | 2,32E+00                | 4,53E+00    |
| Ecotoxicidad marina                               | kg 1,4-DCB                  | <b>2,29E+01</b> | 1,81E+00 | 9,96E+00             | 1,44E+00               | 3,33E+00                | 6,42E+00    |
| Toxicidad humana cancerígena                      | kg 1,4-DCB                  | <b>2,00E+01</b> | 1,54E+00 | 7,57E+00             | 1,81E+00               | 9,01E+00                | 5,67E-02    |
| Toxicidad humana no cancerígena                   | kg 1,4-DCB                  | <b>5,52E+02</b> | 3,08E+01 | 2,45E+02             | 2,66E+01               | 7,33E+01                | 1,76E+02    |
| Uso de suelos                                     | m <sup>2</sup> a cultivo eq | <b>7,06E+01</b> | 1,34E+00 | 6,59E-01             | 4,89E+01               | 1,96E+01                | 3,78E-02    |
| Agotamiento de recursos minerales                 | kg Cu eq                    | <b>1,83E+00</b> | 1,57E-01 | 8,09E-01             | 1,53E-01               | 7,07E-01                | 1,91E-03    |
| Agotamiento de combustibles fósiles               | kg petróleo eq              | <b>2,38E+02</b> | 1,33E+01 | 7,70E+00             | 1,92E+02               | 2,50E+01                | 1,77E-01    |
| Consumo de agua                                   | m <sup>3</sup>              | <b>3,03E+00</b> | 6,64E-01 | 2,40E-01             | 1,60E+00               | 5,12E-01                | 4,04E-03    |

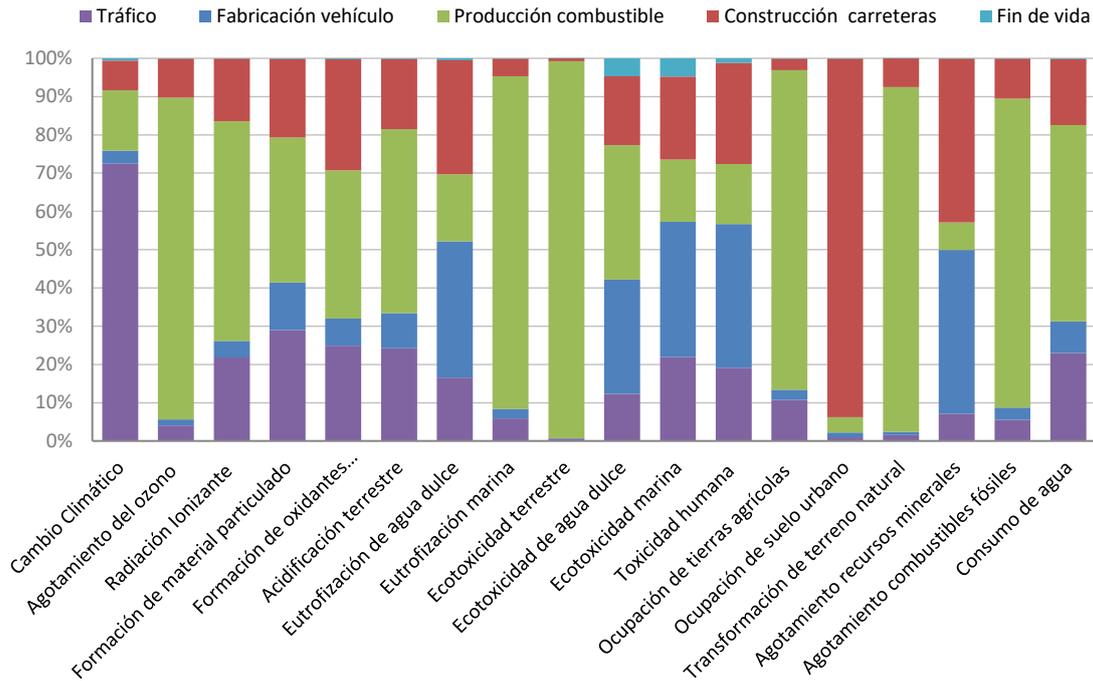


Figura IV.33. Contribución procesos en resultados de caracterización método ReCiPe 2008 *midpoints* caso España

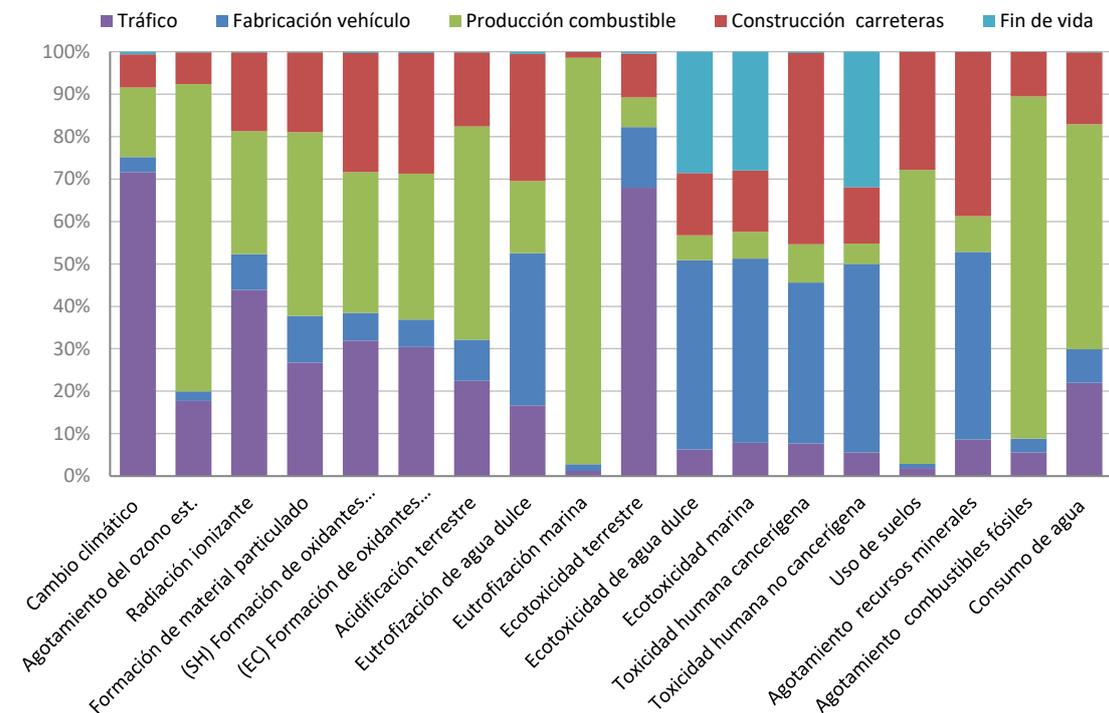


Figura IV.34. Contribución procesos en resultados de caracterización método ReCiPe 2016 *midpoints* caso España

#### 4.1.3.3.3. Normalización *midpoints*

Para este paso de la fase de evaluación de impactos únicamente son presentados los resultados de la caracterización normalizados mediante el método ReCiPe 2008 perspectiva global y jerárquica en la Figura IV.35.

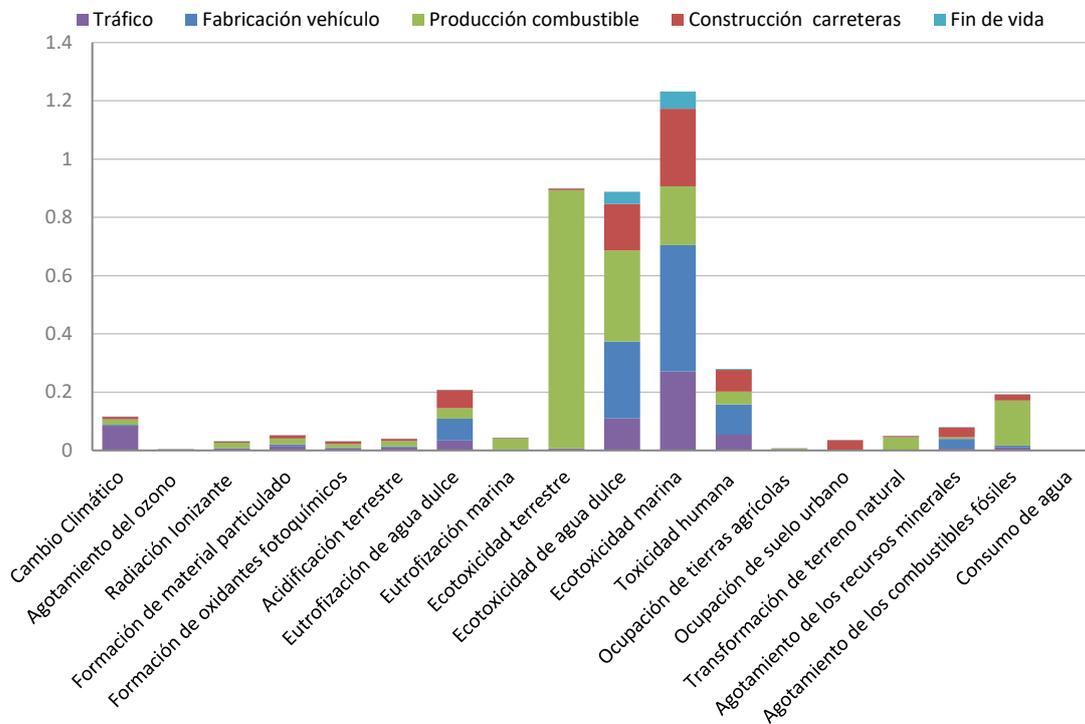


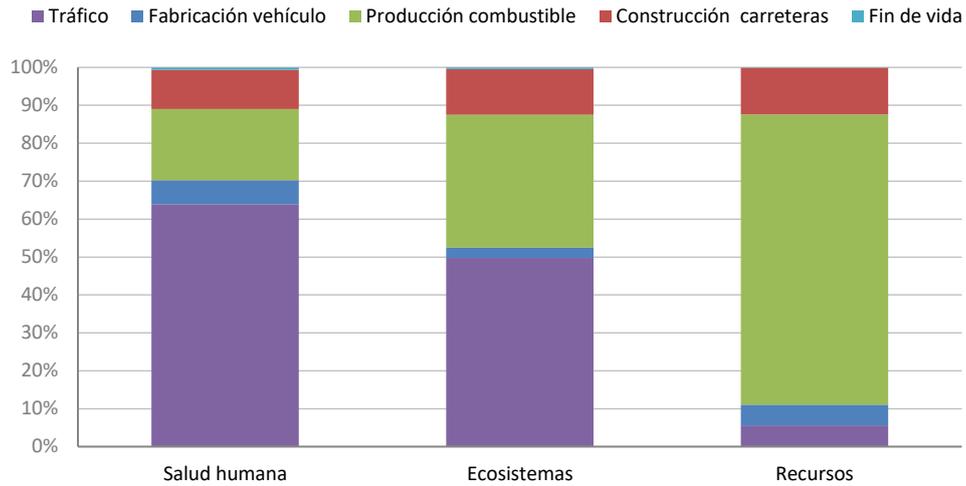
Figura IV.35. Resultados de caracterización normalizados método ReCiPe 2008 *midpoints* caso España

#### 4.1.3.3.4. Agregación

En este paso se convierten los resultados de la caracterización de cada categoría de impacto a unidades comunes para las tres categorías de daño final. Los resultados agregados con la perspectiva global y jerárquica por el método ReCiPe 2008 se presentan en la Tabla IV.71 y Figura IV.36 y por el método ReCiPe 2016 en la Tabla IV.72 y Figura IV.37.

Tabla IV.71. Resultados agregados método ReCiPe 2008 *endpoints* caso España

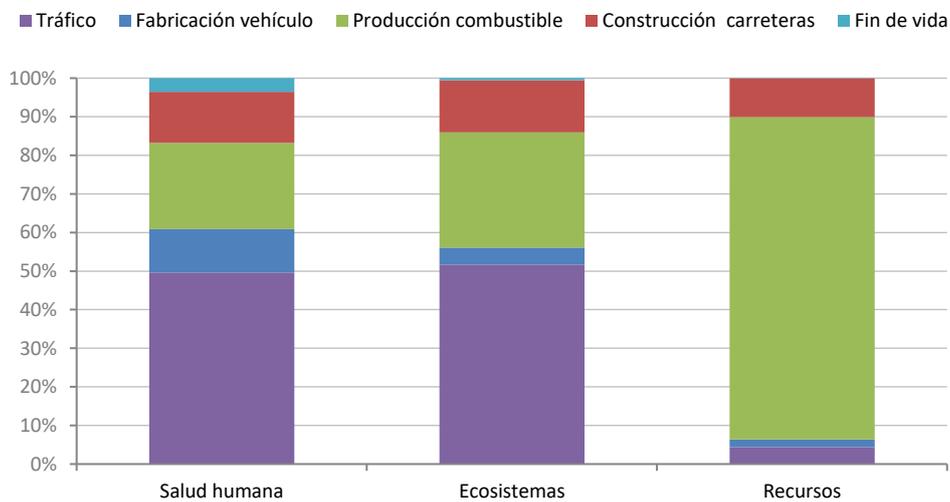
| Categorías de daño | Unidad         | Total sistema   | Tráfico  | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|--------------------|----------------|-----------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Salud humana       | DALYs          | <b>1,38E-03</b> | 8,81E-04 | 8,62E-05             | 2,59E-04               | 1,43E-04                | 8,08E-06    |
| Ecosistemas        | especies-año   | <b>9,40E-06</b> | 4,68E-06 | 2,49E-07             | 3,29E-06               | 1,14E-06                | 4,11E-08    |
| Recursos           | Dólares (2013) | <b>4,34E+01</b> | 2,43E+00 | 2,38E+00             | 3,32E+01               | 5,36E+00                | 3,28E-02    |



**Figura IV.36. Contribución procesos en resultados agregados método ReCiPe 2008 endpoints caso España**

**Tabla IV.72. Resultados agregados método ReCiPe 2016 endpoints caso España**

| Categorías de daño | Unidad         | Total sistema   | Tráfico  | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|--------------------|----------------|-----------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Salud humana       | DALYs          | <b>1,30E-03</b> | 6,48E-04 | 1,47E-04             | 2,91E-04               | 1,73E-04                | 4,57E-05    |
| Ecosistemas        | Especies-año   | <b>3,44E-06</b> | 1,78E-06 | 1,49E-07             | 1,03E-06               | 4,64E-07                | 1,94E-08    |
| Recursos           | Dólares (2013) | <b>1,03E+02</b> | 4,50E+00 | 2,06E+00             | 8,59E+01               | 1,03E+01                | 7,32E-02    |



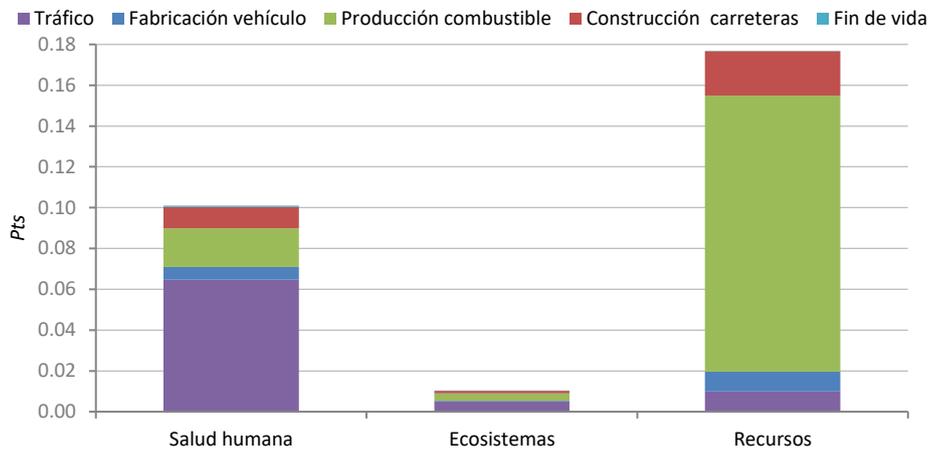
**Figura IV.37. Contribución procesos en resultados agregados método ReCiPe 2016 endpoints caso España**

#### 4.1.3.3.5. Normalización endpoints

Para este paso de la fase de evaluación de impactos únicamente son presentados los resultados de la agregación de impactos normalizados mediante el método ReCiPe 2008 en la Tabla IV.73 y Figura IV.38.

**Tabla IV.73. Normalización resultados agregados método ReCiPe 2008 endpoints caso España**

| Categorías de daño | Total sistema | Tráfico  | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|--------------------|---------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Salud humana       | 1,01E-01      | 6,46E-02 | 6,32E-03             | 1,90E-02               | 1,05E-02                | 5,93E-04    |
| Ecosistemas        | 1,02E-02      | 5,10E-03 | 2,72E-04             | 3,59E-03               | 1,24E-03                | 4,48E-05    |
| Recursos           | 1,77E-01      | 9,92E-03 | 9,73E-03             | 1,35E-01               | 2,19E-02                | 1,34E-04    |



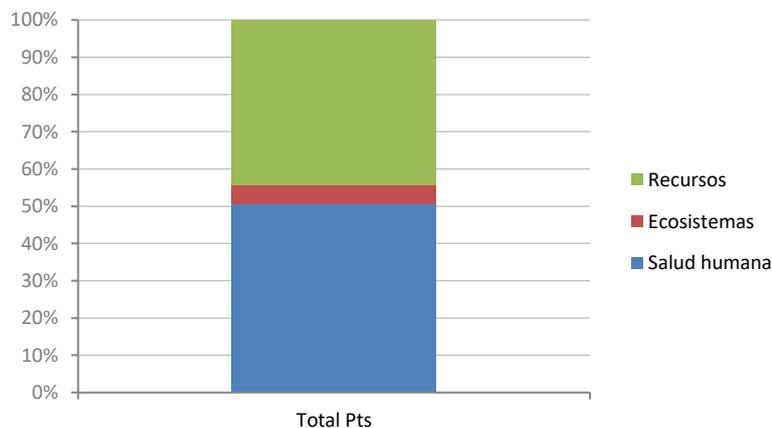
**Figura IV.38. Normalización resultados agregados método ReCiPe 2008 endpoints caso España**

#### 4.1.3.3.6. Ponderación

Para este ACV, dado que la ponderación de *endpoints* se obtiene a partir de los resultados normalizados, únicamente se realiza para los resultados del método ReCiPe 2008. Los resultados calculados mediante los factores de ponderación para la perspectiva promedio se presentan en la Tabla IV.74 y en las Figuras IV.39, IV.40 y IV.41.

**Tabla IV.74. Resultados de la ponderación método ReCiPe 2008 endpoints caso España**

| Categorías de daño | Unidad | Total sistema | Tráfico | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|--------------------|--------|---------------|---------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Salud humana       | Pt     | 40,40         | 25,84   | 2,53                 | 7,59                   | 4,20                    | 0,237       |
| Ecosistemas        | Pt     | 4,10          | 2,04    | 0,11                 | 1,44                   | 0,50                    | 0,018       |
| Recursos           | Pt     | 35,38         | 1,98    | 1,95                 | 27,05                  | 4,37                    | 0,027       |
| TOTAL              | Pt     | 79,88         | 29,87   | 4,58                 | 36,08                  | 9,07                    | 0,282       |



**Figura IV.39. Resultados de la ponderación método ReCiPe 2008 endpoints caso España**

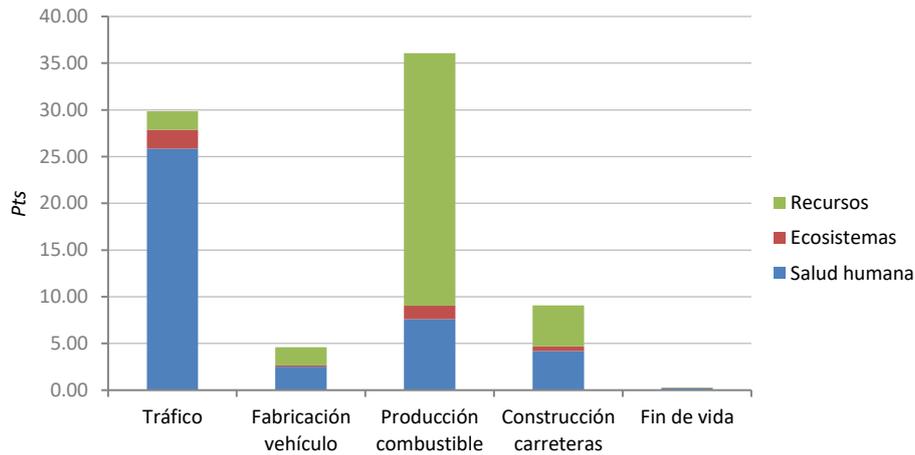


Figura IV.40. Contribución por proceso a los daños finales método ReCiPe 2008 *endpoints* caso España

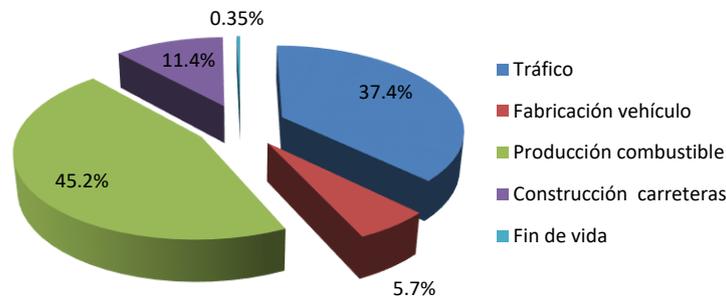


Figura IV.41. Contribución por proceso al impacto medioambiental total del sistema caso España

#### 4.1.3.4. Interpretación de resultados

##### Identificación de aspectos relevantes

El servicio de transporte de 10 t de mercancías en camión articulado de PBV de 40 t desde Zaragoza a Almusafes obtiene un indicador de impacto medioambiental total de 79,9 Pts, es decir, 23 mPts por tkm transportada. De este impacto total, se encuentra que el 45,2% es generado por el proceso de Producción de Combustibles, el 37,4% por el proceso de Tráfico, el 11,4 % por la Construcción de carreteras y el 5,7% por la Fabricación del vehículo.

Analizando el impacto medioambiental desde el punto de vista de la afectación a la disponibilidad de recursos, el 76% de la responsabilidad es del proceso de Producción de Combustibles, mientras que desde el punto de vista de la afectación a la salud humana, el 64% de la responsabilidad recae en el proceso de Tráfico; Tabla IV.69. Desde el punto de vista de los Ecosistemas, el cual es afectado muy levemente (5,1%) respecto al total del sistema del transporte, el 50% de la afectación a estos ecosistemas es responsabilidad del proceso de Tráfico y el 35% en el proceso de Producción de Combustibles.

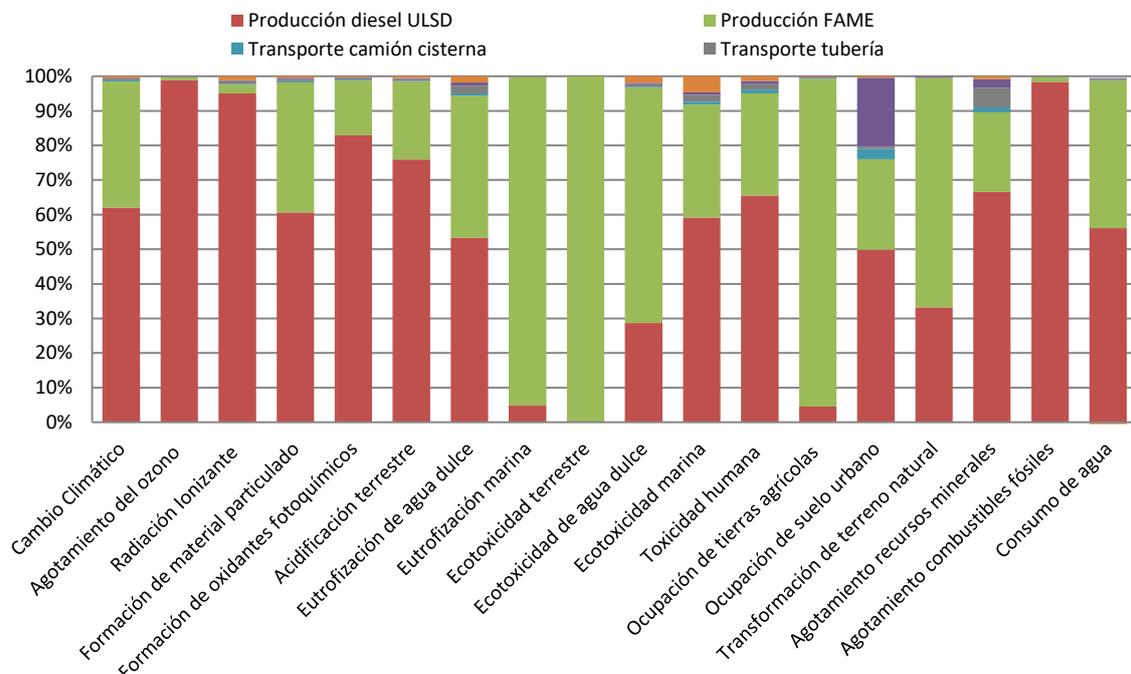
De los resultados de la caracterización para las 18 categorías de impacto evaluadas por el método ReCiPe 2008, el proceso de Tráfico es el de mayor contribución solamente en la categoría de Cambio Climático, con un 72% de participación; Figura IV.33.

Por otro lado, el proceso de Producción de Combustibles es el de mayor contribución en 12 categorías evaluadas por el método ReCiPe 2008. Entre estas categorías de impacto, el proceso de Producción de Combustibles afecta principalmente en la Ecotoxicidad Terrestre (99%), la Transformación de la Tierra Natural (90%), Eutrofización Marina (87%), Ocupación de Tierras Agrícolas (84%) y Agotamiento del Ozono (84%).

El proceso de Construcción de Carreteras tiene una alta contribución en la categoría de Ocupación de Suelo Urbano (94%) y en el Agotamiento de recursos Minerales (43%). En cuanto al proceso de Fabricación del Vehículo, este también tiene alta responsabilidad en varias categorías de impacto, principalmente en el Agotamiento de recursos minerales (43%), Toxicidad humana (38%) y en la Eutrofización del Agua Dulce (35%), Figura IV.33.

Analizando los resultados de la caracterización normalizados para cada categoría de impacto en la Figura IV.35, se observa que el servicio de transporte de mercancías tiene una mayor afectación relativa en las categorías de Ecotoxicidad Marina, Ecotoxicidad de Agua Dulce y la Ecotoxicidad Terrestre. El proceso de Producción de Combustibles es el principal responsable en la Ecotoxicidad Terrestre debido a la producción del aceite de palma para el 5% de FAME incluido en el diésel en España. En las categorías de Ecotoxicidad de Agua Dulce y Marina, el proceso de Fabricación del Vehículo tiene una alta contribución, debido al uso de minerales como cobre, níquel, zinc y manganeso.

En las 12 categorías de impacto en donde la Producción de Combustibles es el principal contribuyente, en la mayoría de ellas es debido al FAME usado en el combustible. Además, el uso del 5% de FAME aumenta el impacto de la producción del combustible en algunas categorías; por ejemplo, la producción del FAME es responsable del 36% del total de emisiones de 0,7 kg de CO<sub>2</sub> eq de la producción del diésel B5 utilizado, Figura IV.42.



**Figura IV.42. Contribución de actividades en resultados de caracterización para el proceso Producción combustible (1 kg diésel B5), ReCiPe 2008 *midpoints* caso España**

Al reemplazar el 5% del diésel fósil por el biodiésel FAME utilizado en España, son reemplazados 0,0229 kg de CO<sub>2</sub> eq por 0,255 kg de CO<sub>2</sub> eq. Del total de CO<sub>2</sub> eq que la mezcla del 5% de biodiésel le aumenta al diésel utilizado en España, el 70% corresponden al FAME producido a partir de palma de Indonesia, ya que esta es la principal materia prima con un 58% de participación. El restante 30% de CO<sub>2</sub> eq es aportado por las demás materias primas como el aceite de palma de Malasia y la soja de Brasil y Paraguay.

La producción de 1 kg de FAME en España a partir de aceite crudo de palma de Indonesia genera 5,12 kg CO<sub>2</sub> eq, mientras que la producción de un 1 kg de diésel ultra bajo en azufre genera 0,458 kg de CO<sub>2</sub> eq; calculados con el método ReCiPe 2008.

Básicamente, este exceso de emisiones de CO<sub>2</sub> eq por la producción de aceite de palma de Indonesia, se debe a la transformación de suelos. A diferencia de otros cultivos energéticos para producción de biodiésel en donde la mayor parte de cultivos se han establecido en suelos con cultivos ya existentes o en pastizales, en Indonesia, gran parte de las plantaciones de palma se han establecido en los últimos años en bosques tropicales y de turba, cuya preparación para el cultivo libera gran cantidad de CO<sub>2</sub> [622,651].

#### Verificación de los resultados

Las diferencias en los métodos de caracterización utilizados en ReCiPe 2008 frente a los utilizados en el método actualizado ReCiPe 2016, se dan básicamente en las categorías relacionadas con la Toxicidad, ya que en el método actualizado se da mayor relevancia a las emisiones de partículas metálicas generadas durante la operación del vehículo y en la fabricación, desmantelamiento y disposición final del vehículo. Es por esto que en los resultados de la caracterización con el método ReCiPe 2016, el proceso de Tráfico pasa a ser el principal contribuyente en 3 categorías de impacto, Figura IV.34.

En las categorías de impacto más relevantes en estudios relacionados con el transporte como son las de Cambio Climático, Agotamiento del Ozono, Formación de Material Particulado, Formación de Oxidantes Fotoquímicos y la Acidificación Terrestre, no hay diferencias importantes; Figura IV.33 y Figura IV.34.

La contabilización del CO<sub>2</sub> absorbido por los cultivos de palma por cambiar de cultivos anuales a perennes considerada en el método ReCiPe 2008 no afecta en este caso a estudio, ya que se utiliza aceite de palma de países en donde se ha cultivado en suelos donde habían cultivos de palma anteriores o bosques. Por esto, la diferencia en los resultados de la caracterización no es muy significativa. Por ejemplo, para la categoría de Cambio Climático, la producción y distribución de 1 kg de diésel B5 generaría 0,70 kg de CO<sub>2</sub> eq calculado por el método ReCiPe 2008, o 0,74 kg de CO<sub>2</sub> eq calculado por el método ReCiPe 2016.

Los resultados de la caracterización normalizados con el método ReCiPe 2008 se han presentado bajo la perspectiva Global y no Europea, ya que mediante esta última se mostraba un impacto relativo muy alto en la categoría de Transformación de Terreno Natural respecto a las demás categorías, debido al uso de FAME en el combustible. Sin embargo, como la mayor parte de las materias primas para el FAME no es cultivada en Europa, la presentación de estos resultados normalizados bajo la perspectiva europea no sería válida.

### Conclusiones y recomendaciones

Para el ACV del servicio de transporte evaluado en España el principal responsable es el proceso de Producción de Combustibles, cuyas contribuciones a este impacto total dependen de los factores de ponderación utilizados en el método de evaluación.

Estos resultados finales dependen también de los factores de caracterización y normalización usados en cada método. Los resultados han sido obtenidos por el método ReCiPe 2008, deben ser tomados como una aproximación a los impactos potenciales reales y usados solamente a modo de comparación con otros ACV.

De una forma más representativa, los resultados de la caracterización del servicio evaluado son presentados por tkm para cada categoría de impacto en la Tabla IV.75.

**Tabla IV.75. Resultados de caracterización método ReCiPe 2016 *midpoints* por tkm caso España**

| Categoría de impacto                              | Unidad                      | Total sistema   | Tráfico  | Fabricación vehículo | Producción combustible | Construcción carreteras | Fin de vida |
|---|-----------------------------|-----------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|-------------|
| Cambio climático                                  | kg CO <sub>2</sub> eq       | <b>1,05E+00</b> | 7,52E-01 | 3,71E-02             | 1,72E-01               | 8,19E-02                | 6,44E-03    |
| Agotamiento del ozono estratosférico              | kg CFC11 eq                 | <b>5,03E-07</b> | 8,90E-08 | 1,13E-08             | 3,65E-07               | 3,73E-08                | 8,77E-10    |
| Radiación ionizante                               | kBq Co60eq                  | <b>2,13E-02</b> | 9,35E-03 | 1,80E-03             | 6,17E-03               | 3,96E-03                | 3,22E-05    |
| Formación de material particulado                 | kg MP <sub>2,5</sub> eq     | <b>7,20E-04</b> | 1,92E-04 | 7,91E-05             | 3,12E-04               | 1,35E-04                | 1,33E-06    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos: salud humana | kg NOx eq                   | <b>1,40E-03</b> | 4,46E-04 | 9,13E-05             | 4,64E-04               | 3,91E-04                | 4,70E-06    |
| Formación de oxidantes fotoquímicos: ecosistemas  | kg NOx eq                   | <b>1,50E-03</b> | 4,55E-04 | 9,71E-05             | 5,14E-04               | 4,25E-04                | 4,79E-06    |
| Acidificación terrestre                           | kg SO <sub>2</sub> eq       | <b>1,67E-03</b> | 3,75E-04 | 1,62E-04             | 8,40E-04               | 2,91E-04                | 2,80E-06    |
| Eutrofización de agua dulce                       | kg P eq                     | <b>7,73E-05</b> | 1,29E-05 | 2,78E-05             | 1,31E-05               | 2,32E-05                | 3,89E-07    |
| Eutrofización marina                              | kg N eq                     | <b>1,02E-04</b> | 1,21E-06 | 1,68E-06             | 9,76E-05               | 1,45E-06                | 4,63E-08    |
| Ecotoxicidad terrestre                            | kg 1,4-DCB                  | <b>2,08E+00</b> | 1,41E+00 | 2,96E-01             | 1,45E-01               | 2,15E-01                | 9,07E-03    |
| Ecotoxicidad de agua dulce                        | kg 1,4-DCB                  | <b>2,05E-02</b> | 1,28E-03 | 9,12E-03             | 1,20E-03               | 3,00E-03                | 5,85E-03    |
| Ecotoxicidad marina                               | kg 1,4-DCB                  | <b>2,96E-02</b> | 2,33E-03 | 1,29E-02             | 1,86E-03               | 4,30E-03                | 8,29E-03    |
| Toxicidad humana cancerígena                      | kg 1,4-DCB                  | <b>2,58E-02</b> | 1,99E-03 | 9,78E-03             | 2,34E-03               | 1,16E-02                | 7,33E-05    |
| Toxicidad humana no cancerígena                   | kg 1,4-DCB                  | <b>7,13E-01</b> | 3,98E-02 | 3,16E-01             | 3,43E-02               | 9,47E-02                | 2,28E-01    |
| Uso de suelos                                     | m <sup>2</sup> a cultivo eq | <b>9,12E-02</b> | 1,74E-03 | 8,51E-04             | 6,32E-02               | 2,53E-02                | 4,88E-05    |
| Agotamiento de recursos minerales                 | kg Cu eq                    | <b>2,36E-03</b> | 2,03E-04 | 1,05E-03             | 1,98E-04               | 9,14E-04                | 2,46E-06    |
| Agotamiento de combustibles fósiles               | kg oil eq                   | <b>3,08E-01</b> | 1,72E-02 | 9,94E-03             | 2,48E-01               | 3,23E-02                | 2,28E-04    |
| Consumo de agua                                   | m <sup>3</sup>              | <b>3,91E-03</b> | 8,58E-04 | 3,11E-04             | 2,07E-03               | 6,62E-04                | 5,23E-06    |

Para este servicio de transporte en España, el principal responsable de las emisiones de SO<sub>2</sub> eq es el proceso de Producción de Combustibles, mientras que en estudios similares elaborados para Europa [53] y para Norteamérica [422] los principales responsables eran la Fabricación del Vehículo y la Construcción de Carreteras. Sin embargo, en los estudios citados se hace referencia a las emisiones de SO<sub>2</sub> mientras que en este ACV la Acidificación Terrestre hace referencia a las emisiones de SO<sub>2</sub> equivalente. Del total de SO<sub>2</sub> eq generado por la producción y distribución del diésel B5 en Zaragoza, el 70% se deben a las emisiones de SO<sub>2</sub> y el 16,4% a emisiones de NOx, ambas principalmente de la producción del diésel fósil.

Del resultado agregado del sistema, se observa que el proceso de Construcción de Carreteras contribuye en un porcentaje poco despreciable del 11,4%, Figura IV.41. Esto se debe a que una alta proporción de los km de carreteras en España a cargo del Ministerio de Fomento corresponden a autovías, las cuales presentan un volumen de tráfico por km de carretera relativamente bajo frente a otros países, por lo cual, la asignación de los impactos asociados a

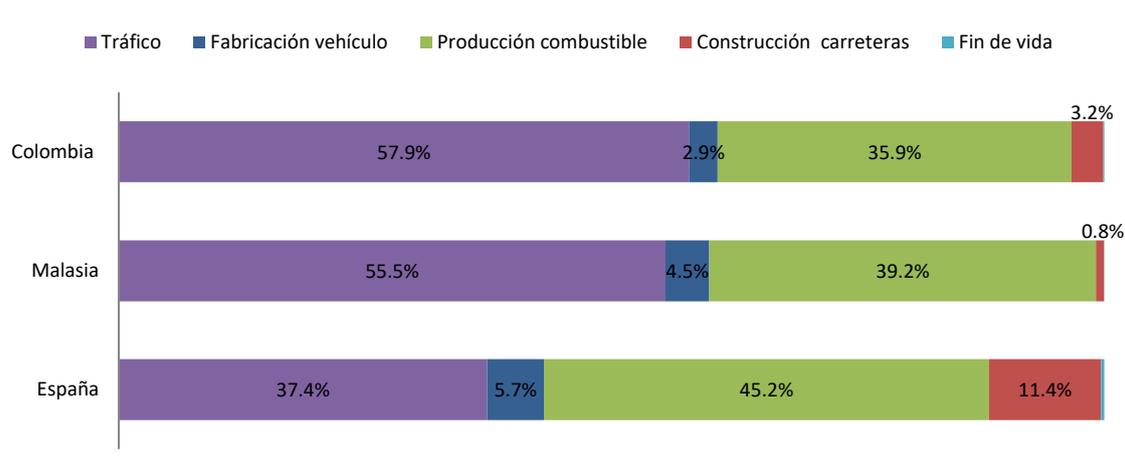
la construcción y rehabilitación de carreteras a cada tkm transportado es considerable. Sin embargo, este impacto de las carreteras es compensado con menores consumos de combustible.

A partir de la evaluación de los principales impactos asociados a cada proceso del sistema del transporte, se puede concluir que el proceso que tiene afectación importante y en el cual la toma de decisiones de la empresa puede influir para mejorar el impacto global del servicio, es el cambio del combustible utilizado. La opción más rápida, pero que implica más inversión sería en cambiar la tecnología de propulsión del vehículo para que pueda funcionar con un combustible diferente al diésel convencional (B5) o biodiésel (B100), ya que como se ha identificado, el uso de biodiésel FAME en España ha generado efectos medioambientales negativos en varias categorías de impacto. La otra opción posible, pero que tomaría más tiempo, es la gestión a través de las asociaciones de transportistas con los productores de diésel y biodiésel y con la administración pública, con el fin de mejorar el proceso de compra de aceite crudo vegetal. Por ejemplo, los importadores de aceite crudo de palma deberían exigir a los productores que certifiquen, mediante el sello MPOCC (*Malaysian Palm Oil Certification Council*) [652], que para el cultivo de palma no se ha deforestado ni se ha desplazado un cultivo agroalimentario a estas zonas forestales, es decir, que no tenga impactos negativos por el cambio directo o indirecto en el uso de suelos.

#### **4.1.4. Discusión casos de estudio ACV**

De manera general, los resultados obtenidos sugieren la ampliación en el debate e investigación acerca de los puntos críticos del sector del transporte. Las investigaciones acerca de alternativas para el transporte por carretera se han enfocado en comparar la reducción en emisiones por uso de energía, sin prestar relevancia a las emisiones por la abrasión de neumáticos y frenos, que tienen gran responsabilidad en la afectación de categorías de impacto como la Ecotoxicidad de Agua dulce y Marina y la Toxicidad Humana, representado una desventaja adicional del transporte por carretera frente a modos como el fluvial y el férreo. De igual manera, los resultados evidencian que no solo la fase de operación del vehículo es importante en el impacto ambiental del servicio de transporte, sino también que la producción del combustible juega un papel incluso más importante en algunos casos, dependiendo del punto de vista y método de evaluación utilizado.

La aplicación de la metodología en tres casos de estudio en contextos geográficos diferentes, permite observar los diversos impactos medioambientales que cada actividad involucrada en el sistema genera por cada tkm transportada. Los resultados para cada caso no pueden ser comparados, básicamente porque en uno de ellos solo se considera el viaje de ida y en los casos en que se consideran los viajes de ida y regreso se utilizan vehículos de diferente tipo y diferente factor de carga. Sin embargo, en términos generales, si pueden obtenerse conclusiones a partir del análisis de la contribución de cada proceso del sistema al impacto medioambiental global, Figura IV.43.



**Figura IV.43. Contribución de cada proceso del sistema al impacto medioambiental global para cada caso estudiado**

Para todos los casos de estudio los procesos de Fin de Vida tienen un impacto insignificante, debido a que en la metodología utilizada se ha considerado un enfoque atributivo (*cut-off*), en el cual los impactos de las actividades de reciclaje de los materiales del vehículo y las carreteras son asignados a los productos elaborados posteriormente con estos materiales. Por este motivo, asumiendo casi un completo reciclado de los vehículos y carreteras, el impacto del proceso de Fin de vida en cada caso es muy bajo.

En cuanto al proceso de Construcción de Carreteras, se destaca que en el caso evaluado en Malasia el impacto es muy bajo (0,8%), debido al alto volumen de tráfico por km de carretera construido, casi el doble del volumen de tráfico que en España. Además de esto, la proporción de autovías del total de km de carreteras en Malasia es relativamente baja frente al caso de España, por lo que el impacto ambiental debido a la construcción de carreteras se reduce, ya que el gasto de energía y materiales para la construcción de autovías es mucho más alto que para las carreteras de un carril por sentido.

En el caso de Colombia, el impacto de la construcción de carreteras es bajo debido a dos razones: al tipo de carreteras y al consumo de combustible del vehículo. Primero, se destaca que del total de km construidos de carreteras, aproximadamente el 69% y el 22%, corresponden a carreteras terciarias y secundarias, respectivamente, cuya construcción implica gastos de energía y materiales muy inferiores a los necesarios para la construcción de autovías y carreteras primarias. Segundo, el consumo de combustible por km recorrido es alto (16,05 MJ/km) por realizarse en gran parte por carretera de un carril por sentido en terreno montañoso, frente al consumo obtenido para el caso de España (11,16 MJ/km) y el caso de Malasia (7,70 MJ/km), por lo cual, los impactos asociados al proceso de Tráfico y de Producción de Combustibles aumentan su contribución en el sistema, y por ende, reduciendo la contribución porcentual del proceso de Construcción de Carreteras.

El alto consumo de combustible por km en el caso de Colombia, también genera una reducción en la contribución porcentual de la Fabricación del Vehículo. Adicionalmente, esta contribución del vehículo al impacto medioambiental global del servicio del transporte también es reducida por la gran cantidad de tkm que transportaría en su vida útil, que en Colombia es en promedio de 21 años [608].

En cuanto al caso de España, se destacan las contribuciones poco despreciables de los procesos de Construcción de Carreteras y de la Fabricación del Vehículo. Como se ha mencionado, España tiene una alta proporción de autovías y carreteras primarias del total de km de carreteras construidas con un volumen de tráfico moderado (carreteras a cargo del Ministerio de Fomento), en comparación con los otros casos evaluados, por lo tanto, estas carreteras tienen un impacto medioambiental de su construcción más alto. Además, esta alta proporción de autovías genera un consumo menor de combustible por tkm transportada, lo que genera que en el impacto medioambiental global la contribución de los procesos de Construcción de Carreteras y de la Fabricación del vehículo aumente. Cabe resaltar que la contribución de la Fabricación del Vehículo no aumenta en mayor grado, debido a que el vehículo tiene una alta utilización durante su vida útil, transportando aproximadamente 6 millones de tkm en los 10,4 años de vida considerados [644].

Una observación que puede realizarse a la metodología utilizada para el cálculo de las emisiones de la operación de los vehículos es el tiempo que conlleva la estimación mediante ecuaciones para diferentes tramos del trayecto, algo que necesitaría ser automatizado con el uso de herramientas y software disponible. Por ejemplo, existe una opción más precisa y práctica para el cálculo de las velocidades promedio de cada tramo, como es el uso de dispositivos de monitoreo a bordo conectados a la computadora del vehículo a través de su puerto OBDII (*On-board diagnostics*), los cuales almacenan diversos datos de la conducción y pueden ser descargados a un formato Excel para su posterior análisis. Sin embargo, para los casos de estudio en Colombia y Malasia, los camiones contaban con conectores antiguos OBD, los cuales no son compatibles con el tipo de conector genérico OBDII que usan los dispositivos de monitoreo a bordo disponibles en el mercado. Para el caso de Colombia, fueron probados adaptadores OBDII-OBD de escáneres automotrices de diferentes marcas, sin lograr la conexión entre el dispositivo de monitoreo y la computadora del camión. Por esta razón, tuvo que ser descartada la adquisición del dispositivo y realizar las estimaciones de velocidad basados en otras variables con la ayuda de GPS y *GoogleMaps*.

## **4.2. Casos a estudio Análisis Social del Ciclo de Vida – ASCV**

### **4.2.1. ASCV caso a estudio Colombia**

#### **4.2.1.1. Definición de objetivos y alcance**

La empresa de transporte Operador Logístico TCL cuenta con su oficina principal en la ciudad de Pereira, capital del departamento de Risaralda en Colombia. Risaralda, ubicada en el centro-occidente de Colombia, cuenta con una población aproximada de 957 000 habitantes, de los cuales 474 000 viven en Pereira [653].

Risaralda, con una superficie de 4140 km<sup>2</sup> tiene un PIB nominal de 8950 millones de dólares (2012), es decir, un PIB per cápita de 9500 dólares. Su población está conformada por mestizos y blancos (92%), negros o afrocolombianos (5%) y amerindios o indígenas (3%) aproximadamente [653].

El principal servicio que ofrece la empresa es el transporte de mercancía por carretera desde Pereira a Quibdó, transportando aproximadamente el 10% de la totalidad de toneladas de mercancías que llegan a esta ciudad por vía terrestre. Quibdó, con una población de 126 384 habitantes, es capital del departamento de Chocó, el cual limita al occidente con el océano Pacífico y Panamá, al oriente con Risaralda y Antioquia y al sur con Valle del Cauca, Figura IV.44. El departamento de Chocó está comunicado vía terrestre por una carretera que conecta con Antioquia y otra que conecta con Risaralda. La población total del departamento de Chocó es 505 046 habitantes, con una superficie de 46 530 km<sup>2</sup> y un PIB nominal de 3222 millones de dólares (2012), es decir, un PIB per cápita de 6600 dólares, siendo el departamento más pobre de Colombia, en donde cerca del 80% de su población tiene sus necesidades básicas insatisfechas [653]. Su población está conformada por negros o afrocolombianos (82,1%), amerindios o indígenas (12,7%) y mestizos y blancos (5,2%) [653]. La mayor parte de su territorio corresponde a selva ecuatorial y bosques húmedos, con altas tasas de pluviosidad, haciendo difícil el desarrollo de actividades económicas como la agricultura y el desarrollo de infraestructura de acceso y de servicios públicos. Por esto, el desarrollo industrial ha sido muy pobre, siendo la explotación minera la principal actividad del departamento. Sin embargo, gran parte de esta explotación minera se realiza de manera ilegal, fuente de financiación de grupos guerrilleros y bandas criminales, los cuales, debido al aislamiento de esta región del país han tomado el control de estas zonas, en donde permiten el desarrollo de cultivos ilícitos.

Por las difíciles condiciones geográficas, climáticas, económicas y de orden público, este trayecto no es atractivo para grandes empresas transportadoras, ya que además de los riesgos presentes en esta zona, no es muy rentable el servicio de transporte, ya que la mayoría de las veces los camiones se deben regresar vacíos.

Es poco frecuente que se transporte mercancía desde Chocó a Risaralda, debido a la limitada producción industrial, agrícola y de pesca, la cual se transporta principalmente por vías fluviales y marítimas en el interior del Chocó. Sumado a esto, por la presencia de grupos armados ilegales, es muy riesgoso para las empresas transportadoras de mercancías por carretera contar con una oficina o centro logístico en los municipios de este departamento, dificultando las gestiones para conseguir suficiente mercancía para que los camiones que llegan a Quibdó se puedan regresar con cargas aceptables. En el caso de la empresa Operador Logístico TCL, esta ha logrado su sostenibilidad económica realizando su trayecto de regreso con cargas de madera, con productos con reclamación de garantía que los clientes regresan a sus proveedores en Risaralda o con cualquier tipo de encomienda, aunque muchas veces se regresan completamente vacíos.



**Figura IV.44. Ubicación departamento de Chocó (en rojo) y Risaralda (en azul). Basado en [654].**

Como caso a estudio, se evaluará el servicio prestado por la empresa para el trayecto Pereira-Quibdó, el cual se realiza en camiones diésel de 5 t marca Chevrolet o en un camión diésel de 10 t marca Ford. La decisión de usar el camión Ford o los Chevrolet para el caso evaluado es importante ya que se podrían obtener diferentes resultados del comportamiento individual de estos fabricantes. Sin embargo, analizar el desempeño social de la marca Ford no es pertinente ya que el camión fue fabricado en el año 1958 y no se tienen datos de la empresa encargada de la “repotenciación” realizada, en donde se le cambió el motor y otras partes al camión. En este sentido, dado que el análisis de la marca Ford está fuera de la cobertura temporal de este estudio, limitada a reportes hasta de 5 años de antigüedad, el análisis se centrará la marca Chevrolet, marca de los demás camiones que conforman la flota y que ha sido adquirido recientemente

De esta manera, la unidad funcional es el servicio de transporte de mercancías por carretera en un camión diésel marca Chevrolet entre Pereira y Quibdó.

Por lo anterior, las empresas identificadas como proveedores directos en cada uno de los componentes claves del sistema son:

- Proceso Vehículos: concesionaria Chevrolet
- Proceso Combustibles: estación de servicio Terpel
- Proceso Infraestructura: operador carretera Pereira-Quibdó

A partir de esto, mediante un pre-análisis de estos proveedores directos a partir de fuentes secundarias, se identifican las empresas involucradas en la cadena de valor de cada proceso, así como los involucrados en el proceso de fin de vida, los cuales se presentan en la Figura IV.45.

Este ASCV se realiza mediante un enfoque de evaluación por *stakeholders*, en donde se analizarían individualmente los impactos asociados a las 26 subcategorías de impacto social listadas en la Tabla III.23, las cuales posteriormente en la etapa de evaluación se podrían agregar por categorías de impacto más generales.

#### 4.2.1.2. Análisis de inventario

En esta fase se deben recoger los datos iniciales para realizar la priorización y selección de actividades críticas para la refinación de límites del sistema, la selección de los indicadores para cada subcategoría de impacto y los métodos de recolección de información.

#### Niveles de análisis de inventario

De acuerdo con los objetivos y alcance del estudio, son definidos los niveles de profundidad del análisis de inventario que se aplicaran a las empresas identificadas en cada eslabón del ciclo de vida del sistema del transporte. Estos niveles de análisis son indicados en la parte inferior de la Figura IV.45; adaptación de la Figura III.6 de la metodología al caso a estudio.

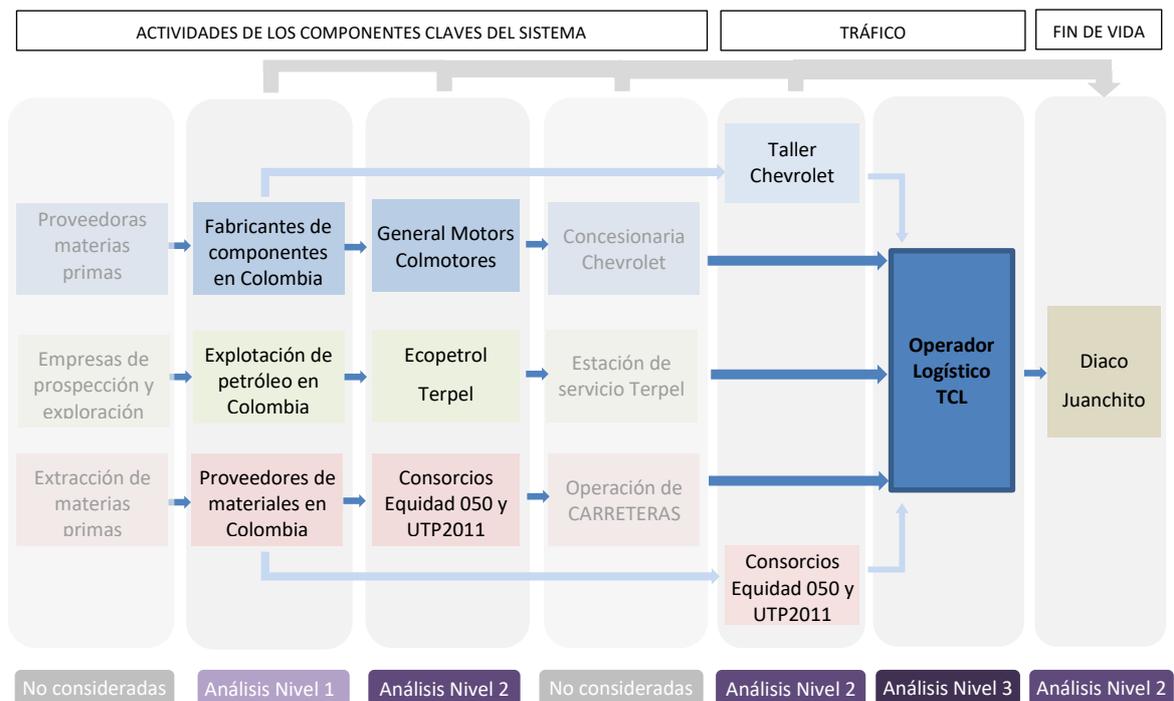


Figura IV.45. Delimitación sistema de transporte para el caso Colombia

De las empresas identificadas en la cadena del transporte, se han excluido del ASCV las actividades de comercialización o distribución al por menor de los componentes Vehículos, Combustibles e Infraestructuras, es decir, el impacto generado por las concesionarias de vehículos, las estaciones de servicio combustible y las concesionarias de las carreteras, respectivamente.

Además de que las anteriores actividades no son consideradas en el ACV ambiental, la mayoría de estos distribuidores minoritarios hacen parte de los mismos grupos empresariales que los proveen o son franquicias de estas grandes empresas, adoptando el comportamiento

impuesto por las marcas/empresas que representan. De esta manera, si bien estas actividades son excluidas, indirectamente estarían incluidas en el análisis. Por ejemplo, el concesionario de vehículos Chevrolet en Pereira, es de propiedad de la empresa Chevrolet Caminos, quienes tienen la exclusividad por parte del fabricante/ensamblador de vehículos (GM Colmotores) para realizar las actividades de comercialización y mantenimiento de los vehículos marca Chevrolet en la región, adoptando las políticas, planes y programas que el fabricante sugiera o imponga para mantener la exclusividad. De igual manera sucede con la estación de servicio utilizada para la recarga de diésel de los camiones, la cual es una franquicia de la marca Terpel, uno de los mayores distribuidores de hidrocarburos en Colombia con 224 estaciones propias y 1800 estaciones de terceros con su marca, concentrando el 40,8% de la oferta de combustibles líquidos en el país [655]. Asimismo, la operación de las carreteras en Colombia normalmente está a cargo de la empresa que la construye, la cual queda con los derechos de explotación de la misma instalando peajes para financiar los gastos de su operación.

Para la actividad de refinación del combustible, la empresa estatal colombiana Ecopetrol S.A, de economía mixta vinculada al Ministerio de Minas y Energía, es propietaria de las dos refinerías en Colombia ubicadas en Barrancabermeja y en Cartagena de Indias, controlando el 100% de la refinación y transporte de hidrocarburos en el país [656], siendo el único proveedor del diésel de Terpel en Colombia. Ecopetrol también realiza actividades de exploración, prospección y explotación, produciendo aproximadamente el 75% del total de barriles extraídos en Colombia directamente o a través de filiales, mientras que el 25% restante es producido por compañías extranjeras [657,658]. En 2015 el 65% del diésel consumido en Colombia fue producido localmente por Ecopetrol a partir de petróleo colombiano, mientras que el restante importado por la misma empresa [658]. De esta manera, dado que la mayoría del diésel consumido es producido localmente a partir de petróleo extraído en Colombia, el análisis de riesgos potenciales se realiza para el subsector de la producción de petróleo en Colombia.

Para las actividades de mantenimiento de vehículos, la empresa de transporte lleva los camiones al taller de Chevrolet Caminos, autorizado por GM Colmotores en Pereira. En cuanto a los proveedores de GM Colmotores, se encuentra que más del 80% de componentes del camión tipo NPR son fabricados en Colombia [659], por lo que el subsector analizado para esta actividad es la industria de autopartes colombiana.

La carretera para el trayecto Pereira-Quibdó ha sido construida por diferentes empresas siendo adjudicados los proyectos para tramos específicos. El tramo de mayor extensión y más crítico, es el recorrido desde La Virginia a Quibdó de 216 km de los 246 km totales del recorrido Pereira-Quibdó. Esta carretera ha sido construida, reconstruida o rehabilitada por un gran número de empresas o consorcios, a los que el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) ha adjudicado proyectos para la intervención de pequeños tramos. La carretera La Virginia-Quibdó nunca se ha terminado de construir completamente; para el año 2015 un 30% estaba sin pavimentar [660]. Actualmente, gran parte de la carretera ya construida ha perdido su capa de hormigón o de asfalto por deslizamientos de tierra o falta de mantenimiento, por lo que se considera que la mayor parte del trayecto necesita ser repavimentado.

Considerando el alcance temporal del estudio, se realiza el análisis de inventario a las empresas que hayan intervenido la carretera en los últimos 5 años. En este sentido, se identificó al Consorcio Vías para la Equidad 050, conformado por la empresa ecuatoriana Hidalgo e Hidalgo S.A (30%) y la empresa Hidalgo e Hidalgo Colombia S.A.S (70%). Este consorcio se firmó en octubre de 2015 para intervenir 23 km de la carretera [661]. La anterior intervención a esta carretera se había adjudicado al Consorcio Unión Temporal Prosperidad 2011 (UTP2011) para la pavimentación de 87,5 km y la construcción de 10 puentes. Este consorcio es conformado por la empresa española Ortiz Construcciones y Proyectos S.A (49%) y las colombianas Equipo Universal S.A (23%), Edgardo Navarro Vives (26%), Codifa Ltda (1%) y Puentes y Torones (1%) [662].

En cuanto al mantenimiento de la carretera, como esta carretera no ha sido construida totalmente por una empresa o consorcio a través de una concesión, ninguna empresa está encargada de la explotación ni el mantenimiento de esta, quedando a cargo del gobierno nacional a través de INVIAS. Para esta carretera no existe ningún gasto en la operación o mantenimiento periódico, existiendo únicamente gastos para la atención de emergencias en caso de derrumbes de tierra. La carretera se ha dejado deteriorar completamente para luego abrir licitaciones para la repavimentación de los tramos en peor estado. Por consiguiente, se asume que los impactos de la actividad de mantenimiento serían iguales a los generados por los consorcios analizados en las actividades de construcción.

Con relación a los proveedores de materiales para la construcción de la carretera, funcionarios encargados de la gestión predial, social y ambiental del el consorcio UTP2011 [663] afirman que los principales proveedores de materiales para pavimentación son Agregados del Occidente de Risaralda S.A.S y Triturados y Concretos Ltda, quienes se proveen de empresas fabricantes de cemento en Colombia, como también de material extraído del río San Juan. Por lo tanto, el subsector analizado para esta actividad es la industria de materiales para construcción colombiana.

Para las actividades de fin de vida, inicialmente se deben identificar las empresas que tratan los residuos de la operación de vehículos más significativos como son los neumáticos y los aceites lubricantes de motor usados, como también el desmantelamiento y reciclado de los camiones, actividades consideradas en el ACV.

Sin embargo, las empresas encargadas para las actividades de fin de vida no pueden ser fácilmente identificadas por diversas razones:

- Para el caso del aceite de motor usado, el principal motivo es que la empresa que realiza el tratamiento de estos residuos es un tercero que presta el servicio al taller de Chevrolet en Pereira, por lo que este tercero no es una elección de la empresa de transporte de mercancías.

Se conoce que en Pereira, la única empresa consolidada y autorizada para realizar la recolección y tratamiento de aceites lubricantes de motor usados es Combustibles Juanchito S.A.S [664], por lo que esta empresa sería objeto del análisis Nivel 2.

- Para el caso de los neumáticos usados, su trazabilidad es difícil de determinar ya que la mitad de los neumáticos averiados en el caso específico de la empresa de transporte de mercancías, son cambiados en carretera por el conductor o en pequeños talleres, en donde los más averiados se tiran a la basura general, otros se quedan en el taller para su reacondicionamiento o usos desconocidos, mientras que los neumáticos menos averiados se llevan de regreso a la oficina de Pereira para analizar si pueden ser reparados o desechados.

Una vez los neumáticos son desechados a la basura general, algunos de ellos son recogidos por personas dedicadas al reciclaje informal, quienes los venden a talleres de reacondicionamiento para ser vendidos nuevamente, mientras que otros son usados para la elaboración de artesanías, muebles, para estabilización de terrenos o granulado para canchas de fútbol sintéticas. Por estas razones, no es posible identificar y realizar un análisis Nivel 2 para alguna de las empresas dedicadas al tratamiento especializado en el fin de vida de los neumáticos.

- En el caso de la chatarrización o desmantelamiento y reciclaje de materiales de los camiones, a pesar de ser una decisión a mediano o largo plazo, la selección de la empresa que se encargaría de su tratamiento es fácilmente identificable ya que en la región se encuentra una de las empresas autorizadas en Colombia para prestar este servicio. De esta manera, la siderúrgica Gerdau Diaco, que cuenta con una unidad de recolección ubicada en Dosquebradas, Risaralda, será objeto del análisis de inventario Nivel 2 en este caso a estudio.

### **Selección de indicadores**

En este caso a estudio se evalúan las 26 subcategorías de impacto propuestas en la metodología de ASCV, por lo que serán utilizados tanto los indicadores de análisis genérico como los de análisis específico presentados en la metodología en las Tablas III.29 a III.33 y en las Tablas III.34 a III.38, respectivamente.

### **Instrumentos de recopilación de datos**

Para las diferentes empresas y sectores económicos se realiza un determinado tipo de análisis con relación a su ubicación en la cadena de valor, el acceso a la información, alcance y objetivo del estudio. En este sentido, el tipo de análisis de inventario determinado se detalla en la parte inferior de la Figura IV.45. La información para los indicadores en los análisis Nivel 1 y 2 se obtiene a partir de fuentes secundarias, mientras que para los indicadores en el análisis Nivel 3, aplicado a la empresa de transporte, se obtiene mediante fuentes primarias.

Para el análisis de la empresa de transporte, la información recopilada mediante los cuestionarios (Anexo B.1) y visitas personales, se complementa con los resultados de las entrevistas semiestructuradas (Anexo B.2) relacionados con la percepción de los *stakeholders*

sobre los impactos de las operaciones de las empresas del sector de transporte de mercancías por carretera en la región.

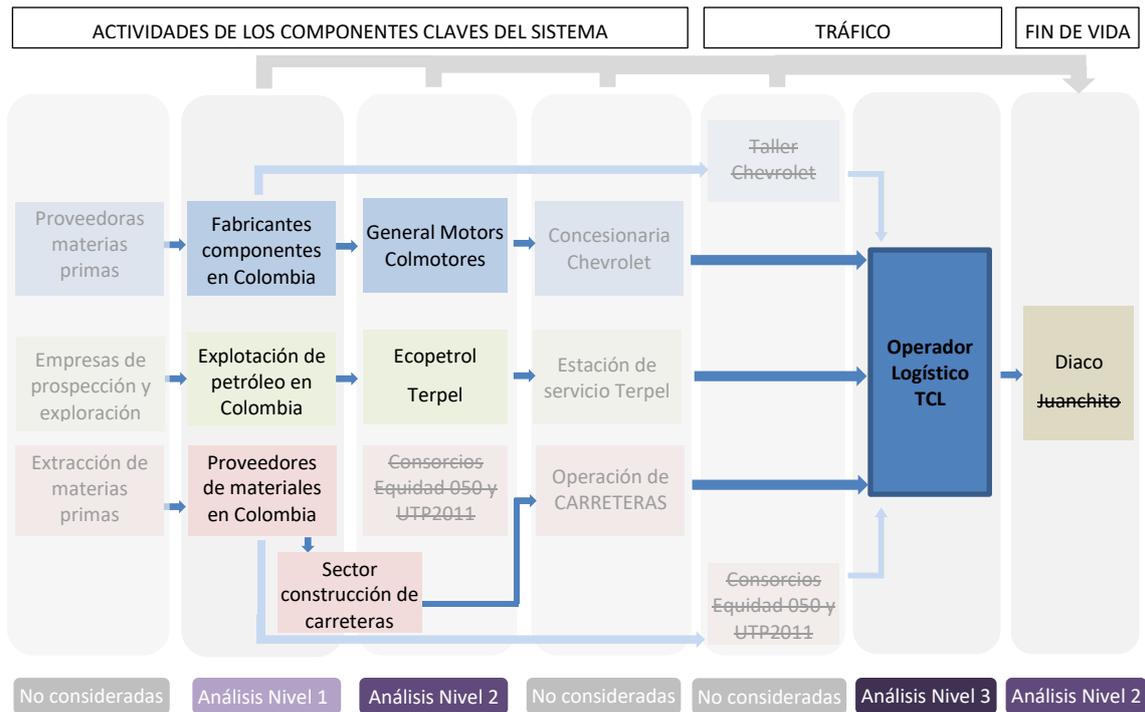
La percepción de los *stakeholders* se obtiene mediante el desarrollo de entrevistas semiestructuradas a un total de 12 personas, representantes clave de cada uno de los diferentes grupos de interés, Tabla IV.76.

**Tabla IV.76. Representantes de grupos de interés (*stakeholders*) entrevistados en Colombia**

| <i>Stakeholder</i> | Subgrupo de interés                     | Cargo   |
|--------------------|---|---|
| Trabajadores       | Trabajador por cuenta ajena             | Conductor contratado en la empresa de transporte  |
|                    | Trabajador por cuenta propia            | Propietario y conductor de camión   |
|                    | Asociación conductores                  | Presidente asociación de camioneros   |
| Cientes            | Cliente                                 | Gerente de hipermercado   |
| Comunidad local    | Administración pública/ comunidad local | Concejal municipal  |
| Sociedad           | Entidad financiera                      | Ejecutivo banca empresarial   |
|                    | Medio de comunicación                   | Corresponsal/periodista noticiero nacional  |
|                    | Asociación empresarial                  | Director Dpto. investigaciones socioeconómicas Cámara Comercio                                |
| Otros actores      | Empresa de transporte                   | Gerente empresa de transporte   |
|                    | Proveedor de repuestos (recambios)      | Director regional mayorista repuestos automotores   |
|                    | Proveedor de repuestos (recambios)      | Asesor comercial / propietario local comercial repuestos automotores                          |
|                    | Academia                                | Profesor universitario y director del grupo de investigación en Gestión Ambiental Territorial |
|                    | Corporación ambiental                   | Líder proceso de residuos y licencias ambientales de Corporación ambiental departamental      |

Las valoraciones dadas por los *stakeholders* son presentadas en Tabla IV.78 de manera agregada mediante un promedio simple para cada subcategoría de impacto, con el fin de mantener el anonimato en las respuestas.

Después de realizar el análisis de inventario Nivel 3 a la empresa de transporte, se realiza el análisis de inventario Nivel 2 a las empresas definidas en la Figura IV.45, mediante los indicadores de análisis específico. Durante la recolección de datos, por las limitaciones de acceso a información para determinadas empresas y por la identificación incompatibilidades con el alcance de estudio, son redefinidos los tipos de análisis y la selección de las empresas objeto de estos análisis. Esta nueva delimitación del ASCV se presenta en la Figura IV.46.



**Figura IV.46. Redelimitación sistema de transporte para el caso a estudio en Colombia**

El principal cambio en el análisis de inventario del sistema definido en la fase anterior, es el relacionado con la construcción de la carretera.

La nueva definición de niveles de análisis de inventario en el proceso de infraestructura corresponde a la realización de un análisis dirigido al sector de la construcción de carreteras en Colombia, en lugar del análisis a los Consorcios encargados de la construcción de la carretera específica. Este análisis se ha definido como Análisis Nivel 1+, en donde mediante indicadores de análisis genérico se recopila la información para el sector o país, más indicadores complementarios para lograr una mayor precisión en las subcategorías para las cuales solo se obtenían datos a nivel de país, al requerir la búsqueda de datos a nivel sectorial.

La decisión de modificar el nivel de análisis específico a uno más genérico al proceso de construcción de carreteras obedece básicamente a las limitaciones de acceso a información específica de las empresas durante la ejecución de las obras otorgadas a los consorcios, como también por la improcedencia de asociar el comportamiento de estas empresas en otros proyectos en otros países al proyecto en cuestión. Esto es debido a que las empresas constructoras pueden realizar proyectos en diferentes países, siendo posible que tengan comportamientos e impactos sociales diferentes de un proyecto a otro.

De acuerdo con lo anterior, para la ruta Pereira-Quibdó, intervenida por el Consorcio Vías Equidad 050, no es posible realizar el análisis de inventario por no estar culminado el proyecto; el consorcio estaba tramitando permisos con autoridades ambientales y presentando los planes de compensación social y concertación con las comunidades a mediados de 2017 [665].

Por lo anterior fue planteado realizar el análisis de inventario Nivel 2 relacionado con el comportamiento general de la empresa. Sin embargo, se consideró improcedente asociar los impactos sociales en proyectos en otros países, debido a que se presentan en diferentes

contextos socioeconómicos. Por ejemplo, la empresa encargada de esta obra (HeH) se encuentra bajo investigaciones relacionadas con presuntos actos de corrupción en Panamá [666]. Por esta razón, suponiendo que para la empresa HeH existieran sentencias definitivas sobre su comportamiento inapropiado en temas de corrupción en Panamá, asumir que en la construcción de la carretera analizada en este trabajo también pudo haber actos de corrupción no sería correcto.

En consecuencia, para el proceso de construcción de la carretera, la evaluación del Consorcio Vías Equidad 050 es descartado por estar inacabado. Asimismo, el anterior proyecto adjudicado a al Consorcio Unión Temporal Prosperidad 2011 para la pavimentación de 87,5 km y la construcción de 10 puentes, tampoco pudo ser evaluado por la ausencia de información relacionada con las subcategorías de impacto social evaluadas.

En este sentido, se consideró realizar un análisis a nivel sectorial (Nivel 1+) del sector de la construcción en Colombia. De igual manera, el análisis específico de las empresas encargadas del mantenimiento de la carretera, las cuales eran las mismas de los consorcios encargadas de su construcción, es descartado para este estudio. Asimismo, también es descartado el análisis a la empresa encargada del mantenimiento de los camiones, ya que al ser un taller autorizado por GM Colmotores para la prestación del servicio a los camiones marca Chevrolet, debe seguir las políticas de la casa matriz, asumiendo un comportamiento e impactos sociales similares.

En cuanto a las actividades de fin de vida, la empresa identificada para el tratamiento de aceites de motor usados, Combustibles Juanchito, la cual presta el servicio al taller de mantenimiento del vehículo, es descartada por no encontrarse suficiente información de la empresa ni del subsector.

El inventario realizado con indicadores de análisis específico y genérico para cada una de las empresas y sectores identificados en la Figura IV.46 se presenta en los Anexos F. En estos anexos se presentan las tablas con la información recopilada para los indicadores de cada subcategoría de impacto social, elaboradas para las empresas y sectores identificados a partir del cuestionario inicial a la empresa de transporte y la posterior revisión de las páginas web y reportes de sostenibilidad de los proveedores directos. Para contrastar y complementar la información dada por las empresas, se recopila información de páginas de instituciones públicas y no gubernamentales, así como medios de comunicación objetivos y de amplia reputación.

#### **4.2.1.3. Evaluación de impactos**

Para realizar la evaluación de las subcategorías de impacto de manera agregada en categorías de impacto, es importante, antes de agruparlas en las 5 diferentes categorías de impacto sugeridas, realizar la caracterización de los resultados individuales de las subcategorías, con el fin de obtener valoraciones normalizadas que puedan ser promediadas de manera simple o ponderada.

## Caracterización de análisis de inventario

Basados en la guía de evaluación por escalas de valoración para los subsectores analizados mediante indicadores de análisis genérico Anexo B.3, se tienen los resultados presentados en la Tabla IV.77. Esta tabla presenta los resultados caracterizados de los análisis de inventario de los Anexos F.1 a F.4.

**Tabla IV.77. Caracterización análisis de inventario Nivel 1 para el caso Colombia**

| Subcategoría de impacto                                | Valoración por subsector                              |   |   |   |
|--|---|---|---|---|
|  | Fabricación de componentes para vehículos en Colombia | Explotación/ producción de petróleo en Colombia | Producción de materiales para pavimentación en Colombia | Construcción de carreteras en Colombia* |
| Trabajo infantil                                       | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Explotación/ trabajo forzado                           | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Igualdad de oportunidades/ discriminación              | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Libre asociación de trabajadores                       | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Salario justo  | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Horario laboral justo                                  | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Seguridad y salud en el trabajo                        | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Beneficios sociales/seguridad social                   | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Transparencia en temas sociales/ medioambientales      | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Confidencialidad con la información de los clientes    | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes       | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Deslocalización y migración                            | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Respeto a las tradiciones locales/ patrimonio cultural | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas    | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Participación de la comunidad                          | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Condiciones de vida seguras y saludables               | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Acceso a recursos materiales                           | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Acceso a recursos inmateriales                         | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Creación de empleo local                               | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Contribución a la economía nacional                    | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Prevención y mitigación de conflictos armados          | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Desarrollo tecnológico                                 | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Corrupción   | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad          | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Relaciones con los proveedores                         | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| Competencia desleal                                    | ■   | ■   | ■   | ■                                       |
| <i>Valoración promedio (de 1 a 5)</i>                  | <i>3,04</i>   | <i>2,96</i>                                     | <i>2,96</i>   | <i>2,85</i>                             |

\*Análisis Nivel 1+

En las valoraciones presentadas en la Tabla IV.77, están incluidas las correspondientes al análisis de inventario Nivel 1+, realizado al subsector de la construcción de carreteras en Colombia. Estas valoraciones han sido ajustadas mediante el análisis de los indicadores complementarios y su correspondiente método de evaluación del Anexo F.10, el cual define los criterios que indican en cada caso, si el resultado obtenido para determinada subcategoría de impacto mediante la guía de evaluación del Anexo B.3 permanecería igual, mejoraría o empeoraría en un grado en la escala de valoración de 1 a 5.

Para la caracterización del análisis de inventario Nivel 2 y Nivel 3 realizado a empresas específicas mediante el sistema de puntuación descrito en el Anexo B.4, se presentan los resultados de las valoraciones en las escalas de 0 a 10 en la Tabla IV.78. Esta tabla presenta los

resultados caracterizados de los análisis de inventario de los Anexos F.5 a F.9 y de las entrevistas realizadas a los *stakeholders* con relación a la percepción del desempeño de las empresas de transporte de mercancías de la región en cada subcategoría de impacto.

**Tabla IV.78. Caracterización análisis de inventario Nivel 2 y 3 para el caso Colombia**

| Subcategoría de impacto                                | Nivel 2       |             |             |              | Nivel 3                |   |
|--|---------------|-------------|-------------|--------------|------------------------|---|
|  | GM Colmotores | Ecopetrol   | Terpel      | Gerdau Diaco | Operador Logístico TCL | Valoración Entrevista <i>stakeholders</i> |
| Trabajo infantil                                       | 6             | 9           | 9           | 7            | 5                      | 4,2                                       |
| Explotación/ trabajo forzado                           | 5             | 8           | 8           | 7            | 5                      | 7,2                                       |
| Igualdad de oportunidades/ discriminación              | 5             | 5           | 7           | 5            | 4                      | 5,4                                       |
| Libre asociación de trabajadores                       | 3             | 5           | 5           | 2            | 5                      | 6,3                                       |
| Salario justo  | 9             | 10          | 5           | 7            | 4                      | 7,0                                       |
| Horario laboral justo                                  | 6             | 3           | 5           | 5            | 5                      | 4,4                                       |
| Seguridad y salud en el trabajo                        | 7             | 9           | 8           | 7            | 6                      | 6,3                                       |
| Beneficios sociales/seguridad social                   | 6             | 10          | 9           | 4            | 6                      | 6,7                                       |
| Transparencia en temas sociales/ medioambientales      | 8             | 10          | 8           | 5            | 3                      | 1,8                                       |
| Confidencialidad con la información de los clientes    | 7             | 8           | 7           | 6            | 6                      | 7,3                                       |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes       | 9             | 9           | 8           | 6            | 6                      | 7,0                                       |
| Deslocalización y migración                            | 5             | 6           | 5           | 5            | 5                      | 5,1                                       |
| Respeto a las tradiciones locales/ patrimonio cultural | 6             | 6           | 6           | 6            | 5                      | 4,4                                       |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas    | 5             | 7           | 5           | 5            | 5                      | 6,9                                       |
| Participación de la comunidad                          | 6             | 8           | 6           | 6            | 7                      | 2,6                                       |
| Condiciones de vida seguras y saludables               | 4             | 4           | 6           | 6            | 5                      | 3,8                                       |
| Acceso a recursos materiales                           | 7             | 8           | 5           | 7            | 5                      | 5,3                                       |
| Acceso a recursos inmateriales                         | 7             | 8           | 7           | 8            | 5                      | 5,0                                       |
| Creación de empleo local                               | 6             | 10          | 9           | 5            | 9                      | 6,2                                       |
| Contribución a la economía nacional                    | 6             | 10          | 10          | 8            | 7                      | 5,8                                       |
| Prevención y mitigación de conflictos armados          | 7             | 7           | 6           | 6            | 3                      | 5,1                                       |
| Desarrollo tecnológico                                 | 8             | 7           | 8           | 6            | 4                      | 3,3                                       |
| Corrupción   | 6             | 3           | 7           | 7            | 4                      | 1,9                                       |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad          | 9             | 8           | 8           | 5            | 5                      | 3,8                                       |
| Relaciones con los proveedores                         | 8             | 8           | 7           | 7            | 6                      | 5,0                                       |
| Competencia desleal                                    | 6             | 5           | 4           | 7            | 7                      | 3,6                                       |
| <i>Valoración promedio (de 1 a 5)</i>                  | <i>3,57</i>   | <i>3,92</i> | <i>3,74</i> | <i>3,37</i>  | <i>3,11</i>            | <i>3,02</i>                               |

### Ponderación de subcategorías de impacto

Con el fin de hallar los **Índices de impacto social por procesos** del sistema, es necesario realizar una ponderación de las subcategorías de impacto (índices de prioridad), clasificadas por categoría de impacto o por *stakeholder*, para obtener los índices de impacto social agregados.

De los resultados de las entrevistas semiestructuradas a los *stakeholders*, se obtienen los índices de prioridad de las subcategorías de impacto clasificados por categoría de impacto social, Tabla IV.79. Estos índices son calculados a partir de la pregunta B.11 en donde los entrevistados clasifican por orden de importancia cada subcategoría en su correspondiente categoría de impacto social.

De manera similar, a partir de los datos obtenidos en la pregunta B.13, se calculan los índices de prioridad de las subcategorías de impacto, clasificadas por *stakeholder*, Tabla IV.80.

**Tabla IV.79. Índices de prioridad de subcategorías agrupadas por categorías de impacto social caso Colombia**

| Categoría de impacto              | Subcategoría de impacto                             | Índice de prioridad |
|-----------------------------------|---|---------------------|
| Derechos humanos                  | Trabajo infantil                                    | 0,42                |
|                                   | Explotación/trabajo forzado                         | 0,30                |
|                                   | Igualdad de oportunidades/ discriminación           | 0,27                |
| Derechos trabajadores             | Libre asociación de trabajadores                    | 0,15                |
|                                   | Salario justo                                       | 0,26                |
|                                   | Horario laboral justo                               | 0,19                |
|                                   | Seguridad y salud en el trabajo                     | 0,21                |
|                                   | Beneficios sociales/seguridad social                | 0,19                |
|                                   | Deslocalización y migración                         | 0,11                |
| Patrimonio cultural y comunidades | Respeto a las tradiciones locales                   | 0,08                |
|                                   | Respeto a los derechos de las comunidades indígenas | 0,14                |
|                                   | Participación de la comunidad                       | 0,14                |
|                                   | Condiciones de vida seguras y saludables            | 0,17                |
|                                   | Acceso a recursos materiales                        | 0,12                |
|                                   | Acceso a recursos inmateriales                      | 0,10                |
|                                   | Transparencia en temas sociales/medioambientales    | 0,14                |
| Repercusiones socio-económicas    | Creación de empleo local                            | 0,23                |
|                                   | Contribución a la economía nacional                 | 0,20                |
|                                   | Prevención y mitigación de conflictos armados       | 0,12                |
|                                   | Desarrollo tecnológico                              | 0,13                |
|                                   | Relaciones con los proveedores                      | 0,13                |
|                                   | Confidencialidad con la información de los clientes | 0,10                |
|                                   | Mecanismos de retroalimentación con los clientes    | 0,08                |
| Gobernanza                        | Compromiso público en temas de sostenibilidad       | 0,30                |
|                                   | Corrupción  | 0,39                |
|                                   | Competencia desleal                                 | 0,30                |

**Tabla IV.80. Índices de prioridad de subcategorías agrupadas por stakeholders caso Colombia**

| Stakeholder     | Subcategoría de impacto                             | Índice de prioridad |
|-----------------|---|---------------------|
| Trabajadores    | Trabajo infantil                                    | 0,03                |
|                 | Explotación/ trabajo forzado                        | 0,22                |
|                 | Igualdad de oportunidades/discriminación            | 0,11                |
|                 | Libre asociación de trabajadores                    | 0,14                |
|                 | Salario justo                                       | 0,19                |
|                 | Horario laboral justo                               | 0,17                |
|                 | Seguridad y salud en el trabajo                     | 0,08                |
|                 | Beneficios sociales/seguridad social                | 0,06                |
| Clientes        | Transparencia en temas sociales/medioambientales    | 0,50                |
|                 | Confidencialidad con la información de los clientes | 0,33                |
|                 | Mecanismos de retroalimentación con los clientes    | 0,17                |
| Comunidad local | Deslocalización y migración                         | 0,08                |
|                 | Respeto a las tradiciones locales                   | 0,06                |
|                 | Respeto a los derechos de las comunidades indígenas | 0,03                |
|                 | Participación de la comunidad                       | 0,19                |
|                 | Condiciones de vida seguras y saludables            | 0,17                |
|                 | Acceso a recursos materiales                        | 0,11                |
|                 | Acceso a recursos inmateriales                      | 0,14                |
| Sociedad        | Creación de empleo local                            | 0,22                |
|                 | Contribución a la economía nacional                 | 0,37                |
|                 | Prevención y mitigación de conflictos armados       | 0,17                |
|                 | Desarrollo tecnológico                              | 0,20                |
| Otros actores   | Corrupción  | 0,27                |
|                 | Compromiso público en temas de sostenibilidad       | 0,27                |
|                 | Relaciones con los proveedores                      | 0,33                |
|                 | Competencia desleal                                 | 0,40                |

Con base en los índices de prioridad de las subcategorías de impacto asignados por los entrevistados, y considerando una ponderación del 70% para los resultados obtenidos de las empresas bajo análisis de inventario Nivel 2 (y análisis de inventario Nivel 1+ para el sector de construcción de carreteras) y una ponderación del 30% para sus correspondientes proveedores analizados genéricamente con el análisis Nivel 1, se obtienen los índices de impacto social para los procesos secundarios del sistema de transporte clasificados en categorías de impacto en la Figura IV.47 y clasificados por *stakeholder* en la Figura IV.48, sin considerar las actividades de fin de vida. En estas graficas también se incluyen los índices de impacto obtenidos para la empresa de transporte, es decir, para el proceso de tráfico. Entre más positivos sean los impactos sociales hallados, mayor será el índice de impacto obtenido.

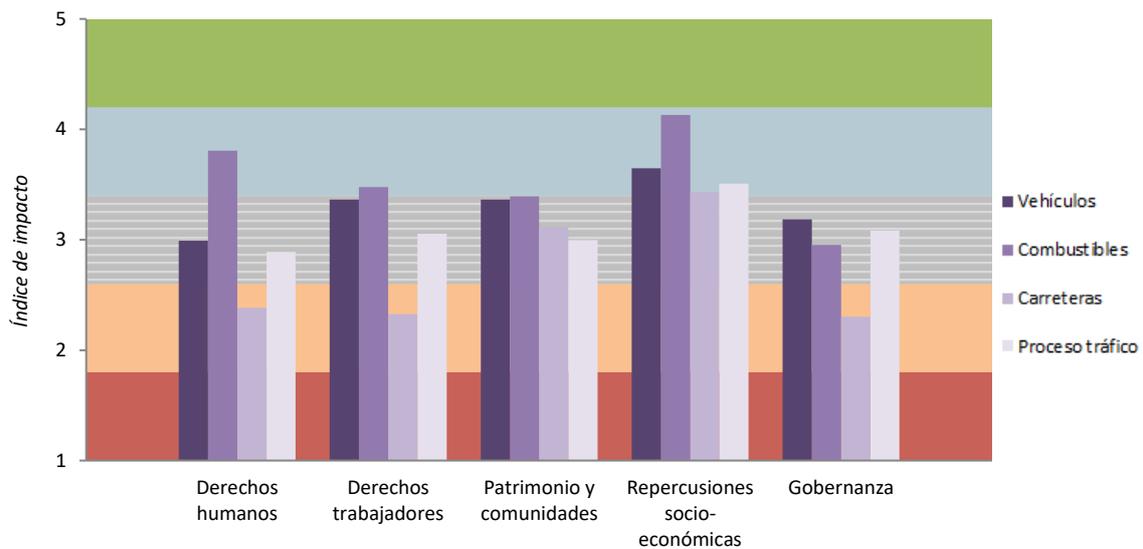


Figura IV.47. Índices de impacto social de los procesos del sistema por categoría caso Colombia

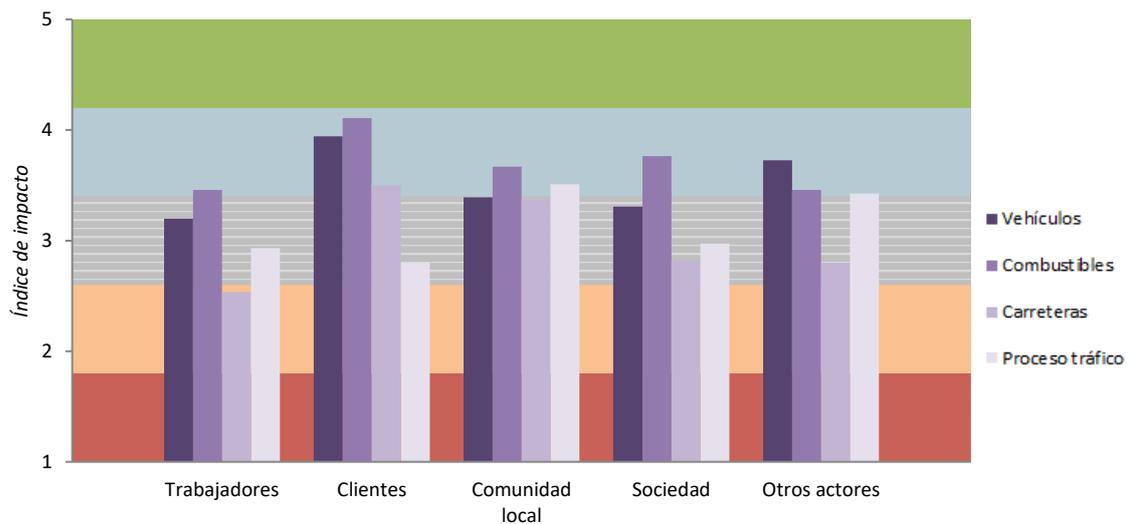


Figura IV.48. Índices de impacto social de los procesos del sistema por *stakeholder* caso Colombia

### Ponderación de actividades del sistema

Con el fin de obtener un único *índice de impacto social* por categoría de impacto o por *stakeholder*, para todo el sistema del transporte, se calculan los factores de ponderación de actividades del sistema. Para este caso a estudio, se deben recalculan los factores de ponderación presentados en la Tabla III.45, ya que en este ASCV no están incluidas empresas ubicadas en un radio menor a 100 km, empresas fuera del país ni las empresas encargadas del mantenimiento de vehículos y carreteras. Los nuevos factores de ponderación se presentan en la Tabla IV.81.

**Tabla IV.81. Factores de ponderación de actividades del sistema de transporte caso Colombia**

| Proceso    | Actividad de la empresa  | Análisis inventario | Factor de ponderación |
|------------|--|---------------------|-----------------------|
| Tráfico    | Transporte de mercancías por carretera                               | Nivel 3             | 0,56                  |
|            | Mantenimiento de vehículos   |                     | -                     |
|            | Mantenimiento de carreteras  |                     | -                     |
|            | Actividad con operación base en un radio de 100 km                   | Nivel 2             | -                     |
|            | Actividad con operación base en el resto del país                    |                     | 0,28                  |
| Secundario | Actividad con operación base fuera del país                          |                     | -                     |
|            | Proveedores de los procesos secundarios con operación en el país     | Nivel 1             | 0,17                  |
|            | Proveedores de los procesos secundarios con operación fuera del país |                     | -                     |

De acuerdo con la metodología propuesta, la asignación de los pesos relativos para los resultados de las actividades evaluadas en los procesos secundarios, se realiza en función del nivel de profundidad del análisis de inventario y la ubicación geográfica de la actividad evaluada. En este sentido, los resultados para la actividad de fin de vida del vehículo, obtenidos del análisis de la empresa Gerdau Diaco ubicada a 4 km de la empresa de transporte de mercancías, tendrían asignado un peso mayor a los asignados a las actividades con operación base en el resto del país como la empresa ensambladora de vehículos, la refinera de petróleo y la distribuidora de combustibles. Sin embargo, dado que la decisión de incluir la empresa Gerdau Diaco como la encargada del desmantelamiento del camión es un supuesto, que no ocurriría en el corto ni en el mediano plazo, además de no haber generado algún impacto social en el pasado, presente o en el futuro inmediato asociado al servicio de transporte evaluado, los resultados de su correspondiente evaluación de impactos deberán tener un peso menor, como el dado a los proveedores de los procesos secundarios con operación en el país.

De esta manera, son obtenidos los índices de impacto social del sistema agregados por categorías de impacto en la Figura IV.49 y por *stakeholder* en la Figura IV.50.

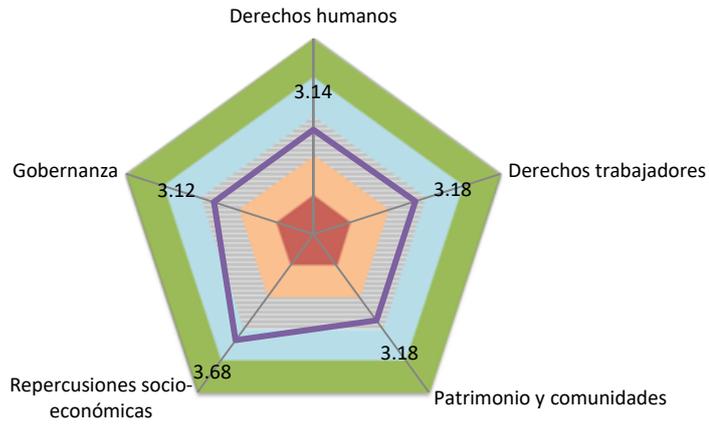


Figura IV.49. Índices de impacto social del sistema por categoría caso Colombia

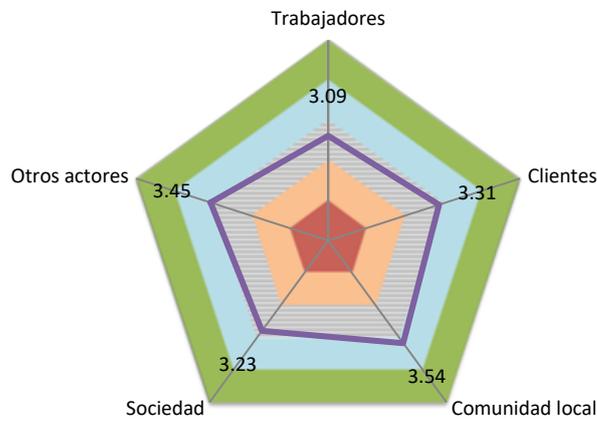


Figura IV.50. Índices de impacto social del sistema por stakeholder caso Colombia

### Índice de Desempeño Social del sistema

Como paso final de la etapa de evaluación de ASCV, se establecen en la Figura IV.51 los índices de prioridad para las cinco categorías de impacto social mediante los datos obtenidos en la pregunta B.12 del formato de entrevista, con el fin de calcular el *Índice de desempeño social* (IDS) del servicio de transporte de mercancías en su ciclo de vida.

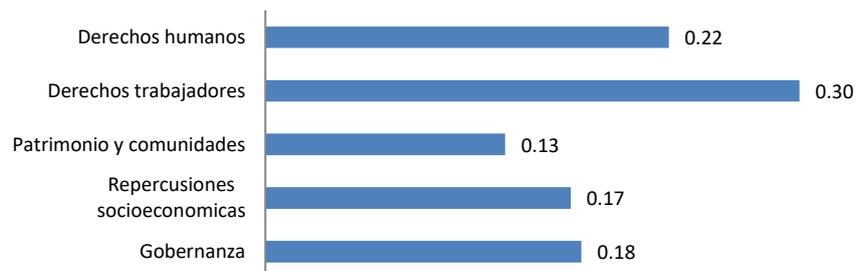


Figura IV.51. Índices de prioridad de las categorías de impacto social

De esta manera, mediante el cálculo basado en los diferentes análisis de inventario del ciclo de vida, las ponderaciones de subcategorías de impacto y de actividades del sistema y los índices de prioridad de las categorías de impacto social dados por los *stakeholders* de acuerdo al orden de importancia que deberían darle las empresas a cada aspecto para mejorar su desempeño social, el **IDS** para el caso a estudio en Colombia es igual a **3,24**.

A modo de resumen, se presentan también los IDS obtenidos en el sistema por cada uno de los eslabones de la cadena de valor evaluados en la Figura IV.52.

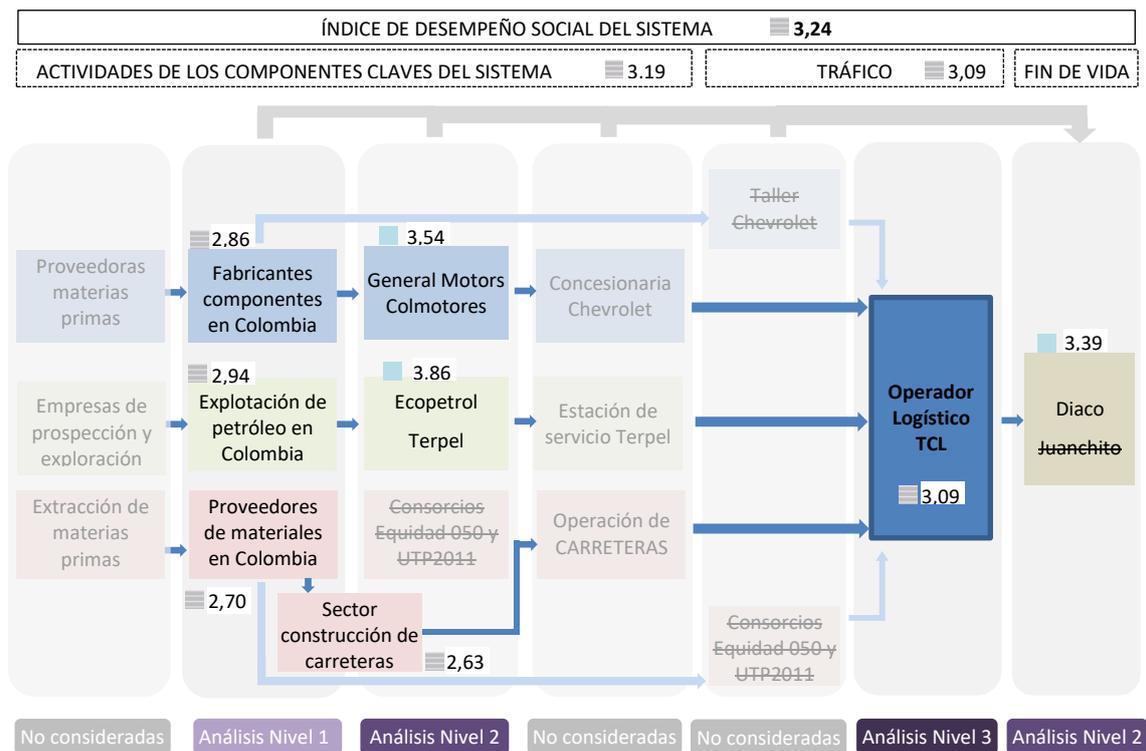


Figura IV.52. Índices de desempeño social por cada eslabón del sistema de transporte caso Colombia

#### 4.2.1.4. Interpretación de resultados

##### Conclusiones preliminares

El IDS del sistema obtenido para este ASCV de 3,24, ubicándose en el rango de impacto “medio”, significa que, de manera global, el servicio de transporte ofrecido por la empresa estudiada no genera un impacto negativo ni muy positivo, considerando los puntos de referencia y las peores o mejores prácticas esperadas que podrían tener las empresas sobre los aspectos socioeconómicos que fueron establecidos en la metodología de esta tesis.

El IDS obtenido, si bien este valor adimensional no puede arrojar muchas conclusiones, podría ser útil para comparar el desempeño social de este servicio de transporte en camiones diésel marca Chevrolet frente a otro IDS calculado para el servicio de transporte en otro tipo de vehículo con otro tipo de combustible, prestado por la misma empresa de transporte de mercancías evaluada.

Este IDS, al presentar en un único valor todos los impactos asociados a cada una de las 26 subcategorías de impacto evaluadas para cada empresa y sector del sistema del transporte de manera agregada, tiende a ubicarse en un nivel medio al compensar los impactos negativos que tienen algunos procesos sobre unas categorías de impacto frente a los impactos positivos que pueden tener los mismos u otros procesos frente a otras categorías de impacto. Es por esto importante analizar los impactos individuales del sistema frente a cada categoría de impacto y cada *stakeholder*.

De manera global, se puede destacar el impacto positivo que tiene el sistema en la categoría relacionada con las Repercusiones Socioeconómicas, en donde se obtienen un índice de impacto de 3,68, Figura IV.49. Los procesos que más contribuyen al índice de impacto positivo en las Repercusiones Socioeconómicas son los de tráfico y la producción de combustible, principalmente relacionados con la Creación de Empleo Local y Contribución a la Economía Nacional. Estas dos subcategorías de impacto, además de tener valoraciones altas en dichos procesos, contribuyen de manera importante a elevar el promedio de la categoría de Repercusiones Socioeconómicas al tener los índices de prioridad más altos en esta categoría de impacto. Sin embargo, el positivo índice de impacto en esta categoría no contribuye mucho al aumento del IDS del sistema ya que es la cuarta categoría en orden de importancia, siendo solo más importante que la categoría de Patrimonio y Comunidades, según los *stakeholders* entrevistados, Figura IV.51.

Analizando de manera global el impacto sobre los *stakeholders*, destaca el impacto ligeramente positivo sobre la Comunidad Local, influenciado principalmente, al igual que en la categoría de Repercusiones Socioeconómicas, por la subcategoría de Creación de Empleo Local, la cual es considerada la más importante para este grupo de interés.

Centrando el análisis discriminado por procesos del sistema, si es posible evidenciar los impactos negativos que de manera agregada no se percibían en ninguna categoría de impacto ni en los *stakeholders*. Por ejemplo, en la categoría de Derechos Humanos, el proceso de construcción de carreteras evaluado a nivel sectorial y nacional arroja un índice de impacto negativo, el cual de manera global es compensado por el índice de impacto positivo que arroja el proceso de producción de combustibles, en el cual contribuyen de manera importante las políticas y esfuerzos de las empresas Ecopetrol y Terpel en la prevención del Trabajo infantil y el Trabajo forzado.

En la categoría de Derechos de los Trabajadores, el proceso de construcción de carreteras presenta un índice de impacto negativo, principalmente por las malas condiciones para la Seguridad y Salud en el Trabajo del sector y las limitaciones para la Libre Asociación de los Trabajadores, dada el tipo de contratación y los riesgos presentes para los trabajadores en el país. De manera global, el índice de impacto negativo en la categoría de los Derechos de los Trabajadores generado en el proceso de la construcción de carreteras, es compensado por los índices de impacto medio y positivo en el procesos de fabricación de vehículos y producción de combustibles, respectivamente; influenciados por valoraciones muy positivas en las subcategorías de Salario Justo y en la de Beneficios Sociales y Seguridad Social, de las cuales, la subcategoría Salario Justo es considerada como la más importante en la categoría de Derechos de los Trabajadores.

El proceso de construcción de carreteras, también arroja un índice de impacto negativo en la categoría de Gobernanza, debido a los altos índices de corrupción en el sector y el país y el hallazgo de sentencias por competencia desleal para las empresas productoras de cemento por cartelización. Este impacto negativo, no es compensado por los otros procesos ya que en general tienen índices de impacto medio en esta categoría de gobernanza.

En el proceso de tráfico, la empresa de transporte tiene principalmente índices de impacto medios, aunque se observa que hay índices de impacto que tienden a negativo relacionados con la categoría de Gobernanza por no tener mecanismos para prevenir la Corrupción en las relaciones de sus empleados con empleados públicos y en la categoría de Patrimonio y Comunidades por la baja valoración en la subcategoría de Transparencia en Temas Sociales y Medioambientales, debido al desconocimiento y la falta de reporte de sus impactos a la comunidad y por no contar con página web en donde las personas puedan conocer más de la empresa. Otras subcategorías en el proceso de tráfico que obtuvieron valoración negativa fueron las de Desarrollo Tecnológico y la de Prevención de Conflictos Armados, pero que fueron compensadas por valoraciones positivas en las subcategorías de Creación de Empleo Local y otras ligeramente positivas como la Contribución a la Economía Nacional y las de Confidencialidad y Mecanismos de Retroalimentación con los Clientes, correspondientes a la categoría de Repercusiones Socioeconómicas. La subcategoría de Desarrollo Tecnológico, si bien en el sector del transporte en Colombia no hay mucha inversión en innovación y desarrollo, la empresa podría mejorar este aspecto modernizando sus instalaciones y su flota, mejorando la eficiencia de su operación. Por el lado de la Prevención de Conflictos Armados, la valoración negativa es básicamente por operar en una zona con alto nivel de conflictos, aunque la empresa no puede hacer mucho para esto ya que es la única ruta que opera la empresa.

Por parte del proceso de fin de vida, la mayoría de sus resultados se encuentran en un término medio. Se destacan las valoraciones positivas en la subcategoría de Acceso a los Recursos Inmateriales por los programas e iniciativas de educación a las comunidades y en la subcategoría de Contribución a la Economía Nacional. Aunque también en el proceso de fin de vida se han obtenido valoraciones negativas específicas como en la subcategoría de Libre Asociación de los Trabajadores, por algunas denuncias de limitación al ejercicio sindical.

En cuanto al análisis de impacto a los *stakeholders*, los procesos secundarios arrojan de manera general impactos positivos principalmente para los Clientes y la Comunidad Local, mientras que la Sociedad es principalmente beneficiada por los procesos de combustibles y fin de vida de vehículos. Las principales subcategorías con impactos positivos fueron los Mecanismos de Retroalimentación con los Clientes y la Creación de Empleo Local. Por otro lado, de manera general, el *stakeholder* con impactos entre medios y negativos fue el de los Trabajadores, principalmente por las limitaciones para el ejercicio sindical y por los horarios de trabajo largos y poco flexibles en las actividades de los procesos secundarios, mientras que en el proceso de tráfico, la subcategoría con valoración menos favorable fue la de Igualdad de Oportunidades, por la baja participación de mujeres en estas actividades.

Los resultados cuantitativos de estos análisis de impacto son presentados de manera resumida en los Anexos F.11 y F.12. A partir de estos anexos son obtenidas las conclusiones preliminares presentadas.

### **Análisis de completión y consistencia de los resultados**

En el caso a estudio para la empresa de transporte de mercancías realizado en Colombia, en general se tuvo acceso a suficiente información de acuerdo con los objetivos de profundidad del análisis de inventario planteado para cada eslabón del sistema, con excepción del proceso de construcción de carreteras, para el cual se tuvo que realizar una recopilación de datos nivel sectorial mediante indicadores de análisis genérico.

Para el cálculo de los índices de prioridad de categorías y subcategorías de impacto, fueron excluidas las respuestas dadas por el conductor contratado por la empresa, ya que se percibió un desconocimiento y falta de experiencia en varios temas y una parcialidad en sus respuestas, las cuales casi en su totalidad fueron muy positivas, posiblemente con el fin de no perjudicar a su empresa.

En cuanto al análisis de impactos encontrados en cada uno de los procesos evaluados, el proceso de construcción de carreteras arroja índices de impacto social con valores más bajos que los obtenidos por las empresas analizadas de forma específica en los demás procesos secundarios, ya que las valoraciones se han ajustado a la realidad del sector en el país en donde hay diversos tipos de problemáticas sociales dependiendo de la región del país. Por esta razón, en el cálculo del IDS del sistema le fue asignado un peso menor durante la ponderación de actividades del sistema, por lo que en los resultados finales, esta falta de profundidad y precisión en este proceso de construcción de carreteras no afectaría significativamente.

Por lo anterior, y considerando que en la ponderación relativa de los eslabones del sistema basados en los diferentes niveles de análisis de inventario y en la ubicación geográfica, como también en la ponderación de subcategorías de impacto basados en índices de prioridad a partir de la información dada por los *stakeholders* entrevistados, podría existir un grado de subjetividad, es necesario un análisis de sensibilidad para observar los efectos en los resultados finales del estudio.

En este sentido, se establecen cuatro escenarios diferentes, incluyendo el de los resultados finales presentados en la fase anterior, escenario (d). Los escenarios serían los siguientes:

- a) Pesos iguales, sin incluir índices de prioridad
- b) Pesos iguales, incluyendo índices de prioridad
- c) Ponderado, sin incluir índices de prioridad
- d) Ponderado, incluyendo índices de prioridad

De esta manera, los índices de impacto del sistema obtenidos en los diferentes escenarios discriminados por categorías de impacto son presentados en la Figura IV.53 y por *stakeholder* en la Figura IV.54.

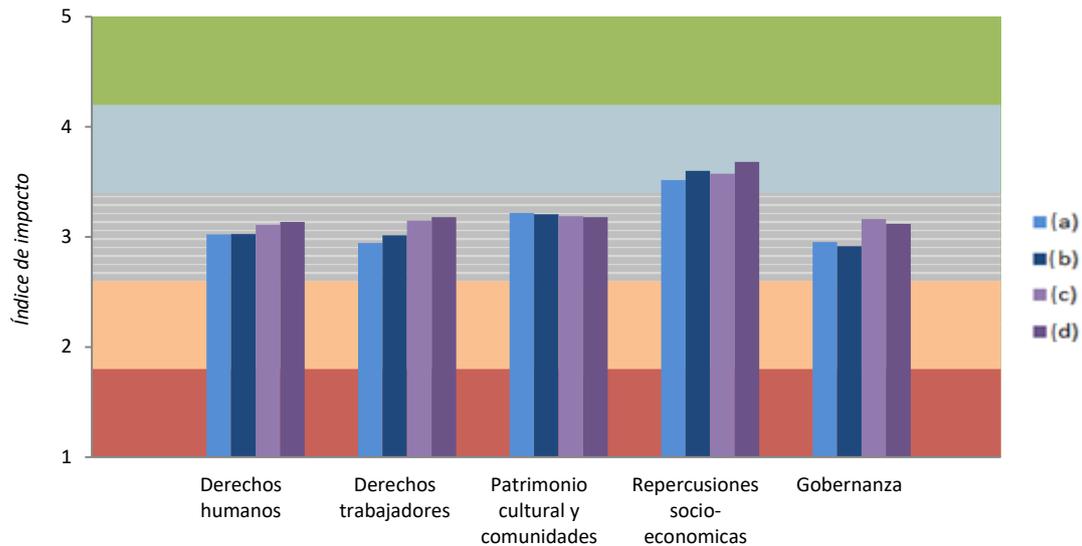


Figura IV.53. Índices de impacto social del sistema por categorías en diferentes escenarios caso Colombia

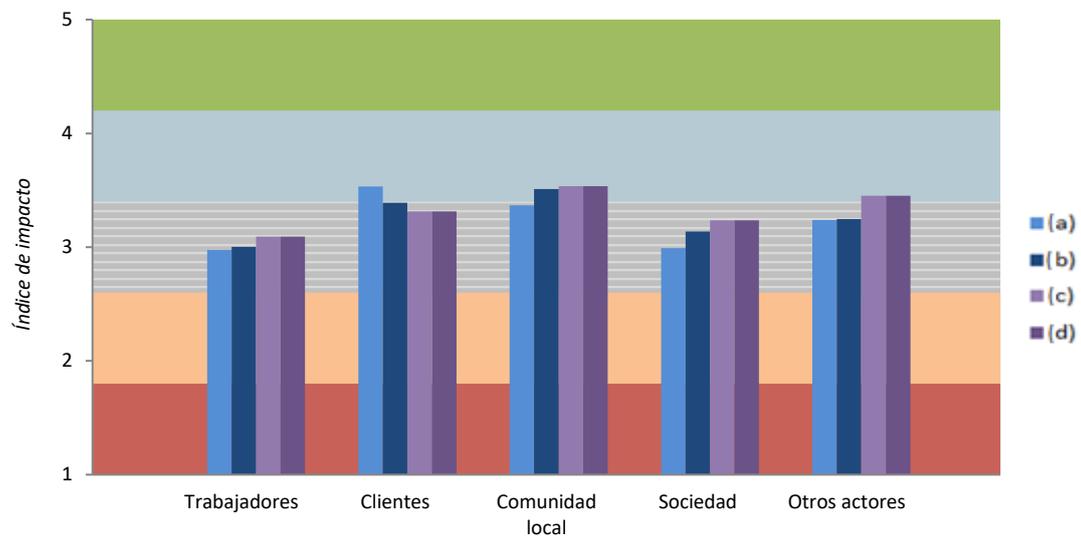


Figura IV.54. Índices de impacto social del sistema por stakeholders en diferentes escenarios caso Colombia

De acuerdo con el análisis de sensibilidad para los índices de impacto por categorías, de manera general se observa que en los escenarios (c) y (d), al darle mayor relevancia a los resultados de las empresas evaluadas con el análisis Nivel 2, se obtienen mejores índices de impacto, con excepción de la categoría de Patrimonio y Comunidades, la cual no varía mucho debido a que los sectores evaluados genéricamente en Colombia obtienen en esta categoría similares resultados que las empresas evaluadas, Figura IV.53.

Se mantienen los resultados positivos para la categoría de Repercusiones Socioeconómicas, ya que la mayoría de las empresas y los sectores evaluados presentan impactos positivos en casi las mismas subcategorías de impacto relacionadas con esta categoría.

La categoría de impacto en donde se presenta alta variabilidad en los índices de impacto es la de Gobernanza. En los escenarios en donde se da un peso igual a todas las actividades, los índices de impacto relacionados con la gobernanza sufren una reducción significativa, dado que las valoraciones obtenidas para los sectores evaluados mediante el análisis de inventario Nivel 1 en Colombia, fueron negativas, especialmente en la subcategoría de Corrupción. Entre estos escenarios que no consideran la ponderación de actividades, el que particularmente sufre mayor reducción en el índice de impacto para la categoría de Gobernanza es el escenario (b), en donde para la categoría de Gobernanza, la subcategoría de Corrupción es considerada la más importante según los entrevistados.

Para la categoría de impacto de Derechos de los Trabajadores, también hay reducción apreciable en los índices de impacto al darle igual peso a los resultados de los análisis a las empresas y sectores del sistema. Esta situación se da porque en los sectores evaluados en Colombia hay valoraciones negativas principalmente para las subcategorías de Libre Asociación de Trabajadores y de Seguridad y Salud en el trabajo. Los índices de impacto en la categoría de Derechos de los Trabajadores mejoran al incluir los índices de prioridad de subcategorías, ya que la subcategoría de Salario Justo es considerada como la más importante, contribuyendo así al incremento del índice de impacto de la categoría dado que las empresas evaluadas con el análisis de inventario Nivel 2 presentan valoraciones muy positivas en el aspecto salarial.

En cuanto al análisis de los escenarios para los índices de impacto social por *stakeholder*, se presenta una variación significativa, especialmente para el *stakeholder* Clientes, en donde los índices de impacto pasan de medio a positivos al considerar pesos iguales para todas las actividades. Esto se da porque la empresa de transporte, la cual tenía mayor ponderación en el ASCV estudiado, presentaba una valoración negativa para la subcategoría de transparencia en temas sociales y medioambientales, mientras que sus proveedores directos presentaban valoraciones muy positivas en esta subcategoría y las demás relacionadas con el *stakeholder* clientes. De igual manera, se observa que, al considerar los índices de prioridad de subcategorías, los índices de impacto para el *stakeholder* Clientes se ven reducidos ya que la subcategoría de Transparencia en Temáticas Sociales y Medioambientales es considerada como muy importante por los entrevistados.

Otro *stakeholder* en donde se presenta una variación significativa de los índices de impacto es el de Sociedad en el escenario (a). Esto es debido a que en los escenarios en donde se daba un peso mayor a las empresas evaluadas con análisis de inventario Nivel 2, estas obtuvieron valoraciones muy positivas en las subcategorías de Contribución a la Economía Nacional y en la de Desarrollo Tecnológico. Adicionalmente, al incluir los índices de prioridad de subcategorías se mejoran los índices de impacto en este *stakeholder*, ya que estas dos subcategorías con valoraciones muy positivas son consideradas como las más importantes para este grupo de interés.

Algo similar a lo anterior ocurre para el *stakeholder* Trabajadores, ya que para este grupo de interés la subcategoría de Salario Justo es considerada como la más importante y las valoraciones para esta subcategoría en las empresas evaluadas con análisis de inventario Nivel 2 fueron muy positivas, contribuyendo al aumento de los índices de impacto para los

trabajadores a medida que se le da un mayor peso a estas empresas y se consideran los índices de prioridad de subcategorías de impacto.

A partir del análisis de sensibilidad para los escenarios establecidos, es posible también obtener diferentes IDS del sistema. En este sentido, los IDS para cada escenario son presentados en la Tabla IV.82.

**Tabla IV.82. Índices de desempeño social del sistema en los diferentes escenarios caso Colombia**

| Escenario | IDS  |
|-----------|------|
| (a)       | 3,19 |
| (b)       | 3,13 |
| (c)       | 3,27 |
| (d)       | 3,24 |

De manera similar a los análisis anteriores, los IDS del sistema aumentan ligeramente al considerar los factores de ponderación de actividades, aunque disminuyen un poco al introducir los índices de prioridad de categorías de impacto, ya que la categoría que tenía índice de impacto más positivo, la de Repercusiones Socioeconómicas, no es tan importante frente a las demás categorías como la de Derechos de los Trabajadores, la cual es la más importante, pero que tiene un índice de impacto medio, afectando el IDS agregado del sistema.

Como conclusión del análisis de sensibilidad, se puede afirmar que la precisión alcanzada al ponderar las actividades e incluir los índices de prioridad de subcategorías y categorías de impacto es válido para este ASCV, ya que, por un lado, otorgarle igual peso a los resultados de los sectores analizados genéricamente no reflejaría los impactos sociales reales del sistema, dado que estos análisis sectoriales incluyen el desempeño negativo de empresas que operan en la informalidad, las cuales en Colombia eran aproximadamente el 48% en 2017 [667], mientras que en este ASCV las empresas del sistema cumplirían con los mínimos requisitos legales exigidos para su operación. Por otro lado, dar igual relevancia a todas las subcategorías y categorías de impacto, no permitiría identificar con facilidad los puntos críticos en donde se deberían atacar las problemáticas de mayor interés para los *stakeholders* afectados por el sistema evaluado.

### **Recomendaciones generales y contribuciones de los *stakeholders***

De manera general, se han identificado que en este caso a estudio, los puntos críticos y la relevancia que han identificado los *stakeholders*, se centran en los aspectos relacionados con la mejora de los Derechos de los Trabajadores, los Derechos Humanos y la Gobernanza.

Para los Trabajadores, la subcategoría de impacto más importante es la del Salario Justo. Sin embargo, las principales problemáticas halladas son las relacionadas con la Libertad de Asociación de Trabajadores, el Horario Laboral Justo y la Salud y Seguridad en el Trabajo. De manera concreta, si se permitiera una mayor inclusión y participación de los trabajadores en las decisiones de la empresa a través de la asociación de trabajadores, los indicadores

relacionados con el horario laboral, las condiciones de salud y seguridad en el trabajo e incluso el salario, mejorarían considerablemente. De igual manera, el aspecto relacionado con los Derechos Humanos que es valorado medianamente bajo y que podría mejorar con la asociación de trabajadores es la de Igualdad de Oportunidades, ya que las mujeres no tienen las mismas oportunidades que los hombres en ninguno de los procesos del sistema de transporte.

De manera específica, tanto para la empresa de transporte evaluada, como para este subsector de transporte de mercancías, el IDS del sistema podría mejorar aumentando la inversión en Desarrollo Tecnológico y en estudios medioambientales y sociales, debidamente publicados, mejorando la eficiencia de las operaciones y serviría de ejemplo para competidores, clientes y proveedores, contribuyendo de manera global a un sector más transparente y sostenible en el país.

Entre las decisiones a corto plazo que pueden ser tomadas por las empresas de transporte para mejorar el IDS en el ciclo de vida del sistema, son básicamente las referentes a los combustibles, ya que cambiar de proveedor de vehículos o cambiar la carretera usada no son opciones muy factibles, en el caso de empresa de transporte analizada. En este caso, cambiar los camiones Chevrolet no es una opción en el corto plazo, ya que aún se están pagando y para la vida útil media de los camiones en Colombia, estos aún no se consideran viejos. Por otro lado, la carretera usada es la única que hay disponible para su principal destino. En este sentido, la empresa podría contemplar cambiar el proveedor de combustible, por lo que se podría realizar un ASCV para otro distribuidor diferente a Terpel y así poder comparar el impacto en el IDS del sistema. Sin embargo, el cambio en el distribuidor de combustible no generaría cambios significativos en el IDS del sistema, ya que los impactos aguas arriba del distribuidor serían iguales porque también compraría el combustible a Ecopetrol, empresa que controla el 100% del refinado e importación de diésel en el país.

Por lo anterior, y teniendo en cuenta que el distribuidor de combustible actual no genera impactos negativos a nivel general, e incluso tiene índices de impacto positivos en muchos aspectos, la empresa de transporte deberá enfocar las acciones para mejorar el IDS al interior de su empresa, principalmente las relacionadas con sus trabajadores, comunidad local y clientes.

Estas recomendaciones, basadas en los hallazgos del análisis de inventario y evaluación del ciclo de vida del servicio de transporte, también coinciden con las recopiladas en las entrevistas a los representantes de los *stakeholders*.

A partir de la pregunta B.15, los entrevistados comentaron de qué forma las empresas del sector del transporte de mercancías por carretera podrían potenciar o favorecer los impactos sobre cada categoría.

Básicamente, la mayoría de entrevistados coincidieron en que para lograr un mejor desempeño social, las empresas y camioneros autónomos, deben fortalecer la asociatividad, mediante agremiaciones empresariales, con las cuales pueden tener mayor participación y capacidad de negociación frente a las políticas gubernamentales y los proveedores, con las que pueden obtenerse mayores beneficios que mejoren de manera general la productividad de las

empresas y, por lo tanto, los derechos de los trabajadores, los derechos humanos, las repercusiones socioeconómicas en el país y los impactos en las comunidades locales. La asociatividad también contribuiría de manera específica al desarrollo tecnológico de las pequeñas y medianas empresas, las cuales podrían desarrollar proyectos de innovación de manera conjunta. De igual manera, esta asociatividad mejoraría los aspectos relacionados con la gobernanza, al establecerse políticas y códigos de ética comunes entre las empresas para disminuir la competencia desleal, la corrupción y establecer planes de responsabilidad social y metas y compromisos en temas medioambientales que contribuyan a la sostenibilidad del sector. De igual manera, con el establecimiento de códigos de conducta de manera conjunta para la selección de proveedores, dado el volumen de compra que el subsector del transporte de mercancía podría generarle a los proveedores, estos se esforzarían más en cumplir los requisitos establecidos en estos códigos.

## **4.2.2. ASCV caso a estudio Malasia**

### **4.2.2.1. Definición de objetivos y alcance**

La empresa de transporte *Prima Transport and Trading* cuenta con su oficina principal en el área metropolitana de Kuala Lumpur, capital en Malasia. Esta área metropolitana, conocida como Klang Valley, ubicada en el sur occidente de Malasia peninsular, reúne una población de aproximadamente 7,3 millones de habitantes, en una superficie de 2243 km<sup>2</sup> [668]. Para 2016, Kuala Lumpur alcanzaba un PIB per cápita de 24 mil dólares [669]. Su población es conformada por malayos (45,9%), chinos (43,2%), indios (10,3%) y otros (1,6%) [670].

La empresa realiza el servicio de transporte de mercancía básicamente para dos rutas; una de corta distancia al interior del área metropolitana de Kuala Lumpur a diferentes clientes y otra de larga distancia a su cliente principal en la ciudad de Kulim, en el estado de Kedah, ubicado al noroccidente de Malasia peninsular. Kulim, con cerca de 287 mil habitantes, es un nodo altamente industrializado que hace parte del área metropolitana de Penang, la segunda más grande de Malasia con aproximadamente 2,7 millones de habitantes y un PIB per cápita de 11 mil dólares en 2016 [671]. Su población está conformada por chinos (53,1%), malayos (31,7%), indios (8,9%) y otros (6,3%) [670]. Tanto el área metropolitana de Kuala Lumpur como la de Penang cuentan con una desarrollada infraestructura para el transporte terrestre, marítimo y aéreo, con fácil acceso a los principales puertos marítimos al occidente de Malasia peninsular, Figura IV.55.



**Figura IV.55. Área metropolitana de Kuala Lumpur (en azul) y Penang (en rojo) en Malasia peninsular.**  
Basado en [672].

La unidad funcional del sistema es el servicio de transporte de mercancías por carretera en un camión diésel marca Nissan entre Kuala Lumpur y Kulim. De esta manera, las empresas identificadas como proveedores directos en cada uno de los componentes claves del sistema son:

- Proceso Vehículos: concesionaria Nissan
- Proceso Combustibles: estación de servicio Petron
- Proceso Infraestructura: operador carretera Kuala Lumpur- Kulim

A partir de esto, mediante un pre-análisis de estos proveedores directos a partir de fuentes secundarias, se identifican las empresas involucradas en la cadena de valor de cada proceso, así como los involucrados en el proceso de fin de vida, los cuales se presentan en la Figura IV.56.

#### **4.2.2.2. Análisis de inventario**

En esta fase se deben recoger los datos iniciales para realizar la priorización y selección de actividades críticas para la refinación de límites del sistema, la selección de los indicadores para cada subcategoría de impacto y la recolección de información.

### Niveles de análisis de inventario

De acuerdo con los objetivos y alcance del estudio, son definidos los niveles de profundidad del análisis de inventario que se aplicarán a las empresas identificadas en cada eslabón del ciclo de vida del sistema del transporte. Estos niveles de análisis son indicados en la parte inferior de Figura IV.56.

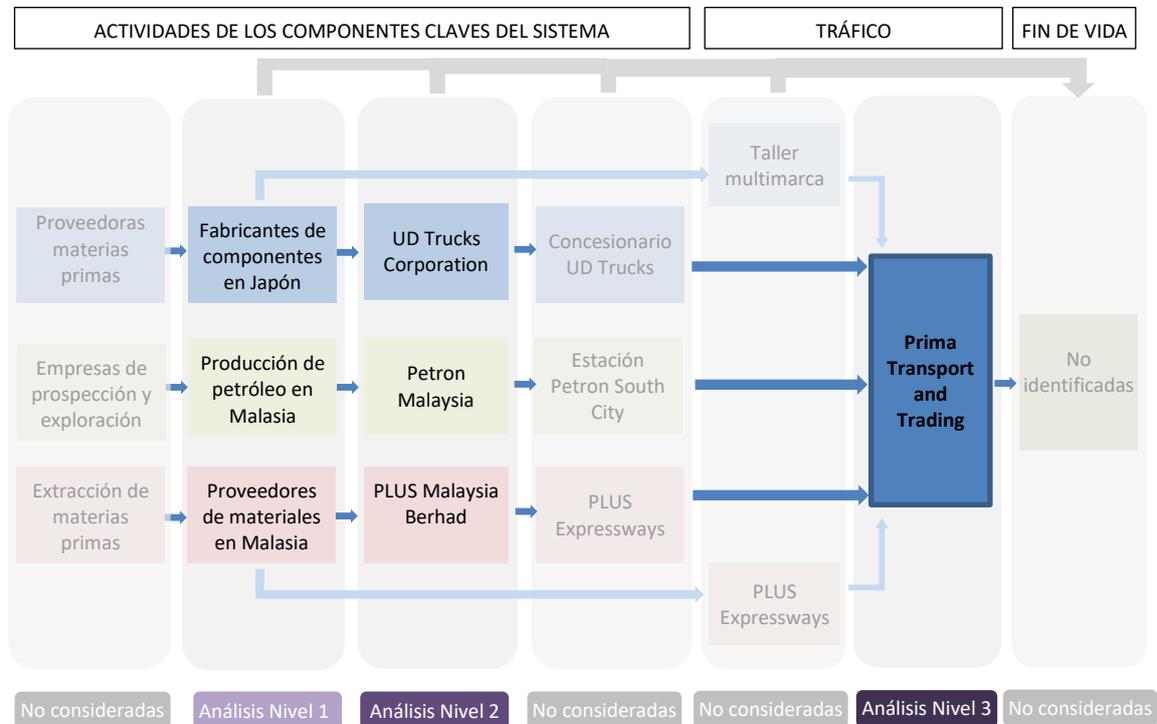


Figura IV.56. Delimitación sistema de transporte para el caso Malasia

Para la definición de la cadena de valor del proceso de vehículos, se determina que los camiones Nissan de 10 t utilizados en la ruta seleccionada fueron fabricados en el 2002 y 2005 por la empresa *Nissan Diesel Motor Co.* en Japón, la cual, luego de ser adquirida en 2006 por el grupo Volvo AB, cambia su nombre en 2010 por *UD Trucks Corporation* [673]. La empresa fabricante, con base en Ageo, Japón, continúa fabricando los camiones con componentes en su mayoría de origen local, bajo la marca UD, que son comercializados por su distribuidor autorizado en Malasia, *Tan Chong Motor Bhd*, comercializando diferentes marcas de vehículos en diferentes concesionarias, entre ellas las de *UD Trucks* [674].

Para el proceso de combustibles, la estación de servicio usada por la empresa de transporte es la estación *Petron South City*, una de las 550 abanderadas por *Petron Malaysia*, filial de la multinacional filipina *Petron Corporation* [675]. *Petron*, además de la actividad de distribución minorista y mayorista de combustibles, también participa en refinación y la producción de petróleo en Malasia, a través de subsidiarias que fueron adquiridas a *ExxonMobil* en 2012. Los combustibles distribuidos en sus estaciones de servicio *Petron* son producidos por la misma empresa en su refinería de Port Dickson, a 90 km de Kuala Lumpur [675].

En cuanto a los proveedores de la refinería de Port Dickson, *Petron* importa el crudo ligero bajo en azufre de diversos países a través de una combinación de contratos a plazos y de contado, aunque su principal proveedor de crudo con el cual tienen un contrato de suministro

de larga duración es la empresa *ExxonMobil Exploration and Production Malaysia Inc.* (EMEPMI), con operación en Malasia [633].

Para el proceso de infraestructura, se determina que la carretera usada para la ruta es la autovía E1, la cual es la parte norte de la autovía *North-South Expressway (NSE)*, que a su vez hace parte de la *Asian Highway 2*, autopista que conecta 10 países asiáticos desde Indonesia hasta Irán [676]. La NSE inicia desde el norte de Malasia peninsular en la frontera con Tailandia, hasta el sur en la frontera con Singapur, atravesando las principales ciudades del occidente de Malasia peninsular. Esta autovía fue construida y abierta oficialmente en 1994 por el concesionario privado *Projek Lebuhraya Utara-Selatan Berhad (PLUS)*, como una alternativa a la Ruta Federal 1, para aliviar la congestión en la carretera pública, convirtiéndose en el principal eje vial de la península, el cual es operado por la subsidiaria *PLUS Expressways*. La autovía E1 corresponde a la sección que va desde la frontera con Tailandia hasta Kuala Lumpur, en donde se conecta con la autovía E2, que corresponde a la sección sur de la NSE desde Kuala Lumpur a la frontera con Singapur. La empresa constructora cambió su nombre en 2011 por *Projek Lebuhraya Usahasama Berhad*, manteniendo las siglas *PLUS*, y quedando como subsidiaria de *PLUS Malaysia Berhad (PMB)* [677], y miembro del grupo empresarial *United Engineers Malaysia Berhad (UEM Group)* [678]. La carretera que conecta Kulim con la autovía E1 es la autovía E15, también fue construida y es operada por PMB, con concesiones hasta diciembre 2038 [677].

Los materiales para la construcción de carreteras como cemento y hormigón, son adquiridos localmente gracias a la producción de 8 empresas cementeras que satisfacen completamente la demanda de materiales en el país, incluso operando por debajo del 72% de su capacidad [679]. La mayoría de estas empresas cementeras están verticalmente integradas con sus fábricas de hormigón como producto final. Esta integración vertical llega incluso hasta las constructoras de las carreteras como es el caso de PMB, la cual tiene como principal proveedor para las obras de mantenimiento y pavimentación de la NSE a la empresa *Cement Industries of Malaysia Berhad (CIMA)*, perteneciente al mismo grupo empresarial *UEM Group* [678].

Las actividades de distribución minorista, operación y mantenimiento relacionadas con cada uno de los procesos secundarios del sistema no son consideradas en este ASCV, debido principalmente a que estas empresas están integradas verticalmente con las empresas mayoristas, como es el caso de la concesionaria de venta de camiones y la estación de servicio de combustible. De manera similar, es el caso de la empresa encargada de la operación y mantenimiento de la carretera, la cual hace parte del grupo empresarial que construyó la carretera, adquiriendo los derechos de explotación de esta a través de una concesión de 48 años [680].

En cuanto a la empresa encargada del mantenimiento de los camiones, esta no es considerada, no por estar integrada o autorizada por su distribuidor mayorista *UD Trucks* para el mantenimiento de camiones Nissan, sino porque esta actividad es realizada por un mecánico de confianza particular, quien trabaja a domicilio o en su taller, reparando toda clase de vehículos, a quien no fue posible realizar el análisis de inventario correspondiente. Consecuentemente, las empresas especializadas en las actividades de tratamiento de fin de vida para los aceites de motor y neumáticos usados no pueden ser identificadas directa ni

indirectamente, ya que existen en la ciudad una gran cantidad de empresas que prestan estos servicios, por lo cual estas actividades no son consideradas en este estudio.

La identificación de la empresa que podría encargarse en el futuro del desmantelamiento y reciclado de los camiones tampoco fue posible para ser incluida en el ASCV, ya que existe una gran cantidad de pequeñas y medianas empresas que realizan esta actividad en Kuala Lumpur, las cuales venden la chatarra resultante a las grandes empresas metalúrgicas de la región o a otros países.

### **Selección de indicadores**

Para este caso a estudio se ha definido evaluar las 26 subcategorías de impacto propuestas en la metodología de ASCV, por lo que serán utilizados tanto los indicadores de análisis genérico como los de análisis específico presentados en la metodología en las Tablas III.29 a III.38.

### **Instrumentos de recopilación de datos**

Para las diferentes empresas y sectores económicos se realiza un determinado tipo de análisis con relación a su ubicación en la cadena de valor, el acceso a la información, alcance y objetivo del estudio. En este sentido, el tipo de análisis de inventario definido para cada eslabón del sistema se detalla en la parte inferior de la Figura IV.56. La información para los indicadores en los análisis Nivel 1 y 2 se obtiene a partir de fuentes secundarias, mientras que para los indicadores en el análisis Nivel 3, aplicado a la empresa de transporte, se obtiene mediante fuentes primarias.

El análisis de inventario para la empresa de transporte, se realiza mediante el cuestionario para la empresa y visitas personales. Adicionalmente, los resultados para cada subcategoría de impacto del análisis de la empresa serían validados con los resultados de las entrevistas semiestructuradas relacionados con la percepción de los *stakeholders* sobre los impactos de las operaciones de las empresas del sector de transporte de mercancías por carretera en la región.

La percepción de los *stakeholders* se obtiene mediante el desarrollo de entrevistas semiestructuradas a un total de 12 personas, representantes clave de cada uno de los diferentes grupos de interés, Tabla IV.83. Por temas de confidencialidad y tratamiento de datos personales, los nombres de los entrevistados y la empresa o institución a la que pertenecen no son presentados en esta tabla.

**Tabla IV.83. Representantes de grupos de interés entrevistados en Malasia**

| <i>Stakeholder</i> | Subgrupo de interés                                    | Perfil del entrevistado  |
|--------------------|--|--|
| Trabajadores       | Trabajador por cuenta ajena                            | Conductor contratado en la empresa de transporte   |
|                    | Trabajador por cuenta propia<br>Asociación conductores | Conductor y miembro de asociación de camioneros  |
| Clientes           | Cliente  | Propietario y director de fábrica transnacional de textiles                                      |
| Comunidad local    | Administración pública / comunidad local               | Líder de comunidad religiosa local   |
| Sociedad           | Entidad financiera                                     | Gerente de sucursal bancaria   |
|                    | Medio de comunicación                                  | Comunicador social y escritor  |
|                    | Agencia de consultoría /servicios profesionales        | Ejecutiva servicio al cliente  |
| Otros actores      | Asociación empresarial                                 | Editor revista comercial de camiones y buses y líder asociación transportadores                  |
|                    | Empresa de transporte                                  | Gerente empresa de transporte  |
|                    | Proveedor de mantenimiento de vehículos                | Ingeniera de servicio taller de mantenimiento de vehículos                                       |
|                    | Academia   | Profesora e investigadora en temas medioambientales  |
|                    | Corporación ambiental                                  | Director en empresa de certificación ambiental y social, con trayectoria en fundaciones como WWF |

Las valoraciones dadas por los *stakeholders* son presentadas en la Tabla IV.85 de manera agregada mediante un promedio simple para cada subcategoría de impacto, con el fin de que estos resultados no puedan ser asociados con las opiniones de alguno de los entrevistados en particular.

El inventario realizado con indicadores de análisis específico para cada una de las empresas identificadas y para los sectores analizados con indicadores genéricos se presenta en los Anexos G.

#### 4.2.2.3. Evaluación de impactos

Antes de agrupar las subcategorías de impacto en las 5 diferentes categorías de impacto sugeridas en la metodología, es necesario realizar la caracterización de los resultados individuales de las subcategorías, con el fin de obtener valoraciones normalizadas que puedan ser promediadas de manera simple o ponderada.

#### Caracterización de análisis de inventario

Basados en la guía de evaluación por escalas de valoración para los subsectores analizados mediante indicadores de análisis genérico Anexo B.3, se tienen los resultados presentados en la Tabla IV.84.

**Tabla IV.84. Caracterización análisis de inventario Nivel 1 para el caso Malasia.**

| Subcategoría de impacto                                | Valoración por subsector                           |  |  |
|--|--|--|--|
|  | Fabricación de componentes para vehículos en Japón | Explotación/ producción de petróleo en Malasia | Producción de materiales para pavimentación en Malasia |
| Trabajo infantil                                       | ■  | ■  | ■  |
| Explotación/ trabajo forzado                           | ■  | ■  | ■  |
| Igualdad de oportunidades/ discriminación              | ■  | ■  | ■  |
| Libre asociación de trabajadores                       | ■  | ■  | ■  |
| Salario justo  | ■  | ■  | ■  |
| Horario laboral justo                                  | ■  | ■  | ■  |
| Seguridad y salud en el trabajo                        | ■  | ■  | ■  |
| Beneficios sociales/seguridad social                   | ■  | ■  | ■  |
| Transparencia en temas sociales/ medioambientales      | ■  | ■  | ■  |
| Confidencialidad con la información de los clientes    | ■  | ■  | ■  |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes       | ■  | ■  | ■  |
| Deslocalización y migración                            | ■  | ■  | ■  |
| Respeto a las tradiciones locales/ patrimonio cultural | ■  | ■  | ■  |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas    | ■  | ■  | ■  |
| Participación de la comunidad                          | ■  | ■  | ■  |
| Condiciones de vida seguras y saludables               | ■  | ■  | ■  |
| Acceso a recursos materiales                           | ■  | ■  | ■  |
| Acceso a recursos inmateriales                         | ■  | ■  | ■  |
| Creación de empleo local                               | ■  | ■  | ■  |
| Contribución a la economía nacional                    | ■  | ■  | ■  |
| Prevención y mitigación de conflictos armados          | ■  | ■  | ■  |
| Desarrollo tecnológico                                 | ■  | ■  | ■  |
| Corrupción   | ■  | ■  | ■  |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad          | ■  | ■  | ■  |
| Relaciones con los proveedores                         | ■  | ■  | ■  |
| Competencia desleal                                    | ■  | ■  | ■  |
| <i>Valoración promedio (de 1 a 5)</i>                  | <i>3,77</i>  | <i>3,54</i>                                    | <i>3,23</i>  |

Para la caracterización del análisis de inventario Nivel 2 realizado a empresas específicas mediante el sistema de puntuación descrito en el Anexo B.4, se presentan los resultados de las valoraciones y de las entrevistas realizadas a los *stakeholders* en las escalas de 0 a 10 en la Tabla IV.85.

**Tabla IV.85. Caracterización análisis de inventario Nivel 2 y 3 para el caso Malasia**

| Subcategoría de impacto                                | Nivel 2     |                 |                   | Nivel 3                     |                                    |
|--|-------------|-----------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------------|
|  | UD Trucks   | Petron Malaysia | PLUS Malaysia Bhd | Prima Transport and Trading | Valoración Entrevista stakeholders |
| Trabajo infantil                                       | 7           | 7               | 9                 | 5                           | 6,5                                |
| Explotación/ trabajo forzado                           | 7           | 6               | 8                 | 5                           | 4,1                                |
| Igualdad de oportunidades/ discriminación              | 7           | 6               | 7                 | 4                           | 4,4                                |
| Libre asociación de trabajadores                       | 6           | 6               | 6                 | 5                           | 4,5                                |
| Salario justo  | 5           | 10              | 6                 | 4                           | 6,8                                |
| Horario laboral justo                                  | 8           | 4               | 6                 | 7                           | 4,4                                |
| Seguridad y salud en el trabajo                        | 6           | 8               | 5                 | 4                           | 4,1                                |
| Beneficios sociales/seguridad social                   | 7           | 8               | 9                 | 6                           | 4,8                                |
| Transparencia en temas sociales/ medioambientales      | 7           | 6               | 4                 | 3                           | 3,7                                |
| Confidencialidad con la información de los clientes    | 8           | 7               | 7                 | 6                           | 6,2                                |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes       | 8           | 7               | 10                | 7                           | 4,1                                |
| Deslocalización y migración                            | 6           | 6               | 7                 | 5                           | 4,8                                |
| Respeto a las tradiciones locales/ patrimonio cultural | 6           | 7               | 8                 | 7                           | 7,3                                |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas    | 5           | 6               | 7                 | 5                           | 5,5                                |
| Participación de la comunidad                          | 5           | 6               | 7                 | 6                           | 5                                  |
| Condiciones de vida seguras y saludables               | 8           | 7               | 7                 | 6                           | 5                                  |
| Acceso a recursos materiales                           | 9           | 9               | 8                 | 5                           | 5,1                                |
| Acceso a recursos inmateriales                         | 8           | 7               | 7                 | 5                           | 5                                  |
| Creación de empleo local                               | 5           | 6               | 9                 | 8                           | 6                                  |
| Contribución a la economía nacional                    | 7           | 8               | 8                 | 5                           | 5,3                                |
| Prevención y mitigación de conflictos armados          | 6           | 5               | 5                 | 5                           | 4,8                                |
| Desarrollo tecnológico                                 | 10          | 8               | 7                 | 3                           | 4,3                                |
| Corrupción   | 8           | 7               | 9                 | 7                           | 4                                  |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad          | 7           | 6               | 5                 | 5                           | 4,2                                |
| Relaciones con los proveedores                         | 6           | 5               | 5                 | 6                           | 6,5                                |
| Competencia desleal                                    | 6           | 6               | 6                 | 5                           | 4,8                                |
| <i>Valoración promedio (de 1 a 5)</i>                  | <i>3,74</i> | <i>3,68</i>     | <i>3,80</i>       | <i>3,14</i>                 | <i>3,02</i>                        |

### Ponderación de subcategorías de impacto

Con el fin de hallar los *Índices de impacto social por procesos* del sistema, es necesario realizar una ponderación de las subcategorías de impacto, clasificadas por categoría de impacto o por *stakeholder*, para obtener los índices de impacto social agregados.

De los resultados de las entrevistas semiestructuradas a los *stakeholders*, se obtienen los índices de prioridad de las subcategorías de impacto clasificados por categoría de impacto social, Tabla IV.86

De manera similar, a partir de los datos obtenidos en la pregunta B.13, se calculan los índices de prioridad de las subcategorías de impacto, clasificadas por stakeholder, Tabla IV.87.

**Tabla IV.86. Índices de prioridad de subcategorías agrupadas por categorías de impacto social caso Malasia**

| Categoría de impacto              | Subcategoría de impacto                             | Índice de prioridad |
|-----------------------------------|---|---------------------|
| Derechos humanos                  | Trabajo infantil                                    | 0,40                |
|                                   | Explotación/trabajo forzado                         | 0,31                |
|                                   | Igualdad de oportunidades/ discriminación           | 0,29                |
| Derechos trabajadores             | Libre asociación de trabajadores                    | 0,14                |
|                                   | Salario justo                                       | 0,24                |
|                                   | Horario laboral justo                               | 0,22                |
|                                   | Seguridad y salud en el trabajo                     | 0,24                |
|                                   | Beneficios sociales/seguridad social                | 0,16                |
|                                   | Deslocalización y migración                         | 0,08                |
|                                   | Respeto a las tradiciones locales                   | 0,13                |
| Patrimonio cultural y comunidades | Respeto a los derechos de las comunidades indígenas | 0,13                |
|                                   | Participación de la comunidad                       | 0,15                |
|                                   | Condiciones de vida seguras y saludables            | 0,17                |
|                                   | Acceso a recursos materiales                        | 0,12                |
|                                   | Acceso a recursos inmateriales                      | 0,08                |
|                                   | Transparencia en temas sociales/medioambientales    | 0,14                |
|                                   | Creación de empleo local                            | 0,18                |
| Repercusiones socioeconómicas     | Contribución a la economía nacional                 | 0,19                |
|                                   | Prevención y mitigación de conflictos armados       | 0,10                |
|                                   | Desarrollo tecnológico                              | 0,15                |
|                                   | Relaciones con los proveedores                      | 0,14                |
|                                   | Confidencialidad con la información de los clientes | 0,13                |
|                                   | Mecanismos de retroalimentación con los clientes    | 0,11                |
| Gobernanza                        | Compromiso público en temas de sostenibilidad       | 0,25                |
|                                   | Corrupción  | 0,40                |
|                                   | Competencia desleal                                 | 0,35                |

**Tabla IV.87. Índices de prioridad de subcategorías agrupadas por stakeholders caso Malasia**

| Stakeholder     | Subcategoría de impacto                             | Índice de prioridad |
|-----------------|---|---------------------|
| Trabajadores    | Trabajo infantil                                    | 0,15                |
|                 | Explotación/ trabajo forzado                        | 0,15                |
|                 | Igualdad de oportunidades/discriminación            | 0,10                |
|                 | Libre asociación de trabajadores                    | 0,10                |
|                 | Salario justo                                       | 0,17                |
|                 | Horario laboral justo                               | 0,11                |
|                 | Seguridad y salud en el trabajo                     | 0,13                |
|                 | Beneficios sociales/seguridad social                | 0,10                |
| Clientes        | Transparencia en temas sociales/medioambientales    | 0,50                |
|                 | Confidencialidad con la información de los clientes | 0,33                |
|                 | Mecanismos de retroalimentación con los clientes    | 0,17                |
| Comunidad local | Deslocalización y migración                         | 0,03                |
|                 | Respeto a las tradiciones locales                   | 0,14                |
|                 | Respeto a los derechos de las comunidades indígenas | 0,11                |
|                 | Participación de la comunidad                       | 0,19                |
|                 | Condiciones de vida seguras y saludables            | 0,17                |
|                 | Acceso a recursos materiales                        | 0,08                |
|                 | Acceso a recursos inmateriales                      | 0,06                |
|                 | Creación de empleo local                            | 0,22                |
| Sociedad        | Contribución a la economía nacional                 | 0,30                |
|                 | Prevención y mitigación de conflictos armados       | 0,13                |
|                 | Desarrollo tecnológico                              | 0,28                |
|                 | Corrupción  | 0,30                |
| Otros actores   | Compromiso público en temas de sostenibilidad       | 0,20                |
|                 | Relaciones con los proveedores                      | 0,37                |
|                 | Competencia desleal                                 | 0,43                |

Con base en los índices de prioridad de las subcategorías de impacto asignados por los entrevistados, y considerando la ponderación de los resultados de los análisis Nivel 2 y Nivel 1, se obtienen los índices de impacto social para los procesos secundarios del sistema de transporte clasificados en categorías de impacto en la Figura IV.57 y clasificados por *stakeholder* en la Figura IV.58, sin considerar las actividades de fin de vida. Los resultados para el proceso de Tráfico, en este caso, para la empresa de transporte, también con incluidos en estas gráficas.

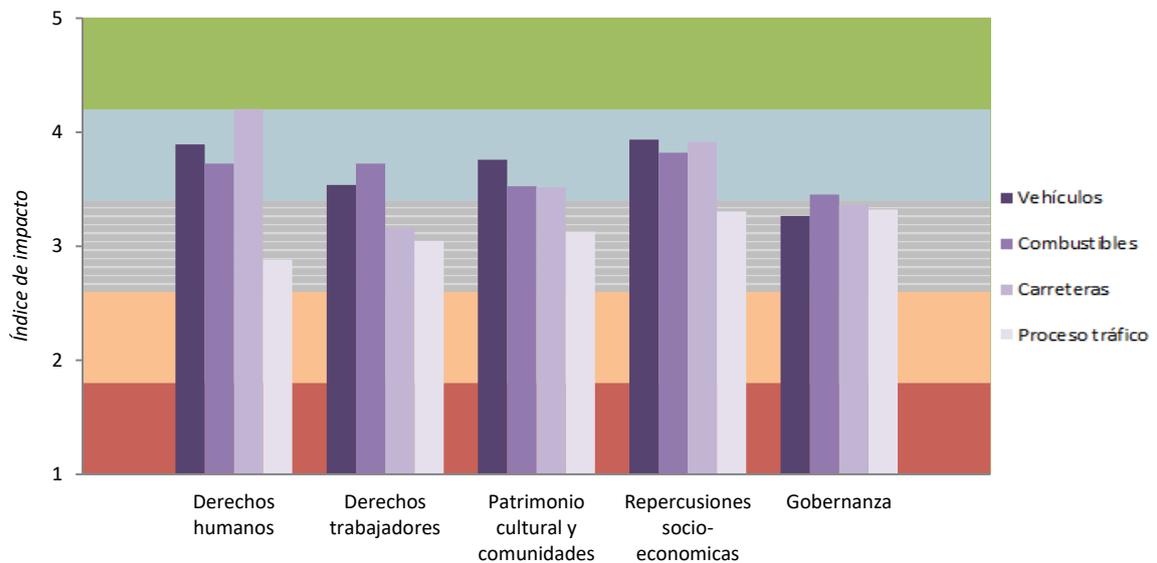


Figura IV.57. Índices de impacto social de los procesos del sistema por categoría caso Malasia

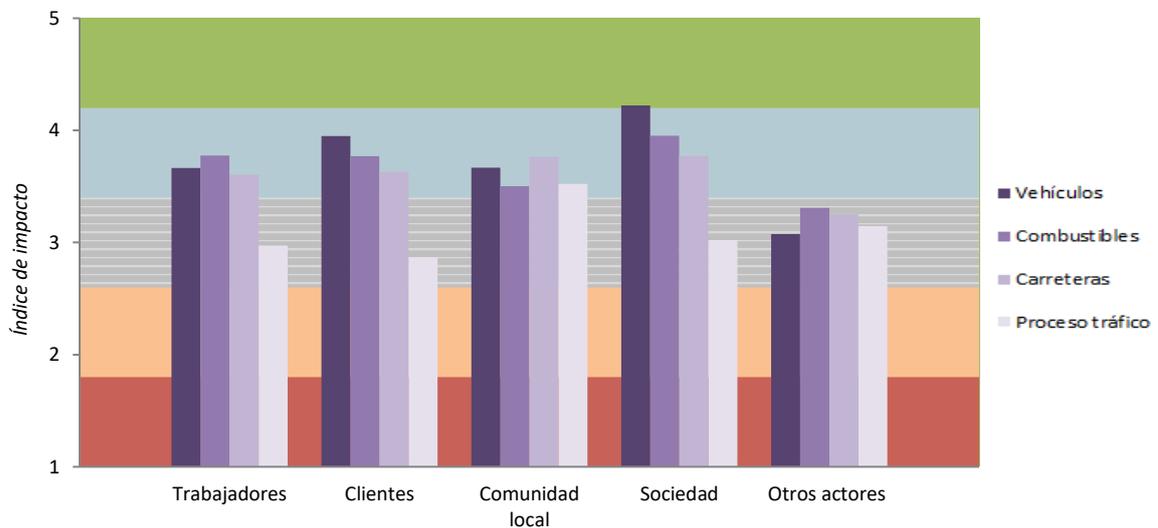


Figura IV.58. Índices de impacto social de los procesos del sistema por *stakeholder* caso Malasia

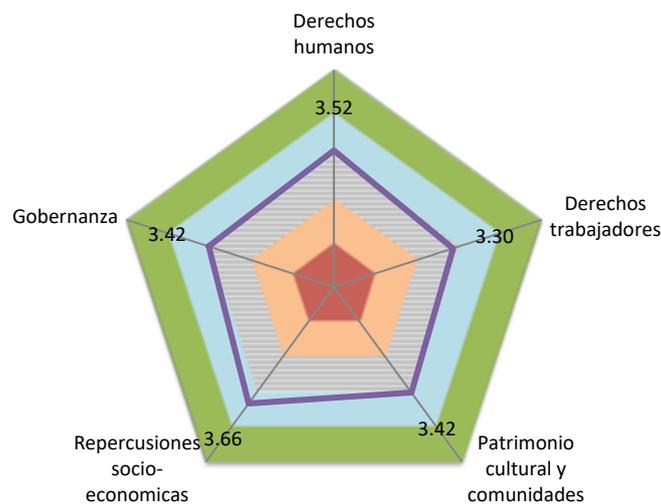
### Ponderación de actividades del sistema

Con el fin de obtener un único *índice de impacto social del sistema* por categoría de impacto o por *stakeholder*, se calculan los factores de ponderación de actividades del sistema. Para este caso a estudio, se deben recalculan los factores de ponderación presentados en la Tabla III.45, ya que en este ASCV, las empresas analizadas que están ubicadas en Malasia, se encuentran en un radio de 100 km de la ubicación de la empresa de transporte, por lo que no se utilizaría el factor de ponderación para empresas con actividad base en el resto del país. Asimismo, en este ASCV no son analizadas las empresas relacionadas con las actividades de mantenimiento de vehículos y carreteras. Los nuevos factores de ponderación se presentan en la Tabla IV.88.

**Tabla IV.88. Factores de ponderación de actividades del sistema de transporte caso Malasia**

| Proceso  | Actividad de la empresa  | Análisis inventario | Factor de ponderación |
|--|--|---------------------|-----------------------|
| Tráfico  | Transporte de mercancías por carretera                           | Nivel 3             | 0,40                  |
|  | Mantenimiento de vehículos                                       |                     | -                     |
|  | Mantenimiento de carreteras                                      |                     | -                     |
| Secundario   | Actividad con operación base en un radio de 100 km               | Nivel 2             | 0,24                  |
|  | Actividad con operación base en el resto del país                |                     | -                     |
|  | Actividad con operación base fuera del país                      |                     | 0,16                  |
|  | Proveedores de los procesos secundarios con operación en el país | Nivel 1             | 0,12                  |
| Proveedores de los procesos secundarios con operación fuera del país | 0,08   |                     |                       |

De esta manera, son obtenidos los índices de impacto social del sistema agregados por categorías de impacto en la Figura IV.59 y por *stakeholder* en la Figura IV.60.



**Figura IV.59. Índices de impacto social del sistema por categoría caso Malasia**

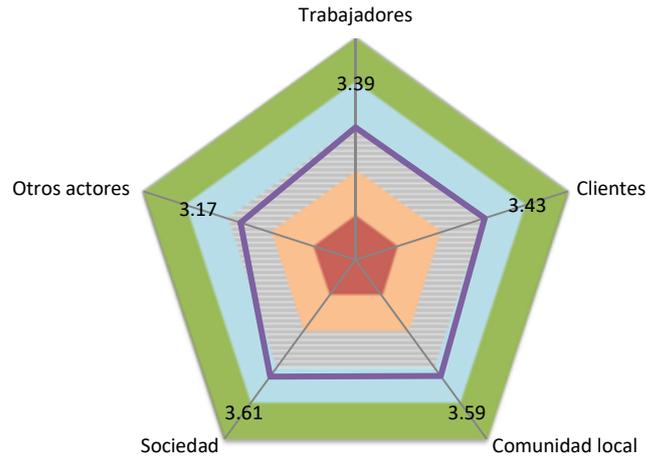


Figura IV.60. Índices de impacto social del sistema por *stakeholder* caso Malasia

### Índice de Desempeño Social del sistema

Como paso final de la etapa de evaluación de ASCV, se establecen en la Figura IV.61 los índices de prioridad para las cinco categorías de impacto social mediante los datos obtenidos en la pregunta B.12 del formato de entrevista, con el fin de calcular el IDS del servicio de transporte de mercancías en su ciclo de vida.



Figura IV.61. Índices de prioridad de las categorías de impacto social caso Malasia

De esta manera, mediante el cálculo basado en los diferentes análisis de inventario del ciclo de vida, las ponderaciones de subcategorías de impacto y de actividades del sistema y los índices de prioridad de las categorías de impacto social, el **IDS** para el caso estudiado en Malasia es igual a **3,45**.

A modo de resumen, se presentan también los IDS obtenidos en el sistema por cada uno de los eslabones de la cadena de valor evaluados en la Figura IV.62.

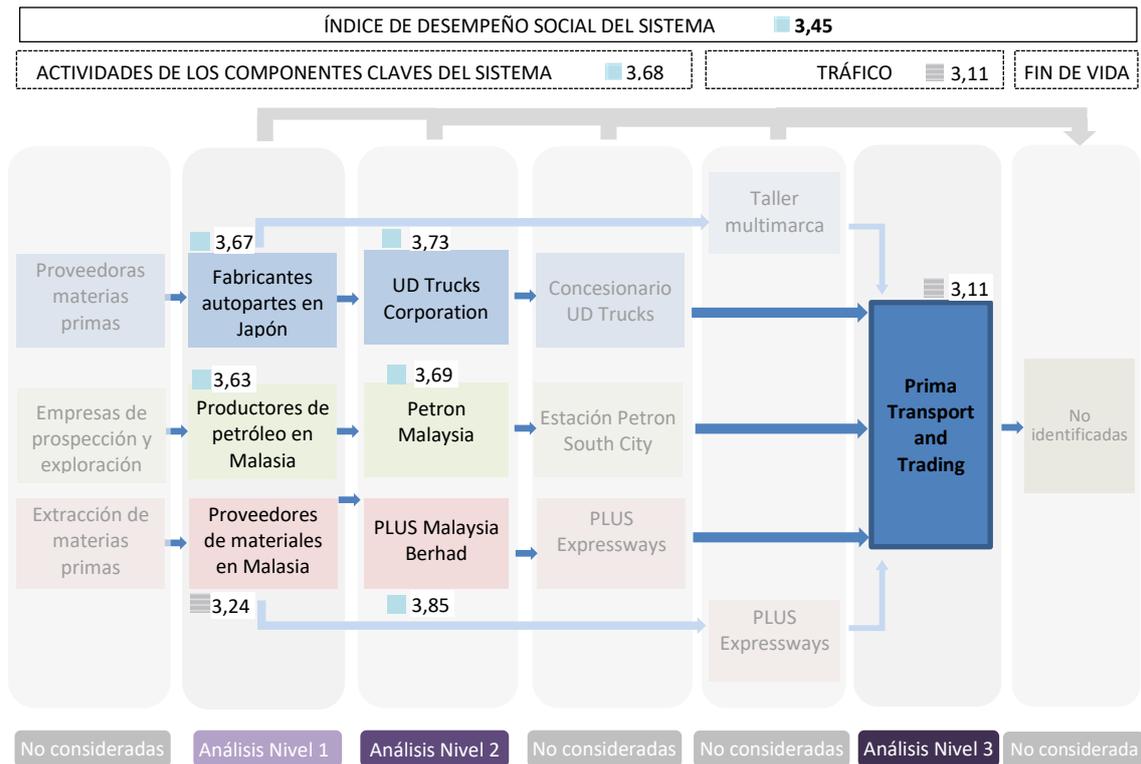


Figura IV.62. Índices de desempeño social por cada eslabón del sistema de transporte caso Malasia

#### 4.2.2.4. Interpretación de resultados

##### Conclusiones preliminares

##### Análisis de resultados por Categorías de Impacto:

El IDS del sistema obtenido para este ASCV de 3,45, ubicándose en el rango de desempeño “positivo”, superando ligeramente el rango de desempeño “medio” o “neutro” cuyo límite es el valor de 3,40. En términos generales, el servicio de transporte ofrecido por la empresa estudiada, en su ciclo de vida, genera impactos positivos, considerando los puntos de referencia sobre los aspectos socioeconómicos que fueron establecidos en la metodología de esta tesis. Aunque analizando únicamente la empresa de transporte de mercancías, su IDS es igual a 3,11, teniendo un impacto social neutro en la región de operación.

De manera global, se puede destacar que en todas las categorías de impacto se obtuvieron valoraciones entre medio-altas, principalmente las relacionadas con las Repercusiones Socioeconómicas, en donde se obtiene un índice de impacto de 3,66, Figura IV.59. Los procesos que más contribuyen al índice de impacto positivo en dicha categoría son los procesos secundarios, los cuales en promedio obtienen un índice de impacto de 3,89.

Cada uno de los procesos secundarios contribuye a un alto índice de impacto en la categoría de Repercusiones Socioeconómicas gracias a valoraciones muy altas en varias subcategorías. Para el proceso de construcción de carreteras, se destaca la subcategoría de Creación de Empleo Local y la de Mecanismos de Retroalimentación con los Clientes. Para el proceso de

producción de combustibles, se destaca la subcategoría de Contribución a la Economía Nacional. Mientras que, para el proceso de fabricación de vehículos, se destaca la subcategoría de Desarrollo Tecnológico y la de Mecanismos de Retroalimentación con los Clientes. Aunque las valoraciones obtenidas en este último proceso tienen un peso bajo en el IDS del sistema por desarrollarse fuera de Malasia.

La otra categoría que de manera general para el sistema obtiene buen índice de impacto de 3,52 es la de Derechos humanos, gracias a las valoraciones muy positivas obtenidas en los procesos secundarios para la subcategoría de Trabajo Infantil, en donde se implementan muchas iniciativas para alejarlos del mundo laboral, a diferencia de la subcategoría de Igualdad de Oportunidades, en donde no se obtienen valoraciones muy buenas por la baja tasa de mano de obra femenina. De manera similar, la subcategoría de Igualdad de Oportunidades no obtiene buena valoración en la empresa de transporte ya que no hay mujeres en la nómina. Sin embargo, las valoraciones no positivas en temas de igualdad de género no afectan de manera importante el promedio para la categoría de Derechos Humanos, ya que es la subcategoría con menos importancia en esta categoría de acuerdo con los índices de prioridad obtenidos mediante las entrevistas. Aunque esta baja relevancia no es debido a que sea menos importante para las personas de la región, sino que perciben que hay buenos indicadores relacionados con la diversidad, por lo que consideran que debería ser más prioritario abolir otros problemas como las prácticas de trabajo infantil en el país.

Para la categoría de Derechos de los Trabajadores, el índice de impacto del sistema no ha sido alto. A pesar de tener buenas valoraciones en temas de Beneficios Sociales en todos los procesos, hay valoraciones bajas como en la subcategoría de Horario Laboral Justo y de Salud y Seguridad en el Trabajo, principalmente en el análisis sectorial de proveedores, las cuales no pudieron ser compensadas con valoraciones positivas de los análisis específicos por ausencia de información en estos temas en los reportes de estas empresas de los procesos secundarios. Sin embargo, si bien se obtuvieron valoraciones negativas en los temas de Horario Laboral Justo para los procesos secundarios, estas fueron compensadas por las valoraciones positivas en el proceso principal, en donde se maneja una intensidad laboral corta y flexible.

En cuanto a la categoría de Gobernanza, se destaca que es la que obtuvo mejor valoración en la empresa de transporte, especialmente por su resultado positivo en la subcategoría de Corrupción, la cual contrasta con el desempeño medio percibido por los *stakeholders* para las empresas del sector. Este resultado es validado debido a su política anticorrupción, en la cual la empresa motiva a sus empleados a no realizar estas acciones, por ejemplo, apoyando o haciéndose cargo de multas por infracciones de tráfico recibidas.

#### Análisis de resultados por stakeholders:

Analizando de manera global el impacto sobre los *stakeholders*, a excepción de Otros Actores que obtuvo un impacto neutro, los demás *stakeholders* obtuvieron valoraciones promedio positivas.

El índice de impacto neutro, igual a 3,17, para Otros Actores, se da básicamente porque la poca información existente para valorar positiva o negativamente las subcategorías de

Relaciones con los Proveedores y de Compromiso Público en temas de Sostenibilidad. Mientras que, para la subcategoría de Competencia Desleal, para la cual, si se obtiene información positiva y negativa en los diferentes procesos, el valor promedio del sistema es neutro, ya que las valoraciones altas obtenidas para los procesos de Combustibles y Carreteras, son contrarrestadas por la valoración medio-baja obtenida en el proceso de Fabricación de Vehículos.

El *stakeholder* con índice de impacto promedio más alto es la Sociedad, con valor de 3,61, en donde la subcategoría como la de Corrupción tiene valoraciones positivas en todos los procesos y la subcategoría de Desarrollo Tecnológico que tiene valoraciones positivas en los procesos secundarios, aunque en el proceso principal la valoración fue negativa.

Para el *stakeholder* Comunidad Local, con índice igual a 3,59, se destacan las valoraciones positivas en las subcategorías de Creación de Empleo Local y de Condiciones de Vida Seguras y Saludables en todos los procesos y la de Acceso a los Recursos Materiales en los procesos secundarios.

En el proceso de Tráfico, la empresa de transporte tiene principalmente índices de impacto neutros, aunque se destaca el índice ligeramente positivo en el *stakeholder* Comunidad local, por sus buenas valoraciones en las subcategorías de Creación de Empleo local y Respeto a las Tradiciones Locales. Se observa que hay subcategorías con valoraciones negativas como la de Transparencia en Temas Sociales y Medioambientales que afectan el *stakeholder* Clientes, debido al desconocimiento y la falta de reporte de sus impactos y por no contar con página web.

Los resultados cuantitativos de estos análisis de impacto son presentados de manera resumida en el Anexo G.8 y G.9. A partir de estos anexos son obtenidas las conclusiones preliminares presentadas.

### **Análisis de completión y consistencia de los resultados**

En el caso estudiado para la empresa de transporte de mercancías realizada en Malasia, se tuvo acceso a suficiente información para realizar el análisis Nivel 3. Sin embargo, para los análisis Nivel 2, se considera que en la búsqueda de información, principalmente sobre impactos negativos para cada subcategoría, pudo haberse omitido gran cantidad de fuentes relevantes por encontrarse en un idioma diferente al inglés.

Durante la recopilación de información de fuentes secundarias a través de buscadores web en idioma inglés, acerca de los impactos de cada subcategoría para cada una de las empresas evaluadas en Japón y en Malasia, los resultados no fueron tan abundantes como se esperaba, ya que la mayoría de información relevante, que se podría obtener de páginas web de periódicos o revistas locales y nacionales, se encuentra escrita en japonés (para el análisis de inventario del proceso de vehículos), o en *Bahasa malay* para el resto de procesos desarrollados Malasia, a pesar de que el idioma inglés también sea un idioma reconocido oficialmente en este país.

Para el cálculo de los índices de prioridad de categorías y subcategorías de impacto, fueron excluidas las respuestas dadas por el conductor contratado por la empresa, ya que hubo dificultades en la comunicación durante la entrevista, realizada en gran parte durante el ejercicio de sus funciones, percibiendo además parcialidad en sus respuestas, las cuales casi en su totalidad eran muy positivas, posiblemente para no afectar la imagen de su empresa.

Para observar los efectos en los resultados finales del estudio del uso de factores de ponderación de actividades y de índices de prioridad de categorías y subcategorías de impacto, es necesario realizar un análisis de sensibilidad. En este sentido, se evalúan los resultados para los cuatro diferentes escenarios definidos en la metodología: (a), (b), (c) y (d). De esta manera, los índices de impacto del sistema obtenidos en los diferentes escenarios discriminados por categorías de impacto son presentados en la Figura IV.63 y por *stakeholder* en la Figura IV.64.

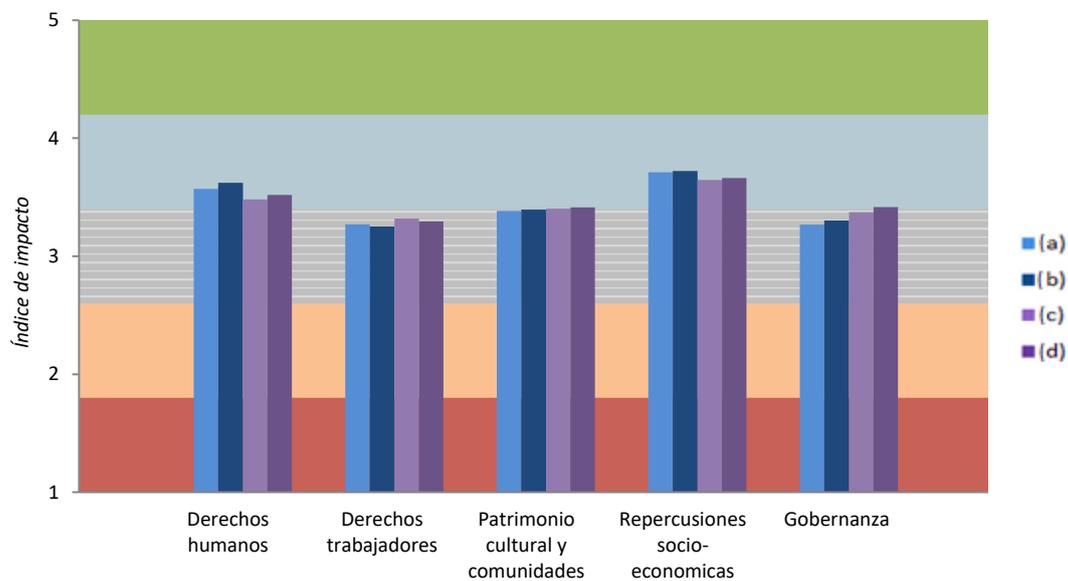


Figura IV.63. Índices de impacto social del sistema por categorías en diferentes escenarios caso Malasia

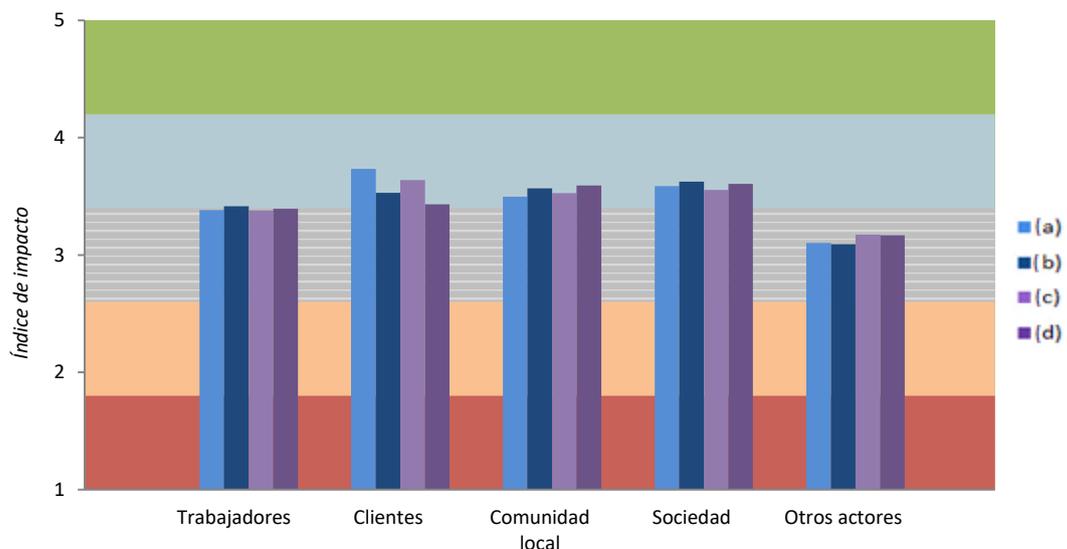


Figura IV.64. Índices de impacto social del sistema por *stakeholders* en diferentes escenarios caso Malasia

De acuerdo con el análisis de sensibilidad para los índices de impacto por categorías, se observa que las variaciones son muy pequeñas en los diferentes escenarios. De manera general, sin analizar individualmente los resultados de cada subcategoría de impacto, se podría concluir que el desempeño social de las empresas evaluadas es muy similar al de sus proveedores evaluados a nivel sectorial en el respectivo país, al menos en la categoría de Patrimonio Cultural y Desarrollo de las Comunidades y en la categoría de Derechos de los trabajadores, en donde los índices de impacto permanecen casi constantes en los diferentes escenarios.

Para la categoría de Derechos Humanos se observa un ligero aumento en el índice de impacto en el escenario (b), ya que en los análisis Nivel 1 se obtuvieron valoraciones muy positivas para la subcategoría de Trabajo Infantil, valoraciones que son positivas en los análisis Nivel 2 y es neutra en el análisis Nivel 3.

En cuanto a la categoría de Gobernanza, se observa que los índices de impacto para los escenarios (a) y (b) son ligeramente inferiores, debido a que se obtuvieron resultados no favorables en temas de Corrupción para el subsector de materiales de construcción en Malasia y temas de Competencia Desleal en el subsector de fabricantes de autopartes en Japón, por lo cual, al darle igual peso a estos resultados frente a los de los análisis Nivel 2 y 3, se genera esta variación en el índice de impacto en esta categoría.

En cuanto al análisis de los escenarios para los índices de impacto social por *stakeholder*, se presenta un incremento apreciable en el *stakeholder* Clientes en los escenarios en donde no se consideran los índices de prioridad de subcategorías. Esto se debe a que para el *stakeholder* Clientes, la subcategoría más importante es la de Transparencia en Temas sociales y Medioambientales, la cual obtuvo bajas valoraciones en la empresa de transporte y en la empresa constructora de la carretera, reduciendo significativamente la valoración promedio para el *stakeholder* Clientes cuando los índices de prioridad de subcategorías son considerados.

La inclusión de los índices de prioridad de subcategorías también afecta a los índices de impacto promedio para los *stakeholders* Comunidad Local y Sociedad, los cuales obtienen índices de impacto más altos en los escenarios (b) y (d). Para la Comunidad local, las valoraciones positivas de todos los procesos para la subcategoría de Creación de Empleo Local hacen aumentar los promedios al considerar los índices de prioridad, ya que esta subcategoría es la más importante para este grupo de interés. De manera similar, las buenas valoraciones en las subcategorías de Desarrollo Tecnológico y Contribución a la Economía Nacional generan un ligero aumento en el índice de impacto en el *stakeholder* Sociedad por su relevancia entre las demás subcategorías de impacto.

A partir del análisis de sensibilidad para los escenarios establecidos, es posible también obtener diferentes IDS del sistema. En este sentido, los IDS para cada escenario son presentados en la Tabla IV.89.

**Tabla IV.89. Índices de desempeño social del sistema en los diferentes escenarios caso Malasia**

| Escenario | IDS  |
|-----------|------|
| (a)       | 3,46 |
| (b)       | 3,45 |
| (c)       | 3,46 |
| (d)       | 3,45 |

Los IDS del sistema permanecen prácticamente iguales debido a que en los resultados de la evaluación de impactos en cada eslabón del sistema se presentan similares valores en la mayoría de subcategorías. Por ejemplo, en las subcategorías relacionadas con los Derechos Humanos, tanto en las empresas evaluadas con indicadores de análisis específico como en las evaluadas con indicadores de análisis genérico se obtuvieron valoraciones positivas, por lo que darle un peso igual o mayor a unas empresas que a otras es indiferente en el resultado final. Asimismo, al darle mayor relevancia a una categoría o subcategoría de impacto sobre otra no afectaría el resultado final dado que en muchas subcategorías de impacto las valoraciones obtenidas son similares para las diferentes empresas y sectores analizados.

A pesar de lo anterior, el análisis de los resultados de los escenarios discriminados por categorías de impacto y por *stakeholder* puede servir para comprender los puntos críticos y los impactos positivos más relevantes que afectan el desempeño global de la cadena de valor del servicio de transporte de mercancías.

### **Recomendaciones generales y contribuciones de los *stakeholders***

De manera general, se han identificado que en este caso analizado, los puntos críticos y la relevancia que han señalado los *stakeholders* se centran en los aspectos relacionados con la mejora de los Derechos de los Trabajadores y los Derechos Humanos.

Para los trabajadores, la subcategoría de impacto más importante es la del Salario Justo, la cual ha obtenido valoraciones positivas en la mayoría de actividades de la cadena de valor, a excepción de la empresa de transporte, en donde el salario no es alto, pero que se compensa con las jornadas de trabajo flexibles y de pocas horas de trabajo semanal, comparado con otras empresas del sector y otros sectores en Malasia.

Estas subcategorías de Salario Justo y Horario Laboral Justo, si bien no son negativas para los trabajadores de la empresa, presentan comportamientos diferentes al promedio de empresas del sector, lo cual fue también identificado mediante la validación con las valoraciones obtenidas de los *stakeholders*. Por una parte, el salario de los conductores está por encima del salario mínimo del país, pero está por debajo del salario promedio de la ciudad y es muy inferior al promedio recibido por conductores de otras empresas. Sin embargo, los conductores de la empresa consideran que es un salario justo ya que se trabaja casi a media jornada, por lo que algunos complementan sus ingresos realizando otras actividades productivas en su tiempo libre. No obstante, la relación contractual con la empresa exige que el conductor esté disponible a cualquier hora del día para realizar servicios de transporte imprevistos. Esta disponibilidad requerida por la empresa impide que el trabajador pueda

complementar sus ingresos en una actividad formal con horarios de trabajo fijos, por lo que deberían recibir tener una mejor compensación en la empresa.

Otra problemática hallada relacionada con los trabajadores y que no es muy tomada en cuenta por los *stakeholders* y los empresarios, es la de Seguridad y Salud en el Trabajo, en donde se presentan altas tasas de accidentalidad, principalmente en el proceso de construcción de carreteras y en general en la industria manufacturera en Malasia. Aunque en el sector del transporte se presentan tasas de accidentalidad un poco más bajas que el promedio de los demás sectores, en las pequeñas y medianas empresas de este subsector de transporte de mercancías, se presta poca atención en la seguridad de los conductores, quienes en su mayoría conducen camiones con medidas de seguridad ineficientes o inexistentes, como la ausencia de cinturones de seguridad en la mayoría de los vehículos.

Otro aspecto al que no se le da suficiente relevancia es el de Igualdad de Oportunidades o de no discriminación, el cual es abordado parcialmente por muchas empresas, en donde se discute sobre la igualdad de oportunidades para personas de diferentes razas/religiones, pero se aborda en menor medida el tema de equidad de género.

De manera específica, tanto para la empresa de transporte evaluada, como para este subsector de transporte de mercancías, el IDS del sistema podría mejorar invirtiendo un poco más en Desarrollo Tecnológico y en estudios medioambientales y sociales, debidamente publicados mediante una página web corporativa, además de crear códigos de conducta internos y para la selección de proveedores, lo cual mejoraría la eficiencia de las operaciones y serviría de ejemplo para competidores, clientes y proveedores, contribuyendo de manera global, a un sector más transparente y sostenible.

Teniendo en cuenta la antigüedad de la flota vehicular de la empresa, la primera recomendación a corto plazo sería evaluar las opciones de compra de nuevos camiones, incluyendo en el proceso de selección del proveedor, un análisis del desempeño social de los diferentes fabricantes disponibles a nivel nacional y comparar los resultados con los obtenidos para el fabricante japonés *UD Trucks*, el cual arroja indicadores relativamente positivos, pero que no benefician a la región de operación en Malasia.

En cuanto a la posibilidad de analizar un cambio en el proveedor de combustible, proyectando el uso de un combustible alternativo en la flota actual o en camiones nuevos, no es posible en el corto o mediano plazo en Malasia, básicamente por la inmadurez del mercado en tecnologías verdes, falta de desarrollo de infraestructura y de concienciación de los empresarios y dirigentes para la implantación de combustibles alternativos en el sector.

Por lo cual, para conseguir una mejora en el desempeño social por parte de los componentes claves del sistema en el corto o mediano plazo, lo más factible es abordar la evaluación de fabricantes de camiones diésel y mantener los mismos proveedores de combustibles y la infraestructura utilizada hasta el momento.

Estas recomendaciones, basadas en los hallazgos del análisis de inventario y evaluación del ciclo de vida del servicio de transporte, también coinciden con las recopiladas en las entrevistas a los representantes de los *stakeholders*.

A partir de la pregunta B.15, los entrevistados comentaron de qué forma las empresas del sector del transporte de mercancías por carretera podrían potenciar o favorecer los derechos humanos y de los trabajadores, el patrimonio cultural, desarrollo socioeconómico y la gobernanza.

Básicamente, la mayoría de entrevistados coincidieron en que para lograr un mejor desempeño social, las empresas y camioneros autónomos, deben fortalecer la asociatividad empresarial y de trabajadores, involucrar más a la comunidad y trabajadores en la toma de decisiones, ofrecer más capacitación y mejores condiciones de seguridad y salud para los trabajadores, adquirir camiones más nuevos y seguros y, de manera general, que el estado implemente medidas para concienciar a los empresarios y sociedad sobre la responsabilidad de las empresas en el impacto social y medioambiental en el país.

### **4.2.3. ASCV caso a estudio España**

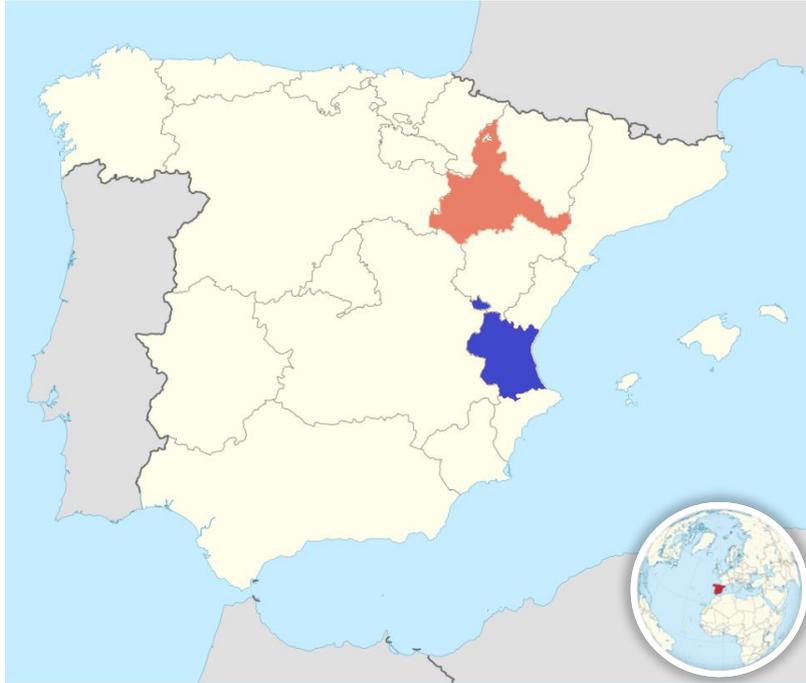
#### **4.2.3.1. Definición de objetivos y alcance**

Vía Augusta S.A es una empresa de transporte de capital español dedicada al transporte nacional e internacional de mercancías por carretera desde 1960, la cual cuenta con su oficina principal en la ciudad de Zaragoza, España.

Zaragoza es la capital de la provincia homónima y de comunidad autónoma de Aragón. Esta comunidad reúne una población de 1 318 738 habitantes en una superficie de 47 720 km<sup>2</sup>, que para 2016 alcanzaba un PIB per cápita de 26 328 euros [681].

La empresa realiza el servicio de transporte de mercancía principal desde Zaragoza a la ciudad de Almusafes, ubicada en la provincia de Valencia, la cual hace parte de la Comunidad Valenciana. Esta comunidad reúne una población de 4 933 051 habitantes en 23 257 km<sup>2</sup>, que para 2016 alcanzaba un PIB per cápita de 21 296 euros [681].

La provincia de Zaragoza cuenta una desarrollada infraestructura logística para el transporte terrestre y aéreo, la cual conecta fácilmente con los principales centros de consumo nacional e internacional y los puertos marítimos de Cataluña y Valencia, Figura IV.65.



**Figura IV.65. Provincia de Zaragoza (en naranja) y provincia de Valencia (en azul) en España.**  
Basado en [682].

La principal ruta de la empresa es la realizada diariamente en camiones articulados hacia Almusafes. La mayoría de estos camiones son marca Scania con motor diésel. De esta manera, las empresas identificadas como proveedores directos en cada uno de los componentes claves del sistema son:

- Proceso Vehículos: concesionaria Scania
- Proceso Combustibles: estación de servicio propia
- Proceso Infraestructura: autovías nacionales de Zaragoza a Almusafes

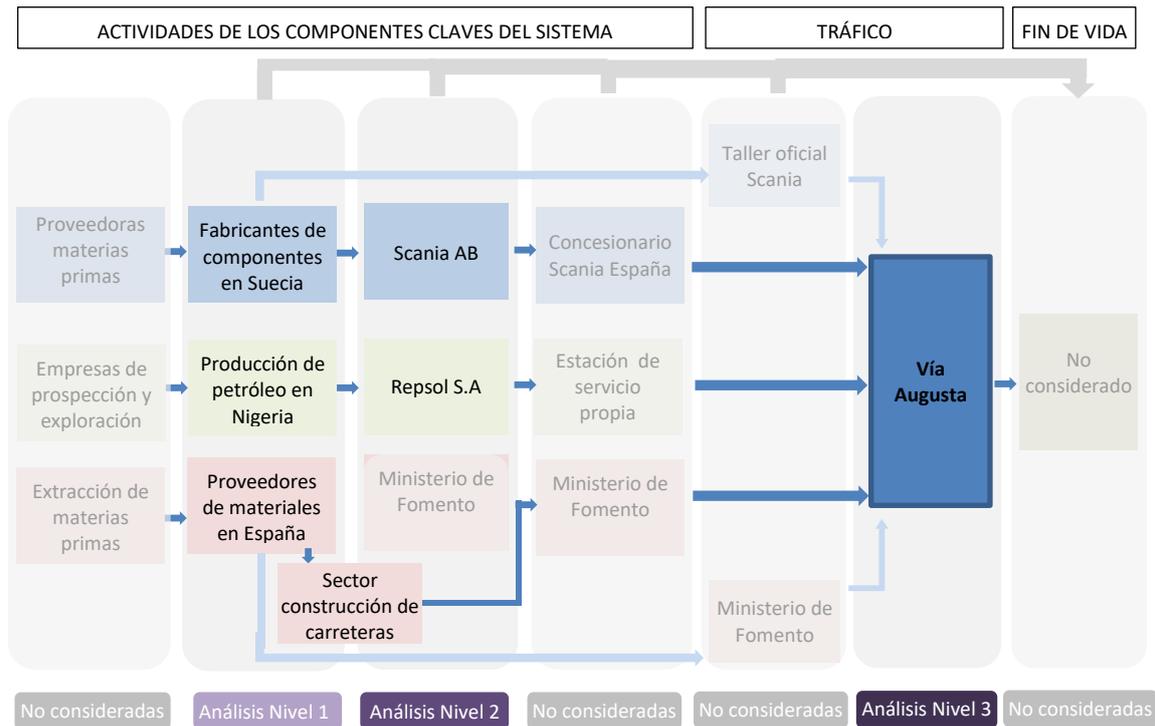
A partir de esto, mediante un pre-análisis de estos proveedores directos a partir de fuentes secundarias, se identifican las empresas involucradas en la cadena de valor de cada proceso, así como los involucrados en el proceso de fin de vida, los cuales se presentan en la Figura IV.66.

#### **4.2.3.2. Análisis de inventario**

En esta fase se deben recoger los datos iniciales para realizar la priorización y selección de actividades críticas para la refinación de límites del sistema, la selección de los indicadores para cada subcategoría de impacto y la recopilación de información.

#### **Niveles de análisis de inventario**

De acuerdo con los objetivos y alcance del estudio, son definidos los niveles de profundidad del análisis de inventario que se aplicarán a las empresas identificadas en cada eslabón del ciclo de vida del sistema del transporte. Estos niveles de análisis son indicados en la parte inferior de Figura IV.66.



**Figura IV.66. Delimitación sistema de transporte para el caso a estudio en España**

Para la definición de la cadena de valor del proceso de vehículos, se determina que los camiones Scania adquiridos por la empresa no son fabricados en una sola planta, sino que se fabrican y ensamblan por secciones en las diferentes plantas de la empresa en países europeos como Suecia, Holanda y Francia. Por esta razón, el análisis se centra en las actuaciones de la empresa en estos países.

Las actividades de distribución, venta y mantenimiento de los vehículos Scania son realizadas en España por empresas autorizadas o pertenecientes al mismo grupo del fabricante, por lo que no es necesario realizar análisis Nivel 2 al concesionario ni al taller de Scania en Zaragoza.

Los diferentes componentes para la fabricación de los vehículos son gestionados por el almacén logístico de Scania en Bélgica, en donde se reúnen los componentes fabricación en las diferentes plantas de Scania y de sus proveedores externos alrededor del mundo. Las principales partes de los vehículos como el chasis, la cabina, el motor, la caja de cambios y ejes son fabricadas desde cero (fundición y mecanizado) en las plantas de Scania en Södertälje, Luleå y Oskarshamn [683], por lo cual, el análisis Nivel 1 se realiza a este sector en Suecia.

Para el proceso de combustibles, el diésel es suministrado a los vehículos en la estación de servicio propia, la cual se abastece de diferentes productores españoles, especialmente de Repsol S.A a través de la Compañía Logística de Hidrocarburos, CLH S.A, empresa habilitada para transporte y almacenamiento de productos petrolíferos que actúa como intermediaria. El diésel producido por Repsol es refinado en 5 complejos industriales ubicadas en España, por lo cual el análisis de inventario Nivel 2 se aplica a los hallazgos relacionados con la operación de estas refinerías en España, sin tener en cuenta los impactos que puedan tener las operaciones del grupo Repsol en otros países.

En cuanto al origen de la materia prima para la producción de diésel, más del 99% de barriles de petróleo son importados, de los cuales, durante el periodo 2011 a 2015, fue importado principalmente de Nigeria (14,9%) [648]. En este sentido, se realiza el análisis de inventario Nivel 1 al subsector de la producción del petróleo en Nigeria.

Para el proceso de infraestructura, se determina que las carreteras utilizadas son las autovías nacionales A-23 y A-7, a cargo del Ministerio de Fomento. La autovía A-23 de 435 km conecta la frontera francesa en Somport con el puerto mediterráneo en Sagunto, de la que se han completado 369 km desde que inició su construcción en 1997, quedando algunos tramos cortos sin terminar debido a la paralización de obras y aplazamiento de licitaciones por cuenta de la crisis de 2008 [684,685]. De esta autovía A-23, la empresa recorre 290 km entre Zaragoza y Sagunto, los cuales han sido construidos o rehabilitados por diferentes empresas [686]. La otra autovía de la cual se utilizan cerca de 50 km es la del mediterráneo A-7, que se extiende por 1440 km desde Cádiz hasta la frontera con Francia en Cataluña [687]. La construcción de esta carretera también se ha adjudicado por tramos a diferentes empresas o consorcios [686].

Por lo anterior, dado que estas autovías nacionales no han sido concesionadas, no es posible realizar un análisis de inventario de Nivel 2 a una empresa específica. En este sentido, es necesaria la evaluación al sector de la construcción de carreteras en España, mediante un análisis Nivel 1+. Las actividades de operación y mantenimiento de estas carreteras también son realizadas por diferentes empresas contratadas por el Estado, por lo cual tampoco se realizan análisis específicos para estas actividades.

En cuanto al origen de los materiales para pavimentación de carreteras como el cemento, casi su totalidad ha sido fabricada localmente en los últimos años; en el 2016 solo el 3,25% del cemento consumido en España fue importado [688].

Para las actividades relacionadas con el fin de vida no fueron consideradas las posibles empresas encargadas por la falta de trazabilidad o por la falta de información. En primer lugar, para el desmantelamiento de los vehículos, la empresa vende los camiones articulados con aproximadamente 6 años de uso, antes de que se cumpla la vida útil promedio los camiones articulados que en España es de 10,4 años [644]. Además, suponiendo que el siguiente dueño esté ubicado en Zaragoza, en esta provincia existen 11 empresas vinculadas a la Asociación Española de Desguazadores y Reciclaje del Automóvil [689] que podrían realizar el desmantelamiento de los camiones.

Para el tratamiento de aceites de motor usados en la provincia de Zaragoza, el principal y único gestor autorizado por el Sistema de Gestión de Aceites industriales Usados en España es la empresa Gestión de Aceites Usados de Aragón S.L [690]. Sin embargo, esta empresa de gestión de aceites no posee una página web funcional o de algún medio útil como fuente secundaria de información para el análisis de inventario correspondiente. De manera similar ocurre para las posibles empresas encargadas del reciclaje de baterías y neumáticos en Zaragoza o provincias vecinas [691], las cuales no ofrecen suficiente información para realizar análisis exhaustivos del inventario del ciclo de vida social.

## Selección de indicadores

En este ASCV son evaluadas las 26 subcategorías de impacto propuestas en la metodología de del capítulo III, por lo que serán utilizados tanto los indicadores de análisis genérico como los de análisis específico presentados en la metodología en las Tablas III. 29 a III.38.

## Instrumentos de recopilación de datos

Para las diferentes empresas y sectores económicos se realiza un diferente tipo de análisis con relación a su ubicación en la cadena de valor, el acceso a la información, alcance y objetivo del estudio. En este sentido, el tipo de análisis de inventario definido para cada eslabón del sistema se detalla en la parte inferior de la Figura IV.66. La información para los indicadores en los análisis Nivel 1 y 2 se obtiene a partir de fuentes secundarias, mientras que para los indicadores en el análisis Nivel 3, aplicado a la empresa de transporte, se obtiene mediante fuentes primarias.

El análisis de inventario para la empresa de transporte, se realiza mediante el cuestionario para la empresa y visitas personales. Los resultados para cada subcategoría de impacto del análisis de la empresa serían validados con los resultados de las entrevistas semiestructuradas, realizadas a un total de 10 personas, representantes clave de cada uno de los diferentes grupos de interés, Tabla IV.90. Por temas de confidencialidad y tratamiento de datos personales, los nombres de los entrevistados y la empresa o institución a la que pertenecen no son presentados en esta tabla.

**Tabla IV.90. Representantes de grupos de interés entrevistados en España**

| <i>Stakeholder</i> | Subgrupo de interés                                       | Perfil del entrevistado   |
|--------------------|---|---|
| Trabajadores       | Asociación de conductores (trabajadores por cuenta ajena) | Líder asociación sindical de trabajadores de empresas de transporte |
|                    | Trabajador por cuenta propia                              | Conductor y miembro de asociación de camioneros autónomos           |
| Clientes           | Cliente   | Jefe de logística para grandes superficies (hipermercados)          |
| Comunidad local    | Administración pública / comunidad local                  | Asesor de movilidad del ayuntamiento                                |
| Sociedad           | Entidad financiera  | Ejecutivo comercial bancario  |
|                    | Medio de comunicación                                     | Periodista y jefe de contenidos canal de televisión                 |
| Otros actores      | Asociación empresarial                                    | Asesor de empresas de logística, transporte e infraestructura       |
|                    | Empresa de transporte                                     | Propietario y director técnico de empresa de transporte             |
|                    | Academia  | Profesor e investigador universidad                                 |
|                    | Corporación ambiental                                     | Jefe de área en confederación hidrográfica                          |

Las valoraciones dadas por los *stakeholders* son presentadas en la Tabla IV.92 de manera agregada mediante un promedio simple para cada subcategoría de impacto, con el fin de que estos resultados no puedan ser asociados con las opiniones de alguno de los entrevistados en particular.

El inventario realizado con indicadores de análisis genérico y específico para cada una de los sectores y empresas identificadas se presenta en los Anexos H.

### 4.2.3.3. Evaluación de impactos

Antes de agrupar las subcategorías de impacto en las 5 diferentes categorías de impacto sugeridas en la metodología, es necesario realizar la caracterización de los resultados individuales de las subcategorías, con el fin de obtener valoraciones normalizadas que puedan ser promediadas de manera simple o ponderada.

#### Caracterización de análisis de inventario

Basados en la guía de evaluación por escalas de valoración para los subsectores analizados mediante indicadores de análisis genérico Anexo B.3, se tienen los resultados presentados en la Tabla IV.91.

**Tabla IV.91. Caracterización análisis de inventario Nivel 1 para el caso España**

| Subcategoría de impacto                                | Valoración por subsector                            |  |   |
|--|---|--|---|
|  | Fabricación de componentes para vehículos en Suecia | Explotación/ producción de petróleo en Nigeria | Producción de materiales para pavimentación en España |
| Trabajo infantil                                       | ■   | ■  | ■   |
| Explotación/ trabajo forzado                           | ■   | ■  | ■   |
| Igualdad de oportunidades/ discriminación              | ■   | ■  | ■   |
| Libre asociación de trabajadores                       | ■   | ■  | ■   |
| Salario justo  | ■   | ■  | ■   |
| Horario laboral justo                                  | ■   | ■  | ■   |
| Seguridad y salud en el trabajo                        | ■   | ■  | ■   |
| Beneficios sociales/seguridad social                   | ■   | ■  | ■   |
| Transparencia en temas sociales/ medioambientales      | ■   | ■  | ■   |
| Confidencialidad con la información de los clientes    | ■   | ■  | ■   |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes       | ■   | ■  | ■   |
| Deslocalización y migración                            | ■   | ■  | ■   |
| Respeto a las tradiciones locales/ patrimonio cultural | ■   | ■  | ■   |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas    | ■   | ■  | ■   |
| Participación de la comunidad                          | ■   | ■  | ■   |
| Condiciones de vida seguras y saludables               | ■   | ■  | ■   |
| Acceso a recursos materiales                           | ■   | ■  | ■   |
| Acceso a recursos inmateriales                         | ■   | ■  | ■   |
| Creación de empleo local                               | ■   | ■  | ■   |
| Contribución a la economía nacional                    | ■   | ■  | ■   |
| Prevención y mitigación de conflictos armados          | ■   | ■  | ■   |
| Desarrollo tecnológico                                 | ■   | ■  | ■   |
| Corrupción   | ■   | ■  | ■   |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad          | ■   | ■  | ■   |
| Relaciones con los proveedores                         | ■   | ■  | ■   |
| Competencia desleal                                    | ■   | ■  | ■   |
| <i>Promedio (de 1 a 5)</i>                             | 4,00  | 2,58   | 3,62  |

Para la caracterización del análisis de inventario Nivel 2 realizado a empresas específicas mediante el sistema de puntuación descrito en el Anexo B.4, se presentan los resultados en la Tabla IV.92.

**Tabla IV.92. Caracterización análisis de inventario Nivel 2 y 3 para el caso España**

| Subcategoría de impacto                                | Nivel 2     |             |   | Nivel 3     |                                    |
|--|-------------|-------------|---|-------------|------------------------------------|
|  | Scania      | Repsol      | Sector construcción carreteras en España* | Vía Augusta | Valoración Entrevista stakeholders |
| Trabajo infantil                                       | 7           | 8           | 10  | 6           | 5,3                                |
| Explotación/ trabajo forzado                           | 7           | 8           | 7,5                                       | 5           | 4,6                                |
| Igualdad de oportunidades/ discriminación              | 6           | 9           | 2,5                                       | 4           | 4,0                                |
| Libre asociación de trabajadores                       | 7           | 9           | 7,5                                       | 7           | 5,6                                |
| Salario justo  | 5           | 10          | 5   | 8           | 4,8                                |
| Horario laboral justo                                  | 8           | 10          | 10  | 5           | 3,6                                |
| Seguridad y salud en el trabajo                        | 5           | 9           | 5   | 6           | 4,8                                |
| Beneficios sociales/seguridad social                   | 6           | 7           | 7,5                                       | 7           | 4,9                                |
| Transparencia en temas sociales/ medioambientales      | 9           | 9           | 5   | 6           | 4,8                                |
| Confidencialidad con la información de los clientes    | 7           | 8           | 7,5                                       | 6           | 6,1                                |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes       | 7           | 9           | 7,5                                       | 8           | 7,0                                |
| Deslocalización y migración                            | 7           | 6           | 5   | 5           | 6,0                                |
| Respeto a las tradiciones locales/ patrimonio cultural | 5           | 8           | 5   | 5           | 5,0                                |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas    | 5           | 7           | 5   | 5           | 5,0                                |
| Participación de la comunidad                          | 6           | 10          | 7,5                                       | 5           | 4,9                                |
| Condiciones de vida seguras y saludables               | 5           | 8           | 10  | 7           | 5,9                                |
| Acceso a recursos materiales                           | 6           | 8           | 7,5                                       | 5           | 4,9                                |
| Acceso a recursos inmateriales                         | 6           | 9           | 7,5                                       | 6           | 5,6                                |
| Creación de empleo local                               | 3           | 6           | 7,5                                       | 7           | 4,7                                |
| Contribución a la economía nacional                    | 6           | 7           | 5   | 7           | 5,1                                |
| Prevención y mitigación de conflictos armados          | 6           | 6           | 7,5                                       | 5           | 5,2                                |
| Desarrollo tecnológico                                 | 10          | 10          | 7,5                                       | 8           | 6,7                                |
| Corrupción   | 7           | 9           | 5   | 5           | 5,8                                |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad          | 7           | 7           | 7,5                                       | 5           | 5,8                                |
| Relaciones con los proveedores                         | 6           | 8           | 5   | 7           | 7,1                                |
| Competencia desleal                                    | 5           | 4           | 5   | 6           | 5,0                                |
| <i>Promedio (de 1 a 5)</i>                             | <i>3,52</i> | <i>4,22</i> | <i>3,52</i>                               | <i>3,40</i> | <i>3,13</i>                        |

\*Análisis Nivel 1+

### Ponderación de subcategorías de impacto

Con el fin de hallar los **Índices de impacto social por procesos** del sistema, es necesario realizar una ponderación de las subcategorías de impacto (índices de prioridad), clasificadas por categoría de impacto o por stakeholder, para obtener los índices de impacto social agregados.

De los resultados de las entrevistas semiestructuradas a los stakeholders, se obtienen los índices de prioridad de las subcategorías de impacto clasificados por categoría de impacto social, Tabla IV.93.

Estos índices son calculados a partir de la pregunta B.11 en donde los entrevistados clasifican por orden de importancia cada subcategoría en su correspondiente categoría de impacto social.

De manera similar, a partir de los datos obtenidos en la pregunta B.13, se calculan los índices de prioridad de las subcategorías de impacto, clasificadas por *stakeholder*, Tabla IV.94.

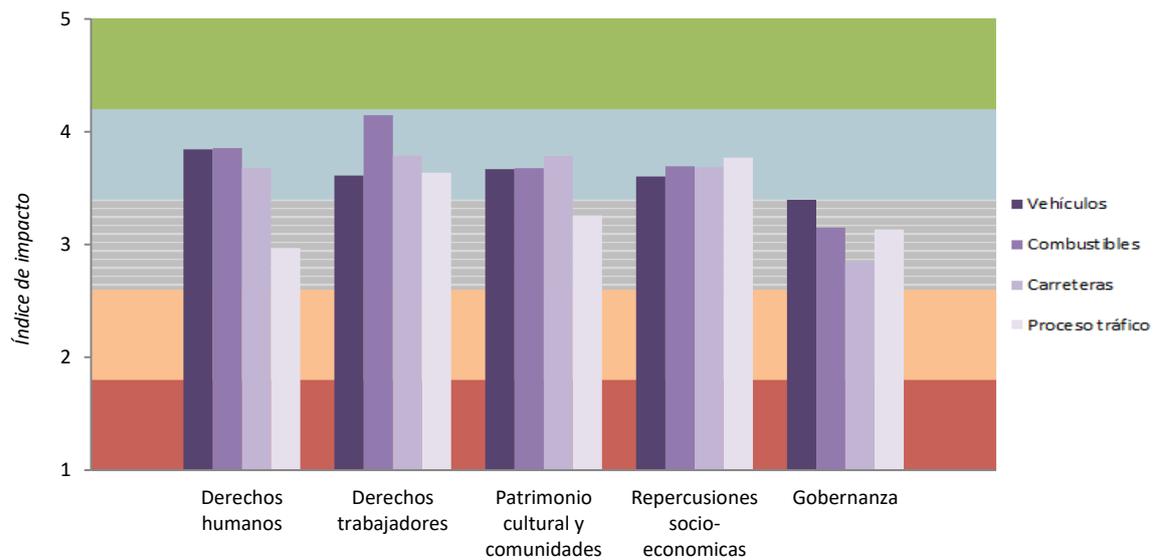
**Tabla IV.93. Índices de prioridad de subcategorías agrupadas por categorías de impacto social caso España**

| Categoría de impacto              | Subcategoría de impacto                             | Índice de prioridad |
|-----------------------------------|---|---------------------|
| Derechos humanos                  | Trabajo infantil                                    | 0,28                |
|                                   | Explotación/trabajo forzado                         | 0,37                |
|                                   | Igualdad de oportunidades/ discriminación           | 0,35                |
| Derechos trabajadores             | Libre asociación de trabajadores                    | 0,13                |
|                                   | Salario justo                                       | 0,25                |
|                                   | Horario laboral justo                               | 0,21                |
|                                   | Seguridad y salud en el trabajo                     | 0,23                |
|                                   | Beneficios sociales/seguridad social                | 0,18                |
|                                   | Deslocalización y migración                         | 0,11                |
| Patrimonio cultural y comunidades | Respeto a las tradiciones locales                   | 0,09                |
|                                   | Respeto a los derechos de las comunidades indígenas | 0,07                |
|                                   | Participación de la comunidad                       | 0,14                |
|                                   | Condiciones de vida seguras y saludables            | 0,20                |
|                                   | Acceso a recursos materiales                        | 0,13                |
|                                   | Acceso a recursos inmateriales                      | 0,11                |
|                                   | Transparencia en temas sociales/medioambientales    | 0,14                |
|                                   | Creación de empleo local                            | 0,23                |
| Repercusiones socio-económicas    | Contribución a la economía nacional                 | 0,16                |
|                                   | Prevención y mitigación de conflictos armados       | 0,12                |
|                                   | Desarrollo tecnológico                              | 0,16                |
|                                   | Relaciones con los proveedores                      | 0,15                |
|                                   | Confidencialidad con la información de los clientes | 0,10                |
|                                   | Mecanismos de retroalimentación con los clientes    | 0,09                |
| Gobernanza                        | Compromiso público en temas de sostenibilidad       | 0,37                |
|                                   | Corrupción  | 0,30                |
|                                   | Competencia desleal                                 | 0,33                |

**Tabla IV.94. Índices de prioridad de subcategorías agrupadas por Stakeholders caso España**

| Stakeholder     | Subcategoría de impacto                             | Índice de prioridad |
|-----------------|---|---------------------|
| Trabajadores    | Trabajo infantil                                    | 0,11                |
|                 | Explotación/ trabajo forzado                        | 0,08                |
|                 | Igualdad de oportunidades/discriminación            | 0,06                |
|                 | Libre asociación de trabajadores                    | 0,14                |
|                 | Salario justo                                       | 0,17                |
|                 | Horario laboral justo                               | 0,19                |
|                 | Seguridad y salud en el trabajo                     | 0,22                |
|                 | Beneficios sociales/seguridad social                | 0,03                |
| Clientes        | Transparencia en temas sociales/medioambientales    | 0,50                |
|                 | Confidencialidad con la información de los clientes | 0,33                |
|                 | Mecanismos de retroalimentación con los clientes    | 0,17                |
| Comunidad local | Deslocalización y migración                         | 0,08                |
|                 | Respeto a las tradiciones locales                   | 0,06                |
|                 | Respeto a los derechos de las comunidades indígenas | 0,03                |
|                 | Participación de la comunidad                       | 0,19                |
|                 | Condiciones de vida seguras y saludables            | 0,22                |
|                 | Acceso a recursos materiales                        | 0,17                |
|                 | Acceso a recursos inmateriales                      | 0,11                |
| Sociedad        | Creación de empleo local                            | 0,14                |
|                 | Contribución a la economía nacional                 | 0,38                |
|                 | Prevención y mitigación de conflictos armados       | 0,10                |
|                 | Desarrollo tecnológico                              | 0,33                |
| Otros actores   | Corrupción  | 0,20                |
|                 | Compromiso público en temas de sostenibilidad       | 0,38                |
|                 | Relaciones con los proveedores                      | 0,29                |
|                 | Competencia desleal                                 | 0,33                |

Con base en los índices de prioridad de las subcategorías de impacto asignados por los entrevistados y, considerando la ponderación de los resultados obtenidos de las empresas bajo análisis de inventario Nivel 2 y sus correspondientes proveedores analizados genéricamente con el análisis Nivel 1, se obtienen los índices de impacto social para los procesos secundarios del sistema de transporte clasificados en categorías de impacto en la Figura IV.67 y clasificados por *stakeholder* en la Figura IV.68, sin considerar las actividades de fin de vida. Los resultados para el proceso de Tráfico, en este caso, para la empresa de transporte, también son incluidos en estas gráficas.



**Figura IV.67. Índices de impacto social de los procesos del sistema por categoría caso España**



**Figura IV.68. Índices de impacto social de los procesos secundarios por stakeholder caso España**

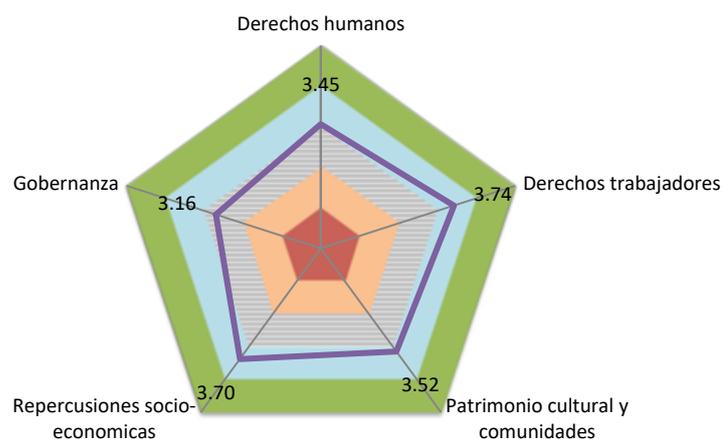
### Ponderación de actividades del sistema

Con el fin de obtener un único **índice de impacto social** por categoría de impacto y por *stakeholder*, para todo el sistema del transporte, se calculan los factores de ponderación de actividades del sistema. Para este caso a estudio, se deben recalculan los factores de ponderación presentados en la Tabla III.45, ya que en este ASCV, ninguno de proveedores analizados se encuentra en un radio de 100 km de la ubicación de la empresa de transporte. Asimismo, en este ASCV no son analizadas las empresas relacionadas con las actividades de mantenimiento de vehículos y carreteras. Los nuevos factores de ponderación se presentan en la Tabla IV.95.

**Tabla IV.95. Factores de ponderación de actividades del sistema de transporte caso España**

| Proceso    | Actividad de la empresa  | Análisis inventario | Factor de ponderación |
|------------|--|---------------------|-----------------------|
| Tráfico    | Transporte de mercancías por carretera                               | Nivel 3             | 0,42                  |
|            | Mantenimiento de vehículos   |                     | -                     |
|            | Mantenimiento de carreteras  |                     | -                     |
| Secundario | Actividad con operación base en un radio de 100 km                   | Nivel 2             | -                     |
|            | Actividad con operación base en el resto del país                    |                     | 0,21                  |
|            | Actividad con operación base fuera del país                          |                     | 0,17                  |
|            | Proveedores de los procesos secundarios con operación en el país     | Nivel 1             | 0,13                  |
|            | Proveedores de los procesos secundarios con operación fuera del país |                     | 0,08                  |

De esta manera, son obtenidos los índices de impacto social del sistema agregados por categorías de impacto en la Figura IV.69 y por *stakeholder* en la Figura IV.70.



**Figura IV.69. Índices de impacto social del sistema por categoría caso España**



Figura IV.70. Índices de impacto social del sistema por *stakeholder* caso España

### Índice de Desempeño Social del sistema

Como paso final de la etapa de evaluación de ASCV, se establecen en la Figura IV.71 los índices de prioridad para las cinco categorías de impacto social mediante los datos obtenidos en la pregunta B.12 del formato de entrevista, con el fin de calcular el IDS del servicio de transporte de mercancías en su ciclo de vida.

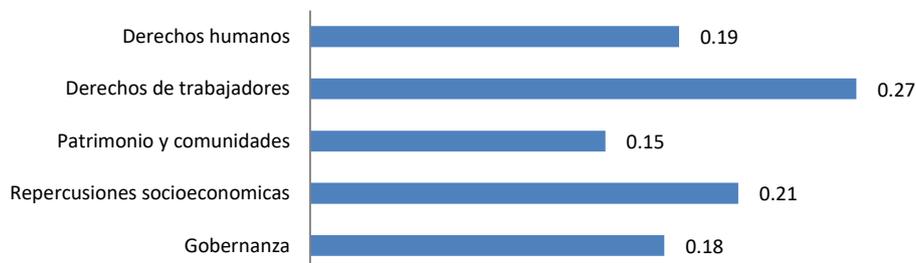


Figura IV.71. Índices de prioridad de las categorías de impacto social caso España

De esta manera, mediante el cálculo basado en los diferentes análisis de inventario del ciclo de vida, las ponderaciones de subcategorías de impacto y de actividades del sistema y los índices de prioridad de las categorías de impacto social, el **IDS** para el caso estudiado en España es igual a **3,54**.

A modo de resumen, se presentan también los IDS obtenidos en el sistema por cada uno de los eslabones de la cadena de valor evaluados en la Figura IV.72.

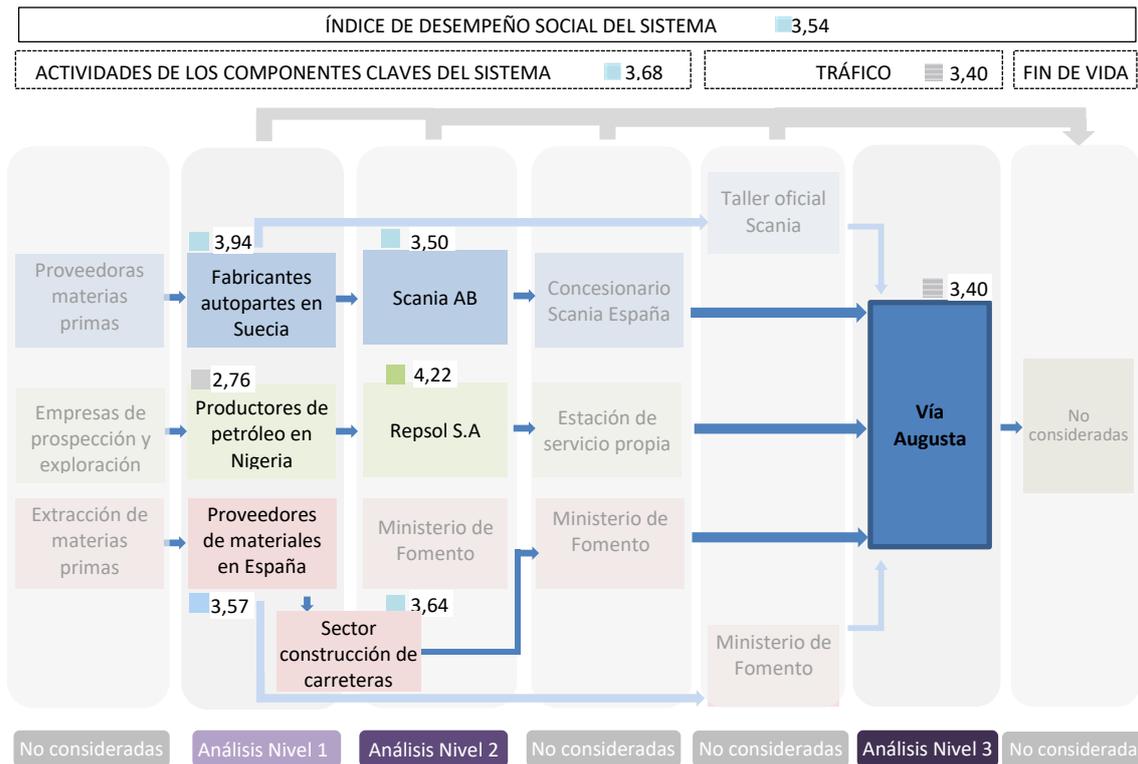


Figura IV.72. Índices de desempeño social por cada eslabón del sistema de transporte caso España

#### 4.2.3.4. Interpretación de resultados

##### Conclusiones preliminares

##### *Análisis de resultados por Categorías de Impacto:*

El IDS del sistema obtenido para este ASCV de 3,54, ubicándose en el rango de desempeño ligeramente positivo. En términos generales, el servicio de transporte ofrecido por la empresa estudiada, en su ciclo de vida, genera impactos positivos, considerando los puntos de referencia sobre los aspectos socioeconómicos que fueron establecidos en la metodología de esta tesis. Aunque analizando únicamente la empresa de transporte de mercancías, su IDS es igual a 3,38, teniendo un impacto social neutro en la región de operación.

De manera global, se puede destacar que en todas las categorías de impacto se obtuvieron índices de impacto positivos, con excepción de la categoría de Gobernanza, la cual obtiene una índice de impacto neutro, igual a 3,16, debido principalmente a bajas valoraciones en la subcategoría de Competencia Desleal en los procesos secundarios. Las categoría con índice de impacto promedio más alto del sistema fue la de Derechos de los Trabajadores con índice de 3,74, Figura IV.69, debido principalmente a la muy positiva valoración de la subcategoría de Desarrollo Tecnológico y en las de Libre Asociación de Trabajadores y Horario Laboral Justo en las empresas y sectores evaluados en España.

De manera general, la actividad que afecta negativamente al IDS del sistema es la de producción de petróleo en Nigeria, la cual tiene un índice de impacto promedio de 2,58. Aunque esta actividad, por realizarse fuera del país y por estar un eslabón más atrás de la cadena del proceso de producción de combustibles, tiene una ponderación baja, de lo contrario afectaría en mayor medida el IDS del sistema. Entre los potenciales impactos sociales más negativos hallados en la producción de petróleo en Nigeria, se encuentran los relacionados con la categoría de Protección al Patrimonio Cultural y de las Comunidades, como la deslocalización de personas, las condiciones de vida no seguras ni saludables y el irrespeto al patrimonio, tradiciones y a los derechos las comunidades indígenas.

Sin embargo, en el ciclo de vida del proceso de producción de combustibles, los impactos sociales negativos de la producción de petróleo, son compensados con las valoraciones muy positivas relacionadas con la empresa encargada del refinado del petróleo en España, la cual tiene un índice de impacto promedio de 4,22. En esta empresa refinadora, se destaca el impacto social muy positivo en la categoría de Derechos de los Trabajadores, con un índice promedio de 4,64.

En el proceso de Tráfico se encuentran impactos sociales neutros; no se presentan impactos negativos, pero tampoco se realizan muchas acciones para aumentar la valoración en cada subcategoría de manera considerable. Algunas de las subcategorías con valoraciones muy positivas con las de Salario Justo, Desarrollo Tecnológico y Mecanismos de Retroalimentación con los Clientes. No se presentan subcategorías con valoraciones negativas, aunque la de menor puntaje es la de Igualdad de Oportunidades, ya que se presenta una proporción de mujeres en la plantilla de la empresa más baja que el promedio del sector en España.

#### Análisis de resultados por stakeholders:

Analizando de manera global el impacto sobre los *stakeholders*, a excepción de Otros Actores que obtuvo un impacto neutro, los demás *stakeholders* obtuvieron valoraciones promedio positivas.

El índice de impacto neutro, igual a 3,20, para Otros Actores, se da básicamente por los hallazgos muy negativos para la subcategoría de Competencia Desleal, pero que son compensados por hallazgos positivos en la subcategoría de Compromiso Público en Temas de Sostenibilidad de las empresas evaluadas en Europa.

El índice de impacto más alto del sistema se da para el *stakeholder* Sociedad con una valoración promedio de 3,74, en donde la subcategoría que más contribuye a este valor es la de Desarrollo tecnológico, subcategoría con valoraciones muy positivas en las actividades de refinado de petróleo, fabricación de vehículos y sus componentes y en la empresa de transporte, por su inversión en vehículos modernos y su participación en proyectos de innovación y transferencia tecnológica.

Los resultados cuantitativos de estos análisis de impacto son presentados de manera resumida en los Anexos H.8 y H.9.

### Análisis de completión y consistencia de los resultados

En el caso analizado para la empresa de transporte de mercancías en España, como también para el análisis de sus proveedores, se considera que se tuvo acceso a suficiente información para realizar los análisis de inventario correspondientes.

En cuanto a la consistencia de los resultados dado el uso de la ponderación relativa de los eslabones del sistema y de la ponderación de subcategorías de impacto, es necesario un análisis de sensibilidad para observar los efectos en los resultados finales del estudio.

En este sentido, se evalúan los resultados para los cuatro diferentes escenarios definidos en la metodología: (a), (b), (c) y (d). De esta manera, los índices de impacto del sistema obtenidos en los diferentes escenarios discriminados por categorías de impacto son presentados en la Figura IV.73 y por *stakeholder* en la Figura IV.74.

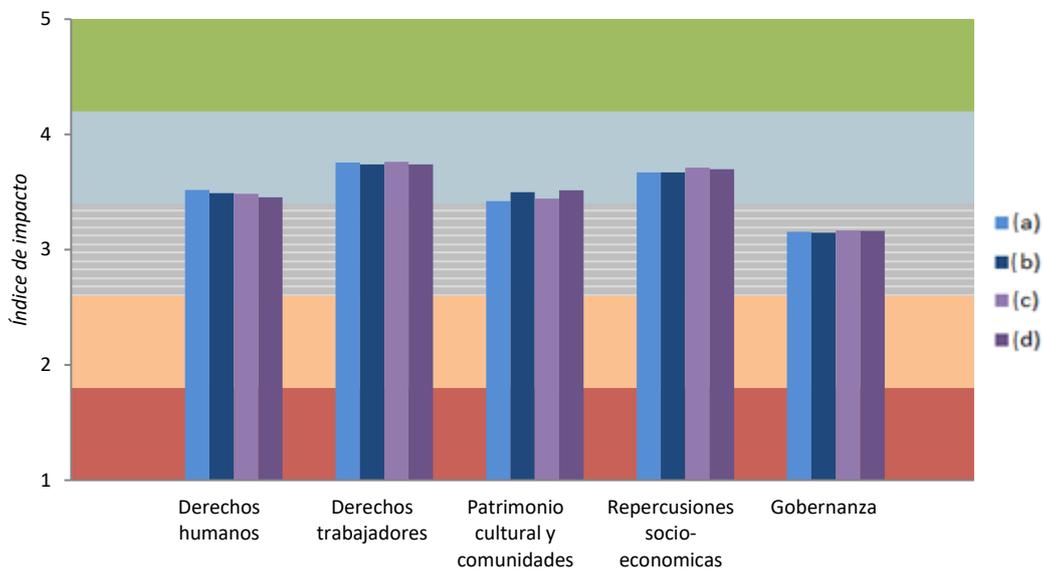


Figura IV.73. Índices de impacto social del sistema por categorías en diferentes escenarios caso España

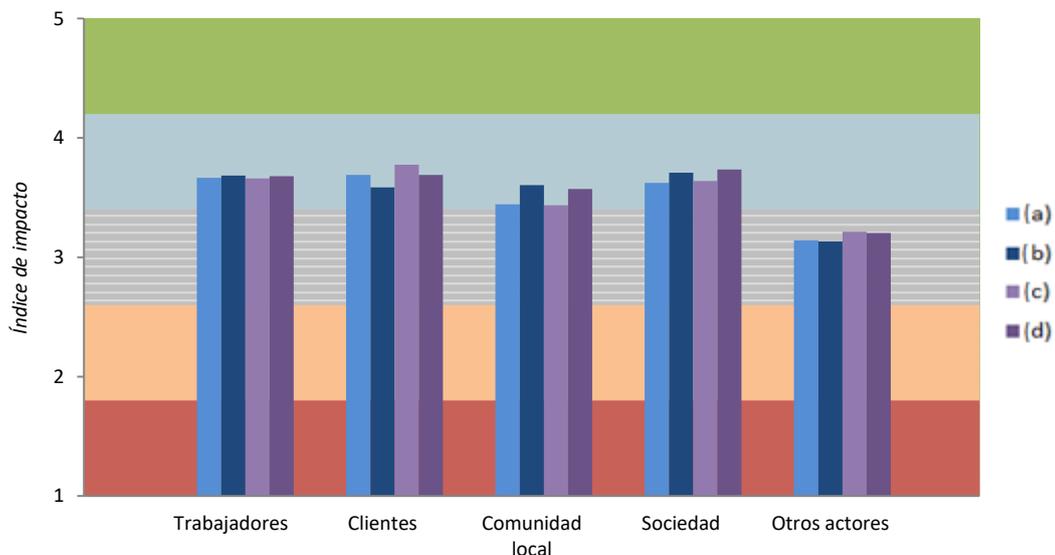


Figura IV.74. Índices de impacto social del sistema por *stakeholders* en diferentes escenarios caso España

De acuerdo con el análisis de sensibilidad para los índices de impacto por categorías, se observa que hay leves variaciones, en donde cada escenario afecta de diferente manera el resultado para cada categoría de impacto. Para la categoría de Derechos Humanos, en el escenario (a), la valoración aumentaría un poco dado que se tienen valoraciones positivas en la subcategoría de Trabajo Infantil para las actividades evaluadas con el análisis Nivel 1 y 2. Sin embargo, al considerar los índices de prioridad, como el Trabajo Infantil tiene un poco menos de relevancia que las otras subcategorías de impacto, la valoración de la categoría de Derechos Humanos se reduce un poco.

El uso de los índices de prioridad en la categoría de Patrimonio Cultural y Comunidades tiene un efecto más notable, ya que se da menor importancia a las subcategorías con calificaciones neutras (alrededor de 3,00), como las Deslocalización y Migración, Respeto a las tradiciones locales y el Respeto a los Derechos a las Comunidades Indígenas. De esta manera, en los escenarios en donde no se tienen en cuenta los índices de prioridad como el (a) y (c), estas valoraciones neutras reducen el índice de impacto promedio de la categoría.

En cuanto al análisis de los escenarios para los índices de impacto social por *stakeholder*, se presenta un incremento apreciable en el *stakeholder* Clientes en los escenarios en donde no se consideran los índices de prioridad de subcategorías. Esto se debe a que para el *stakeholder* Clientes, la subcategoría más importante es la de Transparencia en Temas sociales y Medioambientales, la cual obtuvo bajas valoraciones en la empresa de transporte y en la empresa constructora de la carretera, reduciendo significativamente la valoración promedio para este *stakeholder* cuando los índices de prioridad de subcategorías son considerados.

La inclusión de los índices de prioridad de subcategorías también afectan los índices de impacto promedio para los *stakeholders* Comunidad Local y Sociedad, los cuales obtienen índices de impacto más altos en los escenarios (b) y (d). Para la Comunidad local, las valoraciones positivas para la subcategoría de Condiciones de vida seguras y saludables hacen aumentar los promedios, ya que esta subcategoría es la más importante para este grupo de interés. De manera similar, las buenas valoraciones en las subcategorías de Desarrollo Tecnológico y Contribución a la Economía Nacional generan un ligero aumento en el índice de impacto en el *stakeholder* Sociedad por su relevancia entre las demás subcategorías de impacto.

A partir del análisis de sensibilidad para los escenarios establecidos, es posible también obtener diferentes IDS del sistema. En este sentido, los IDS para cada escenario son presentados en la Tabla IV.96.

**Tabla IV.96. Índices de desempeño social del sistema en los diferentes escenarios caso España**

| Escenario | IDS  |
|-----------|------|
| (a)       | 3,53 |
| (b)       | 3,54 |
| (c)       | 3,55 |
| (d)       | 3,54 |

Los IDS para este caso estudiado no sufren variaciones significativas dado que los resultados para los diferentes proveedores en cada eslabón de la cadena compensan el resultado promedio en el respectivo eslabón. Por ejemplo, los resultados negativos en la actividad de producción de petróleo en Nigeria, los cuales podrían afectar negativamente el IDS del sistema al darle igual peso que a las demás actividades, no surten este efecto dado que los proveedores de materiales para la construcción en España y de autopartes en Suecia compensan los resultados en este eslabón del sistema evaluado mediante el análisis Nivel 1, obteniendo en conjunto una valoración promedio de 3,40, igual al 3,40 obtenido por la empresa de transporte. De esta manera, para el resultado final es indiferente que los resultados para la empresa de transporte tengan igual o mayor relevancia que los obtenidos para los proveedores de sus proveedores directos. En este sentido, las empresas que hacen la diferencia son los proveedores directos, quienes en conjunto obtienen una valoración promedio de 3,80, elevando el IDS del sistema a 3,54.

### **Recomendaciones generales y contribuciones de los *stakeholders***

De manera general, se ha identificado que en este caso analizado, los puntos críticos y la relevancia que han señalado los *stakeholders* se centran en los aspectos relacionados con la mejora de los Derechos de los Trabajadores.

Los resultados para cada subcategoría de impacto obtenidos de las entrevistas a los *stakeholders* sobre la percepción del desempeño de las empresas de transporte de mercancías en la región, son similares a las obtenidas en la evaluación de la empresa de transporte, a excepción de la subcategoría de Horario Laboral Justo, ya que se percibe que los conductores tienen jornadas de trabajo extensas e irregulares. Sin embargo, esta problemática ocurre en el caso de los conductores autónomos, mientras que en la empresa evaluada los horarios están bastante regulados.

Otro aspecto al que no se da suficiente relevancia es el de Igualdad de Oportunidades o de no discriminación. Si bien en el sector del transporte y en el de la construcción en España la proporción de mujeres es muy baja, para los *stakeholders* entrevistados esta problemática no es de discriminación sino de falta de interés de las mujeres para trabajar en estos sectores.

De manera específica, tanto para la empresa de transporte evaluada, como para este subsector de transporte de mercancías, el IDS del sistema podría mejorar invirtiendo un poco más en estudios medioambientales y sociales, debidamente publicados en su página web, además de crear códigos de conducta internos y para la selección de proveedores.

En cuanto a la posibilidad de analizar un cambio en el proveedor de combustible, se considera la opción que mejoraría en mayor medida el IDS del sistema, en lo posible manteniendo el mismo proveedor. Es decir, debido a que la empresa encargada del refinado de petróleo arroja índices de impacto social muy positivos (4,22) en el sistema, sería conveniente mantener este proveedor, pero utilizando un combustible procedente de una fuente primaria diferente del petróleo, ya que fuente de energía conlleva potenciales impactos sociales muy negativos. El proveedor del diésel evaluado, entre su portafolio, ofrece otros combustibles como el gas

natural, el cual podría ser una opción a evaluar para mejorar el impacto social del ciclo de vida de la producción de combustibles.

Para la adquisición de vehículos que permitan el uso de combustibles alternativos, si bien la empresa fabricante evaluada presenta un índice de impacto promedio positivo (3,52), se considera que este índice podría ser mejor, por lo que es recomendable evaluar el desempeño social de otros potenciales proveedores de nuevos vehículos para la empresa.

Estas recomendaciones, basadas en los hallazgos del análisis de inventario y evaluación del ciclo de vida del servicio de transporte, coinciden con algunas de las opiniones de los entrevistados, quienes afirman que se debe invertir más en tecnologías para la propulsión de vehículos con combustibles diferentes a los derivados del petróleo.

Otras de las opiniones de los entrevistados son las relacionadas con el control de horas de trabajo y mejor remuneración de las horas extras de los trabajadores, asimismo, varios de ellos coincidieron en que se debe promover la creación de puestos de trabajo en el sector y en los proveedores del sistema, es decir, promover la inversión y desarrollo de proveedores locales, con el fin de impulsar la economía nacional y las condiciones laborales en el ciclo de vida del transporte de mercancías.

#### **4.2.4. Discusión casos de estudio ASCV**

Dados los diferentes contextos en que opera cada una de las empresas evaluadas en los casos de estudio, sus resultados no deben ser comparados directamente. Sin embargo, para el desarrollo de cada uno de los casos fueron encontradas particularidades de las cuales se pueden obtener conclusiones.

De manera general, el tiempo necesario para el desarrollo de los ASCV es muy superior al necesario para los ACV, ya que requiere la revisión de numerosas fuentes secundarias de información para los análisis de inventario correspondientes. Para este proceso de recopilación de información, se presentaron las mayores dificultades para los países en vías desarrollo, en donde la disponibilidad de información es escasa o no disponible al público en medios virtuales, por lo que la búsqueda de datos sectoriales para los casos de estudio en Colombia y Malasia requirió mucho más tiempo que el necesario para el caso evaluado en España.

Otra limitación encontrada en los casos evaluados fue durante la etapa de evaluación de impactos. En las subcategorías en donde se compara la cifra encontrada para un indicador con la cifra a nivel nacional, como el salario o la tasa de accidentalidad, no refleja si el desempeño de la empresa o sector a nivel internacional sea bueno o malo. Por ejemplo, si en un sector específico la tasa de accidentalidad es el doble de la media nacional, obteniendo una mala calificación. Sin embargo, esta cifra en un contexto internacional podría ser baja comparada con el mismo sector en otros países, pero es difícil de evaluarla objetivamente de una manera práctica.

En el caso del salario, el promedio para un sector específico puede ser muy inferior al promedio del país, obteniendo una calificación negativa. Sin embargo, en un contexto internacional, este salario “bajo” en ese país evaluado podría garantizar un ingreso discrecional mucho más alto que el de otros países, por lo que en realidad este salario no debería ser calificado como negativo. Esta valoración podría ser ajustada con relación a la proporción de ingresos discrecionales promedio en el país frente a un promedio global, pero no se ha identificado una fuente fiable que reúna esta información para todos los países.

El análisis de sensibilidad realizado a los casos de estudio, solamente arrojó cambios significativos en el caso de Colombia, ya que en este caso se obtienen índices de impacto promedio bastante diferentes entre cada eslabón del sistema. En este caso particular, las empresas evaluadas con el análisis de inventario Nivel 2 obtuvieron índices de impacto promedio positivos, mientras que los sectores evaluados con el análisis Nivel 1 obtuvieron índices de impacto neutros. De esta manera, al asignarle un mayor peso a las actividades evaluadas con el análisis Nivel 2, el IDS del sistema se incrementa notablemente. Asimismo, la inclusión de los índices de prioridad de categorías y subcategorías de impacto, también genera una reducción significativa en el IDS del sistema del caso de Colombia, ya que se encuentran impactos negativos en varias de los aspectos considerados prioritarios para los *stakeholders* entrevistados.

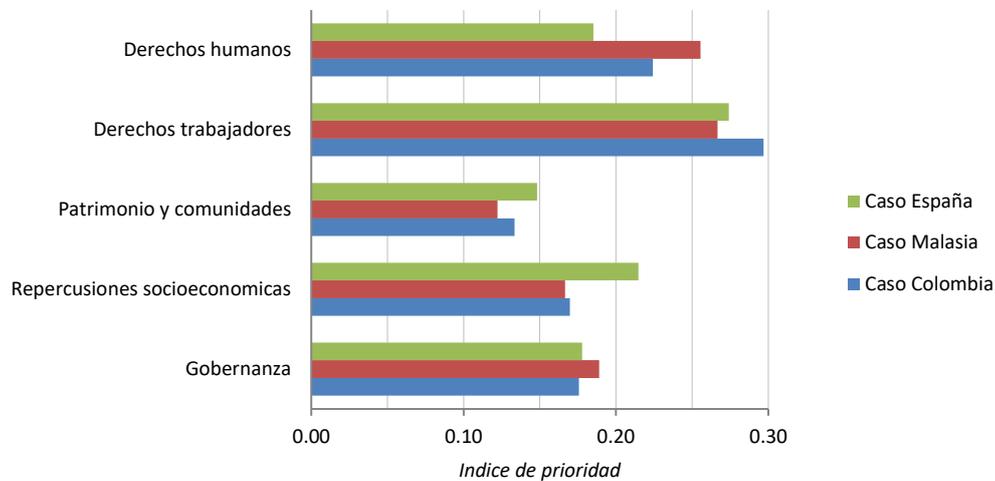
Para los tres casos de estudio evaluados, si bien se presentan en contextos geográficos y socioeconómicos diferentes, en donde cada una de las empresas y sectores evaluados tendrían más o menos riesgos de presentar impactos sociales negativos, como también mayores o menores oportunidades de realizar acciones con impactos positivos, se han obtenido resultados que reflejan la realidad de cada contexto.

Los sistemas de transporte evaluados en España, Malasia y Colombia obtuvieron IDS de 3,53 (positivo), de 3,45 (ligeramente positivo) y de 3,24 (neutro), respectivamente. A pesar de que estos indicadores coinciden con el orden en que cada uno de los países aparecen en diferentes escalafones internacionales relaciones con indicadores sociales, la diferencia entre cada uno de esos IDS no es considerable, comparado con las puntuaciones dadas a estos países en reportes internacionales como los índices de desarrollo humano, de calidad de vida, de competitividad, entre otros.

Los anterior es debido a que, por ejemplo, entre mayor sea el riesgo de que en el sistema del transporte ocurran impactos sociales negativos, mayores son las oportunidades para las empresas para realizar acciones positivas en contra de estos riesgos, por lo cual, los índices de impacto son compensados y llevados a un nivel general entre neutro y positivo, como en muchas de las actividades evaluadas en el caso de Colombia.

De manera similar, el IDS del sistema obtenido para el caso estudiado en España, a pesar de ser positivo, no está muy distanciado de los otros casos evaluados, como se podría esperar dados los buenos indicadores presentados por España en temas sociales en muchos informes o escalafones internacionales. Esto debido a que, como no existen riesgos potenciales de presentarse impactos sociales negativos en la mayoría de subcategorías de impacto, las empresas no invierten en acciones positivas relacionadas con estas subcategorías.

Por todo lo anterior, teniendo en cuenta también que en cada contexto las prioridades pueden ser muy diferentes, no pueden ser comparados IDS finales de cada caso por ser afectados por los índices de prioridad establecidos por los *stakeholders*, Figura IV.75.



**Figura IV.75. Índices de prioridad de categorías de impacto social por caso estudiado.**

De manera general, los *stakeholders* entrevistados en los tres países coinciden en que para mejorar el desempeño social de las empresas relacionadas con el transporte de mercancías deben dar mayor atención a los Derechos de los Trabajadores. La segunda categoría en orden de importancia sería la de Derechos Humanos, con excepción del caso en España, en donde está por encima la de Repercusiones Socioeconómicas, reflejando el contexto actual del país en el que los riesgos de violaciones a los derechos humanos son bajos y hay otras prioridades como la recuperación de la economía. En contraste, en el caso de Malasia, la importancia dada a los Derechos Humanos es similar a la dada a los Derechos de los Trabajadores, algo que coincide con los esfuerzos del gobierno malayo en la última década para mejorar estos indicadores sociales, país el cual ha sido uno de los que más ha avanzado en la reducción del trabajo infantil y forzado, llevándolos casi a cero en los últimos años. Por esta razón, en el ASCV del caso Malasia, al obtenerse el índice de impacto del sistema para la categoría de Derechos Humanos de 3,52, el índice de prioridad relativamente alto (0,26), contribuye a un aumento en el IDS del sistema en este caso evaluado.

Para las otras categorías de impacto, los *stakeholders* en los tres países coinciden también en que los temas relacionados con la protección del patrimonio cultural y de las comunidades son los que deberían tener menos prioridad frente a los demás temas, dado que se considera que las acciones referentes a esta categoría deben venir en mayor medida de la administración pública que de las mismas empresas, en materia de legislación y control de los impactos negativos y la promoción y exigencia del uso de mecanismos de participación ciudadana.

También se puede destacar que, los resultados de las valoraciones dadas por los *stakeholders* sobre su percepción del desempeño de las empresas de transporte de mercancías de cada región analizada, tienen correlación con los promedios obtenidos para las empresas de transporte evaluadas con los indicadores de análisis específico, lo que demuestra la representatividad de los resultados obtenidos por los métodos de análisis de inventario y evaluación de impactos propuestos.

La principal limitación para el acceso a información específica fue la ausencia o la poca compleción de reportes de las empresas identificadas en los procesos secundarios, lo cual se podría haber solucionado con la ejecución de visitas y entrevistas personales, algo que habría incrementado enormemente el gasto de recursos y tiempo. Sin embargo, estos gastos adicionales no serían representados en un aumento significativo en la precisión de los resultados, por lo que se consideró más apropiado adoptar información sectorial para los indicadores para los que no se contara con la información específica de la empresa analizada.

En definitiva, para facilitar el proceso de recopilación de información y evaluación de los impactos del ciclo de vida del transporte, es necesario que las grandes empresas y asociaciones empresariales de pequeñas y medianas empresas transportistas promuevan la elaboración de reportes de sostenibilidad completos y transparentes y que sean publicados de abiertamente, lo que contribuiría asimismo al desarrollo de bases de datos específicas para estudios de impacto social y socioeconómico asociados al servicio de transporte de mercancías en cada región.



## CAPÍTULO V.

# METODOLOGÍA HÍBRIDA E INTEGRADA PARA LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS EN SISTEMAS DE TRANSPORTE

La aplicación de las metodologías para el análisis del ciclo de vida medioambiental, económico y social en el sector del transporte resultan útiles para descubrir de manera global los impactos tanto negativos como positivos asociados a un servicio de transporte de mercancías específico. Adicionalmente, a partir de estos análisis de ciclo de vida individuales, se podrían integrar los resultados con el fin de obtener un único índice que represente el grado de sostenibilidad del servicio de transporte evaluado.

Sin embargo, las metodologías descritas presentan algunas limitaciones, principalmente al momento de evaluar alternativas para productos/empresas relativamente nuevas en el mercado, para las cuales, la información es escasa o no representativa para realizar análisis de inventario completos. Por ejemplo, para la elaboración del inventario en un ACV medioambiental para el proceso de Tráfico, solamente hay disponibles los coeficientes para las ecuaciones *Tier 3* para el cálculo de consumos y emisiones en camiones alimentados con diésel. Por lo cual, si se planteara el ACV para el servicio de transporte utilizando camiones propulsados con un combustible alternativo, los cálculos se tendrían que realizar con datos genéricos *Tier 1*, en caso de encontrarse, o a partir de factores de emisiones obtenidos de publicaciones o pruebas realizadas por otras empresas, reduciendo significativamente la exactitud y representatividad de los resultados. De igual manera, podría darse el caso que el proveedor del combustible alternativo o de la tecnología de propulsión de este combustible se trate de una empresa con pocos años en el mercado y que además exista poca información acerca de los proveedores de materias primas, dificultando la elaboración del inventario para los indicadores de impacto social.

Además de lo anterior, se ha identificado que en los ACV y ASCV completos, existen categorías y subcategorías de impacto que pueden ser irrelevantes en cada caso a estudio, dependiendo del contexto en donde se desarrollan las actividades evaluadas. Esta situación ocurre principalmente cuando se realiza un ASCV en un país desarrollado como España, en donde la mayoría de subcategorías de impacto social son irrelevantes dado que las actividades económicas no generan afectación negativa ni positiva sobre ellas. Por ejemplo, la

subcategoría de Respeto a los Derechos de la Comunidades Indígenas no aplicaría para España, así como otra serie de subcategorías que no necesitan ser evaluadas ya que el Estado ha controlado o mitigado las problemáticas relacionadas con el Trabajo Infantil, el Trabajo Forzado, la Deslocalización de Personas, la Prevención y Mitigación de Conflictos Armados, entre otras.

En el caso del ACCV, se ha identificado que la inclusión de los costos externos en la evaluación de los servicios de transporte es útil para la toma de decisiones por parte de la administración pública. Sin embargo, considerar los resultados monetizados de los impactos ambientales o sociales como variables de decisión en una evaluación de la sostenibilidad de alternativas, es decir, al incluir los costos externos en un índice que incluya también los resultados del ACV o del ASCV, básicamente se incurriría en la doble contabilización de estos impactos. Por esta razón, para desarrollar un proceso de toma de decisiones considerando las tres dimensiones de la sostenibilidad, deben ser incluidos únicamente los costos internos (de capital y de operación) asociados a la alternativa evaluada, en donde se incluiría cualquier cobro o tasa impositiva por contaminación o tributo de carácter social impuesto por la administración pública.

Por todo lo anterior, y con el fin de simplificar la elaboración de los análisis de ciclo de vida para la evaluación de alternativas para la sostenibilidad del transporte de mercancías, es necesario desarrollar una metodología que funcione como herramienta de decisión práctica, la cual pueda enfocarse en los principales temas de preocupación en cada contexto evaluado. De esta manera, para cada caso evaluado se elegirían las categorías/subcategorías de impacto más importantes, tanto para los directivos de la empresa de transporte como para los *stakeholders* involucrados en el sistema, así como la introducción de subcategorías de impacto adicionales que se consideren necesarias. Entre estas subcategorías adicionales necesarias, especialmente cuando se pretende evaluar alternativas para la introducción de un nuevo combustible, se han identificado las relacionadas con el mercado, tales como cuestiones legislativas y la disponibilidad de infraestructura y del combustible, las cuales se han considerado como los principales desafíos para la adopción de combustibles alternativos [692].

### **5.1. Evaluación de impacto multidimensional en el sector del transporte**

En la práctica, tanto las empresas privadas como las administraciones públicas han aplicado principalmente análisis financieros, de rentabilidad y de costo-beneficio para la toma de decisiones en el sector del transporte [693]. Estas técnicas evalúan las alternativas en términos monetarios de los aspectos económicos y algunos aspectos sociales y medioambientales representados en los costos externos, como la contaminación del aire, el ruido y los accidentes. Sin embargo, la monetización de muchas de estas variables requiere experiencia, tiempo y capacitación para realizar estos estudios adecuadamente; sin contar con que muchas de estas variables son muy difíciles de monetizar y comparar con estos métodos.

En los últimos años, ha aumentado el uso de análisis de ciclo de vida para la evaluación medioambiental de proyectos en el sector del transporte, principalmente en la evaluación de combustibles [175,199,221,249,261,279,307], así como de carreteras [409,410] y vehículos

[52,170,173]. El principal objetivo ha sido la estimación de las reducciones de GEI para establecer los posibles ingresos a través del mercado de carbono o los subsidios de programas para la mitigación del cambio climático. Por lo tanto, después de que el cálculo del beneficio de reducir la huella de carbono se incorpora al análisis financiero, la decisión se basa puramente en el criterio económico.

Para ampliar la perspectiva de la sostenibilidad en sus tres dimensiones, se han creado metodologías para integrar el análisis ambiental del ACV con el ASCV y el ACCV. Varios autores han propuesto integrar las tres dimensiones en una única metodología llamada análisis del ciclo de vida para la sostenibilidad (ACVS) [140–143]. Sin embargo, debido a las dificultades de integrar estos tres tipos de análisis y sus diferencias metodológicas, límites y alcances, unidades funcionales y otros factores que implican una evaluación integral, el desarrollo de los ACVS no ha trascendido las discusiones teóricas y casos de estudio.

Goh y Yang en 2014 [493], destacaron la importancia de considerar los costos sociales y medioambientales en un ACCV, pero sus cálculos y análisis carecen de metodologías claras. Además, existe el riesgo de simplificar en exceso los análisis integrando todos sus aspectos en una unidad monetaria (simplemente porque hay algunos impactos que no se pueden monetizar). Las dificultades para los analistas cuando manejan una gran cantidad de indicadores pueden reducirse con métodos más simples y transparentes, como las herramientas de toma de decisiones multi-criterio (*Multi-Criteria Decision Making- MCDM*), que permiten la clasificación de indicadores según las categorías de impacto o grupos de criterios y la integración de los intereses de los *stakeholders* [54]. Los métodos MCDM pueden ser útiles para abordar la complejidad de integrar los resultados de los criterios económicos, medioambientales y sociales utilizando escalas numéricas para comparar variables tanto cuantitativas como cualitativas. Además, los métodos MCDM sirven para ponderar ciertos criterios porque, dependiendo de la región o de los *stakeholders*, algunos de ellos pueden ser más importantes que otros [457].

Los métodos MCDM, también llamados análisis de decisión multi-criterio (*Multi-Criteria Decision Analysis- MCDA*) o análisis multi-criterio (*Multi-Criteria Analysis- MCA*), han sido populares en la toma de decisiones de proyectos de energía sostenible [694–697], así como en proyectos para el transporte de pasajeros [455,477,698–700], debido a la naturaleza de estos proyectos que afectan el medioambiente y las comunidades. Algunos autores han utilizado MCDM para integrar indicadores sociales y económicos con ACV ambientales. Por ejemplo, en un proyecto de selección entre seis procesos diferentes de mantenimiento de caminos [456], los aspectos socioeconómicos fueron integrados en la toma de decisiones en el sentido de involucrar las percepciones de las personas a través de entrevistas grupales para cada categoría de impacto identificada en el ACV ambiental. Otros autores incluyeron un análisis socioeconómico en la investigación de biocombustibles hibridando el ACV ambiental con diferentes metodologías, como la optimización multi-objetivo (*Multi-Objective Optimization- MOO*), el análisis de entradas-salidas (*Input-Output Analysis- IOA*) o el análisis de costos-beneficios [443,444]. Para la selección de recursos lignocelulósicos para la producción de biocombustibles, se realizó un ACV y un Presupuesto de Períodos Múltiples, considerando el valor presente neto y la tasa interna de retorno como indicadores financieros, así como el potencial de creación de empleo directo como un indicador social, para finalizar con un análisis

basado en un Proceso de Análisis Jerárquico (*Analytic hierarchy process*- AHP) para interpretar los resultados [445].

Camero y Sowlati [449] realizaron una revisión bibliográfica sobre estudios relacionados con las perspectivas económica, social y medioambiental de la producción de biocombustibles a partir de residuos forestales. Estos autores encontraron estudios que utilizaban MCDM [450–452] y MOO [443,453] para integrar la dimensión social en la evaluación de la sostenibilidad de estos recursos. Del mismo modo, Malik *et al.* [454] evaluaron la sostenibilidad de los biocombustibles en Australia mediante un ACV y complementado con un IOA. Sin embargo, estos estudios no incluyen indicadores sociales distintos a los originados de análisis socioeconómicos como el número de empleos generados. La generación de empleo ha sido el indicador más utilizado por los investigadores en análisis basados en MCDM, ya que su medición cuantitativa hace que los resultados sean más objetivos y precisos, a diferencia de otros indicadores con información cualitativa que son difíciles de estimar.

Entre los métodos MCDM más populares que pueden ser aplicados en el sector del transporte son [701]: AHP, proceso analítico en red (*Analytic network process* -ANP), Regime, ELECTRE (*ELimination and Choice Expressing REality*), el enfoque de utilidad multi-atributo y el método Adam. La selección del método MCDM depende de varios elementos, como los objetivos, el alcance, el nivel de precisión esperado, los *stakeholders* involucrados, la disponibilidad de información y el número de indicadores, entre otros. Un método MCDM que incorpora de manera significativa los puntos de vista de los *stakeholders* como parte del proceso de toma de decisiones es el AHP desarrollado por Saaty [446]. Este método permite la construcción de un árbol jerárquico y la ponderación de cada indicador mediante comparación por pares entre criterios e indicadores a través de una matriz para lograr una gestión coherente y consistente de los datos tanto cuantitativos como cualitativos. El método AHP ha sido usado en proyectos de transporte para seleccionar alternativas considerando principalmente criterios técnicos, financieros/económicos y medioambientales y, en menor medida, criterios sociales, de seguridad y de legislación, Tabla V.1. Los estudios basados en AHP no han considerado cuestiones relacionadas con el mercado, ya que se han centrado en evaluar tecnologías y combustibles para el transporte de pasajeros y su fase de operación, mientras que para el transporte de mercancías solo se ha estudiado la ubicación de terminales y la selección de rutas. Además, todos estos estudios analizan parcialmente los componentes (o factores) del sistema de transporte; algunos de ellos consideran los costos iniciales y de mantenimiento de los vehículos o la disponibilidad de infraestructura [702–704], pero no los impactos ambientales o sociales de estos componentes. Del mismo modo, algunos estudios solo consideran los impactos ambientales del uso del combustible, ignorando los impactos de su producción (ver Anexo I.1). Por estas razones, existe un vacío en los estudios para la evaluación de combustibles alternativos para el transporte de mercancías y, además, no hay estudios que consideren los tres factores del sistema de transporte de manera integral desde la perspectiva del ciclo de vida.

**Tabla V.1. Criterios utilizados en estudios basados en AHP para la evaluación de la sostenibilidad de alternativas en proyectos de transporte**

| Referencia | Enfoque del estudio  | Criterio              |           |                |        |           |             |
|------------|--|-----------------------|-----------|----------------|--------|-----------|-------------|
|            |  | Técnico/<br>operativo | Económico | Medioambiental | Social | Seguridad | Legislación |
| [705]      | Análisis de un sistema de enrutamiento de tráfico inteligente              | x                     | x         | x              |        | x         |             |
| [706]      | Identificación de prioridades para el sistema de tráfico urbano            | x                     |           | x              |        | x         |             |
| [707]      | Combustibles alternativos para el transporte de pasajeros por carretera    | x                     | x         | x              | x      | x         |             |
| [708]      | Inversiones en infraestructura vial  |                       | x         | x              |        | x         |             |
| [699]      | Combustibles alternativos para el transporte de pasajeros por carretera    | x                     | x         | x              |        |           |             |
| [709]      | Inversiones en infraestructura vial  | x                     | x         | x              |        |           |             |
| [710]      | Tecnologías avanzadas de asistencia al conductor                           | x                     | x         | x              | x      | x         |             |
| [703]      | Combustibles alternativos para el transporte público de pasajeros          | x                     | x         | x              |        |           |             |
| [711]      | Inversiones en infraestructura vial  | x                     | x         | x              | x      |           |             |
| [698]      | Inversiones en infraestructura vial  | x                     | x         | x              |        | x         |             |
| [288]      | Producción de combustibles alternativos                                    |                       | x         | x              |        |           |             |
| [712]      | Inversión en infraestructura vial  | x                     |           | x              | x      |           |             |
| [713]      | Evaluar los impactos de diferentes modos de transporte                     | x                     |           | x              |        | x         |             |
| [714]      | Ubicación de terminales de carga intermodal                                | x                     | x         | x              | x      | x         | x           |
| [715]      | Inversión en infraestructura vial  | x                     | x         | x              | x      |           | x           |
| [700]      | Soluciones de transporte de pasajeros                                      | x                     | x         | x              |        | x         |             |
| [716]      | Inversión en infraestructura vial  | x                     | x         | x              | x      |           |             |
| [717]      | Ubicación de terminales de carga intermodales                              | x                     | x         | x              |        | x         |             |
| [718]      | Política para promover el transporte limpio de pasajeros por carretera     | x                     | x         | x              | x      |           |             |
| [719]      | Análisis de preferencias de usuarios en el transporte urbano en autobús    | x                     |           |                |        | x         |             |
| [720]      | Combustibles alternativos para el transporte aéreo                         | x                     | x         | x              |        |           |             |
| [721]      | Combustibles alternativos para el transporte de pasajeros por carretera    | x                     | x         | x              | x      |           |             |
| [722]      | Identificación de mercados potenciales para vehículos eléctricos           | x                     | x         | x              |        |           | x           |
| [723]      | Inversión en infraestructura vial  | x                     |           | x              | x      | x         |             |
| [724]      | Políticas de reducción de la contaminación para el transporte de pasajeros |                       | x         | x              | x      |           |             |
| [725]      | Soluciones de transporte urbano de pasajeros                               | x                     |           | x              | x      | x         |             |
| [702]      | Combustibles alternativos para el transporte de pasajeros por carretera    | x                     | x         | x              | x      |           |             |
| [726]      | Redes de carreteras para el transporte de mercancías                       | x                     | x         | x              | x      | x         |             |
| [727]      | Soluciones de transporte público de pasajeros                              | x                     | x         | x              |        | x         |             |
| [728]      | Inversión en infraestructura vial  | x                     | x         | x              | x      |           |             |
| [729]      | Ubicación de puertos de carga marítimos                                    | x                     |           |                | x      | x         |             |
| [730]      | Políticas de reducción de la contaminación para el transporte de pasajeros | x                     | x         | x              |        |           |             |
| [731]      | Rutas multimodales para el transporte de mercancías                        | x                     | x         | x              |        |           | x           |
| [732]      | Soluciones de transporte público de pasajeros                              | x                     | x         | x              |        | x         |             |
| [733]      | Política para mejorar la movilidad de los pasajeros                        | x                     | x         | x              |        |           |             |
| [445]      | Recursos para la producción de biocombustibles                             |                       | x         | x              | x      |           |             |
| [704]      | Combustibles alternativos para el transporte de pasajeros por carretera    | x                     | x         | x              |        |           |             |
| [734]      | Selección de modos de transporte de mercancías                             | x                     | x         | x              |        | x         |             |
| [735]      | Combustibles alternativos para el transporte marítimo                      | x                     | x         | x              | x      |           | x           |
| [736]      | Soluciones de transporte de pasajeros                                      | x                     | x         | x              |        | x         |             |
| [737]      | Políticas para mejorar la movilidad de los pasajeros                       | x                     | x         | x              | x      |           |             |

## 5.2. Metodología de evaluación de la sostenibilidad

El enfoque metodológico propuesto tiene como objetivo orientar a los responsables de la toma de decisiones para evaluar la sostenibilidad de nuevas tecnologías en el sector del transporte, especialmente para el uso de combustibles alternativos en flotas de camiones. La

metodología permite a los responsables de la toma de decisiones considerar los intereses de la comunidad, la administración pública, los clientes, los empleados y los propietarios en un proceso de evaluación jerárquico.

La guía detallada incluye los pasos para la evaluación cualitativa y cuantitativa de los subcriterios seleccionados para los criterios ambientales, sociales y económicos. La metodología sugiere incluir subcriterios relacionados con los aspectos del mercado en el criterio económico, con el fin de evaluar indicadores como la confiabilidad de la tecnología, la seguridad del suministro y cuestiones legales. La guía consta de los siguientes cinco pasos, presentados en la Figura V.1.

- 1) Selección de alternativas y elementos por factor
- 2) Definición de subcriterios e indicadores
- 3) Comparación por pares de las alternativas
- 4) Ponderación de criterios para la evaluación de escenarios
- 5) Cálculo de índices de sostenibilidad

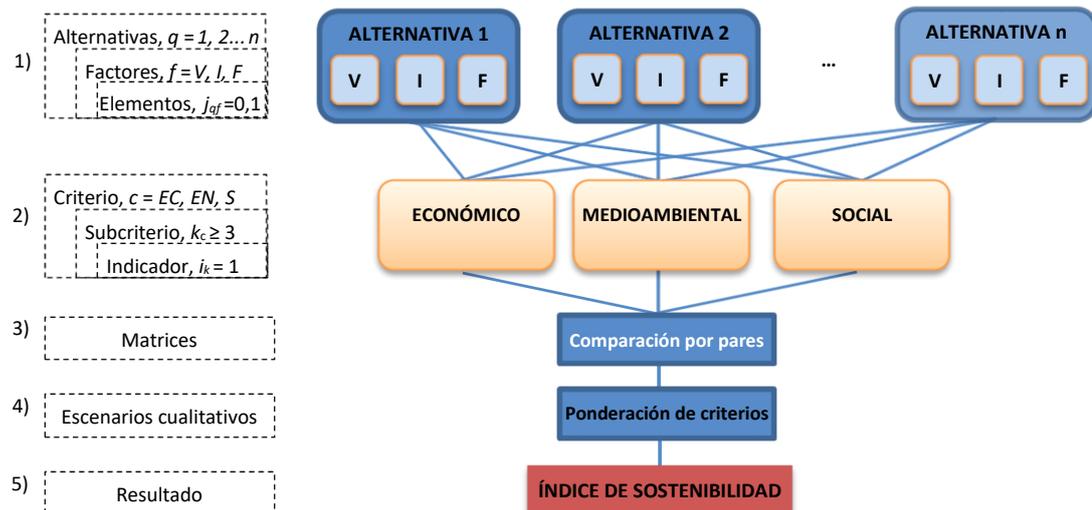


Figura V.1. Guía para la evaluación de la sostenibilidad del transporte

### 5.2.1. Selección de alternativas y elementos por factor

Después de establecer el alcance y los objetivos del proceso de evaluación, son identificadas a través de un análisis de mercado inicial las alternativas ( $q = 1, 2, \dots, n$ ) y elementos ( $j_{qf}$ ) para cada factor ( $f$ ) del sistema de transporte, *i.e.*, vehículos ( $V$ ), infraestructura ( $I$ ) y combustibles ( $F$ ), los cuales generan impactos en los aspectos económicos ( $EC$ ), medioambientales ( $EN$ ) y sociales ( $S$ ).

Los elementos deben identificarse con base en la selección preliminar de alternativas, *i.e.*, la alternativa tradicional ( $q = 1$ ) y la alternativa nueva ( $q = 2$ ). Todos los elementos que se necesitan para operar con un combustible alternativo deben clasificarse de acuerdo con el factor respectivo. Por ejemplo, si la operación con electricidad ( $q = 2$ ) está disponible solo para

un camión eléctrico con baterías de plomo, esto requeriría un elemento en el factor vehículos (*i.e.*,  $j_{2V} = 1$ ). Además, si la recarga de los camiones es posible en una estación particular que se construye dentro de las instalaciones de la compañía o en una estación de carga de terceros ubicada en diferentes puntos de la ciudad, ambas opciones serían elementos del factor infraestructura (*i.e.*,  $j_{2I} = 2$ ). Subsiguientemente, el tipo de combustible identificado para ambas opciones sería la misma electricidad de la ciudad (*i.e.*,  $j_{2F} = 1$ ).

Para comenzar el análisis, es importante asegurarse de que para cada alternativa, se identifica al menos un elemento en uno de los tres factores del sistema ( $\forall f \in q, j_{qV} + j_{qI} + j_{qF} > 0$ ). Además, cada factor no podrá tener más de un elemento ( $\forall f \in q, j_{qf} = 0, 1$ ). Por lo tanto, si hay dos o más elementos en uno de los factores, el elemento adicional deberá convertirse en una nueva alternativa ( $j_{qf} > 1 \rightarrow q = n + j_{qf} - 1 \rightarrow j_{qf} = 1$ ). De esta manera, cada nueva alternativa tendrá solo un elemento en el factor respectivo. En este sentido, para el ejemplo anterior, ahora existirían tres alternativas: el camión diésel tradicional ( $q = 1$ ), el camión eléctrico cargado en su propia estación ( $q = 2$ ) y el camión eléctrico cargado en la estación de un tercero ( $q = 3$ ).

### 5.2.2. Definición de subcriterios e indicadores

Para el establecimiento de subcriterios ( $k_c$ ) y los indicadores correspondientes ( $i_k$ ) para los criterios sociales, económicos y medioambientales, se deben seleccionar al menos tres subcriterios basados en los diferentes intereses de los *stakeholders* para cada criterio. Esto con el fin de asegurar la inclusión en el criterio económico, además de los subcriterios de costes financieros, otros subcriterios relacionados con la confiabilidad/seguridad de la tecnología y los aspectos legales involucrados para analizar el desempeño esperado de la inversión a lo largo de su vida útil.

En este sentido, los tres subcriterios recomendados para el criterio económico son la fiabilidad, los costes de capital y de operación y la legislación. Para los criterios medioambientales y sociales, los subcriterios pueden variar según los intereses de la empresa y los *stakeholders*. Entre los subcriterios medioambientales más comunes se encuentran las emisiones de GEI y de gases contaminantes del aire, el uso de la tierra y el ruido, mientras que para el criterio social, se encuentran la creación de empleo, los beneficios sociales y aceptabilidad social [694]. Adicionalmente, para cada subcriterio, se debe elegir un indicador válido para comparar los resultados entre las alternativas seleccionadas, por ejemplo, los metros cuadrados serían un indicador del terreno utilizado para las estaciones de servicio y los decibeles serían un indicador del ruido de los motores.

Para la selección de subcriterios e indicadores, se necesita información adecuada y disponible sobre el mercado en la medida en que interactúe con aspectos relacionados con el desarrollo tecnológico y la legislación. Esta información ha sido definida en algunos estudios como el “criterio tecnológico”, donde el indicador principal es la eficiencia, seguido por la confiabilidad y por la madurez de la tecnología [694]. Sin embargo, los aspectos tecnológicos deben evaluarse en paralelo con los aspectos legales y las tendencias del mercado. Esos aspectos no

solo deben analizarse a partir de la información de los proveedores, sino también de casos exitosos en el mismo sector y de estudios con suficiente rigor científico para proporcionar resultados precisos y consistentes. Los aspectos relacionados con la fiabilidad de la tecnología son: seguridad y rendimiento; garantía y servicio posventa; garantía de suministro y estabilidad de precios de repuestos, insumos y combustible; requisitos de capacitación del personal; y disponibilidad de estaciones de servicio. Algunos aspectos legislativos son: incentivos para la inversión en tecnología; cumplimiento de estándares de calidad del aire, ruido y seguridad; permisos y/o licencias especiales para la libre circulación; regulaciones específicas en ciudades y áreas de acceso restringido debido al ruido, tipo de combustible, peso o dimensiones; y análisis de la regulación restrictiva o beneficios fiscales esperados.

### 5.2.3. Comparación por pares de las alternativas

En este paso son desarrolladas matrices de comparación por pares (MCP) para cada subcriterio para comparar las alternativas en cada factor. Un total de nueve vectores de prioridad global ( $Y_{cf}$ ) para cada criterio y factor son obtenidos, basados en las directrices del proceso AHP de Saaty [446], detallado a continuación:

- a) Para cada subcriterio, las MCP se realizan para establecer una valoración de la importancia relativa entre las alternativas consideradas. La valoración se establece a partir de la siguiente escala:

1 = igualmente preferido  
3 = moderadamente preferido  
5 = muy preferido  
7 = muy fuertemente preferido  
9 = extremadamente preferido

Los valores de cada comparación se pueden asignar también como una valoración recíproca (1/3, 1/5...) cuando se prefiere la segunda alternativa sobre la primera. El número 1 es asignado a la comparación de una alternativa con ella misma.

- b) Matrices de comparación normalizadas (MCN) son elaboradas dividiendo cada valor de las columnas de la MCP por la sumatoria de la columna para cada subcriterio.
- c) Un vector de prioridad (PV) para cada subcriterio es desarrollado calculando el promedio de cada fila de la MCN. Este promedio por fila representa la prioridad de la alternativa con respecto al subcriterio considerado.
- d) La consistencia de las valoraciones utilizadas en las MCP puede determinarse a través del cociente de consistencia (CC); procedimiento detallado en la literatura de Saaty. Un CC de menos de 0,10 se considera aceptable. Cuando el CC es mayor a 0,10, las opiniones y juicios deben ser reconsiderados [738].

- e) Después de completar los puntos anteriores para cada uno de los subcriterios, los resultados obtenidos en el punto *c* se resumen en una Matriz de Prioridad (PM), organizando las alternativas por fila y subcriterios por columna.
- f) Se elabora matriz de comparación por pares de subcriterios (MCPS) para obtener un vector de prioridad de subcriterios (SPV) mediante el desarrollo de una MCN, lo cual es similar a lo realizado para la comparación de alternativas en los puntos *a*, *b* y *c*.
- g) Se elaboran vectores de prioridad global ( $Y_{cf}$ ) de alternativas para cada criterio y factor multiplicando el SPV obtenido en el paso anterior por la PM de las alternativas del punto *e*.

$$Y_{cf} = [y_{cf,q}] = \begin{bmatrix} y_{cf,1} \\ y_{cf,2} \\ \vdots \\ y_{cf,n} \end{bmatrix}, \quad (V.1)$$

donde:

$$\begin{aligned} c &= EC, EN, S \\ f &= V, I, F \\ q &= 1, 2... n \end{aligned}$$

#### 5.2.4. Ponderación de criterios para la evaluación de escenarios

En este paso se realizan las ponderaciones para cada criterio ( $W_c$ ) para establecer diferentes escenarios en función de los intereses de los *stakeholders*. El escenario base es elaborado considerando igual importancia para cada uno de los tres criterios ( $W_{EC}$ ,  $W_{EN}$  y  $W_S$ ), mientras que el escenario 1 se establece en función de los intereses del equipo que toma las decisiones. Este equipo generalmente está compuesto por planificadores estratégicos, el jefe del departamento de mantenimiento, un miembro de la junta directiva, el gerente general y un representante de los empleados de la compañía, pero también podría involucrar a un representante de la comunidad o un gobierno local.

También se pueden establecer escenarios adicionales, en los que la ponderación depende de la opinión de un determinado *stakeholder* o del mismo equipo de toma de decisiones basado en las diferentes expectativas del mercado o posibles cambios en la legislación, para comprender las mejores alternativas en un escenario dado.

#### 5.2.5. Cálculo de índices de sostenibilidad

De los vectores de prioridad global de alternativas ( $Y_{cf}$ ) para cada criterio obtenido al final de la sección 5.3.3 y ponderaciones de la sección 5.3.4, se obtiene el vector de sostenibilidad (SV) en un escenario determinado, en el que cada valor en el vector es el índice de sostenibilidad

para cada alternativa ( $si_q$ ). El  $si_q$  más alto sería la alternativa más sostenible en el escenario evaluado:

$$SV = [W_{EC}(Y_{ECV} + Y_{ECI} + Y_{ECF}) + W_{EN}(Y_{ENV} + Y_{ENI} + Y_{ENF}) + W_S(Y_{SV} + Y_{SI} + Y_{SF})] \div 3, \quad (V.2)$$

entonces,

$$\begin{bmatrix} si_1 \\ si_2 \\ \vdots \\ si_n \end{bmatrix} = \left[ W_{EC} \left( \begin{bmatrix} y_{ECV,1} \\ y_{ECV,2} \\ \vdots \\ y_{ECV,n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_{ECI,1} \\ y_{ECI,2} \\ \vdots \\ y_{ECI,n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_{ECF,1} \\ y_{ECF,2} \\ \vdots \\ y_{ECF,n} \end{bmatrix} \right) + W_{EN} \left( \begin{bmatrix} y_{ENV,1} \\ y_{ENV,2} \\ \vdots \\ y_{ENV,n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_{ENI,1} \\ y_{ENI,2} \\ \vdots \\ y_{ENI,n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_{ENF,1} \\ y_{ENF,2} \\ \vdots \\ y_{ENF,n} \end{bmatrix} \right) + W_S \left( \begin{bmatrix} y_{SV,1} \\ y_{SV,2} \\ \vdots \\ y_{SV,n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_{SI,1} \\ y_{SI,2} \\ \vdots \\ y_{SI,n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_{SF,1} \\ y_{SF,2} \\ \vdots \\ y_{SF,n} \end{bmatrix} \right) \right] \div 3, \quad (V.3)$$

$$\sum_{q=1}^n si_q = 1 \quad (V.4)$$

### 5.3. Caso a estudio: gas natural licuado y biodiésel para el transporte de mercancías por carretera

El caso a estudio es realizado para la empresa de transporte de mercancías ubicada en España. El objetivo de la compañía es comprar camiones nuevos (cabezas tractoras) para cubrir rutas de media y larga distancia. Se espera que el vehículo pueda viajar, en promedio, 1000 km (ida y vuelta) desde la planta base en Zaragoza con o sin reabastecimiento de combustible en las estaciones disponibles a lo largo de las rutas. La metodología busca evaluar tecnologías alternativas limpias y sostenibles, principalmente para reducir la contribución a huella de carbono de los productos transportados.

Para la selección de los combustibles disponibles, aptos para el transporte de larga distancia, la Comisión Europea recomendó, a través del reporte *Clean Power for Transport: A European alternative fuels strategy* [32], el uso GLP, GNL y biocombustibles líquidos, Tabla V.2. Aunque el fomento de los biocombustibles solo fue recomendado para cuando los biocombustibles avanzados, como el obtenido a partir de algas, se comercializaran a gran escala. Por lo cual, la proporción actual disponible en estaciones en Europa de biodiésel de materias primas tradicionales como canola, colza, girasol, oliva, palma, soja, grasas animales o aceites usados de cocina, espera mantenerse sin nuevos incentivos de la administración pública. El FAME es el biodiésel más común, pero solo puede ser utilizado mediante mezclas con diésel fósil, en bajas concentraciones de hasta 7% para cualquier motor diésel, o en mezclas de hasta 30% tomando precauciones adicionales y haciendo modificaciones a los motores. Por lo tanto, el FAME no sería una alternativa completa para obtener resultados significativos en los indicadores de sostenibilidad como reemplazo del diésel tradicional. La otra opción disponible de biodiésel es el aceite vegetal hidrotreatado (*hydrotreated vegetable oil -HVO*), que puede usarse directamente en los modernos diésel motores sin restricciones, por lo cual este combustible podría ser una alternativa para evaluar.

**Tabla V.2. Cobertura de modos de transporte y rangos de viaje por los principales combustibles alternativos [32]**

| Combustible              | Modo       | Carretera (pasajeros) |       |       | Carretera (mercancías) |       |       | Aéreo | Férreo | Agua    |           |           |
|--------------------------|------------|-----------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-------|--------|---------|-----------|-----------|
|                          | Distancia  | Corta                 | Media | Larga | Corta                  | Media | Larga |       |        | Fluvial | Mar-corto | Mar-largo |
| Gas licuado de petróleo  |            |                       |       |       |                        |       |       |       |        |         |           |           |
| Gas natural              | Licuado    |                       |       |       |                        |       |       |       |        |         |           |           |
|                          | Comprimido |                       |       |       |                        |       |       |       |        |         |           |           |
| Electricidad             |            |                       |       |       |                        |       |       |       |        |         |           |           |
| Biocombustibles líquidos |            |                       |       |       |                        |       |       |       |        |         |           |           |
| Hidrógeno                |            |                       |       |       |                        |       |       |       |        |         |           |           |

El uso de HVO, también conocido como diésel renovable, diésel renovable derivado de hidrogenación (*hydrogenation derived renewable diesel* -HVRD) o biodiésel hidrogenado (*hydrogenated biodiesel* -HBD) [113], está aprobado por fabricantes de camiones, como IVECO, Mercedes-Benz, Renault, Scania y Volvo [739]. Es importante señalar que en el mercado europeo no se encuentra oferta de camiones de GLP, por lo tanto, no es considerado este combustible en esta evaluación. Un estudio en España indicó que ningún fabricante europeo ofrece vehículos medianos o pesados propulsados con GLP, dado que este no ofrece ventajas en cuanto a rendimiento, emisiones o precios en comparación con el gas natural (GN) [740]. Hay empresas que ofrecen los equipos para convertir motores convencionales diésel a combustible dual para operar con 95% de GNL y 5% de diésel, o fabricantes que ofrecen camiones nuevos con motores ciclo Otto propulsados 100% con GNL. Para este caso a estudio, se seleccionan tres alternativas de combustible: GNL, diésel fósil y HVO. La principal inversión sería la compra de cabezas tractoras de 330 caballos de potencia propulsados con GNL o unidades diésel equivalentes que usarían diésel fósil o HVO. Ambos tipos de camiones son fabricados localmente por la misma empresa y con la certificación Euro VI, cumpliendo con los requisitos técnicos y legales para transitar por las carreteras europeas.

Por lo tanto, los componentes involucrados en el sistema de transporte son: nuevas tractoras, estaciones de servicio y los combustibles. Aunque las estaciones de servicio serían construidas y administradas por terceros, deben considerarse en la evaluación debido a su indispensabilidad para la operación de los vehículos. Las carreteras y otras infraestructuras, como los estacionamientos, serían las mismas para ambos tipos de vehículo, por lo que no son consideradas en el factor de infraestructura.

De acuerdo con lo establecido anteriormente en la sección 5.3.2 y la revisión bibliográfica, para los criterios ambientales, económicos y sociales, los subcriterios más comunes en las evaluaciones de sostenibilidad energética han sido las emisiones de CO<sub>2</sub> o GEI, la inversión inicial y la creación de empleo [694]. Sin embargo, en el caso específico del análisis de alternativas de transporte, que incluyen unidades móviles y, debido a la importancia de la fase de uso, deben considerarse además las emisiones de NOx y MP para evaluar el impacto en la calidad del aire de las áreas urbanas, así como los costos de operación y mantenimiento [477,698–700] y el ruido [497,512]. En el caso del criterio social, se han considerado otros subcriterios en proyectos de transporte, como los accidentes de tráfico y la congestión [497,512,741], pero debido a que las tractoras evaluadas en este caso tienen las mismas dimensiones y masa y son conducidas de manera similar, estos indicadores no se ven afectados. Otro aspecto que se ha tenido en cuenta en el subsector de producción de

combustibles son los beneficios sociales para la región [280,434,444,452,457], los cuales deben ser considerados para evaluar el desempeño social de las alternativas. Para la selección de subcriterios y sus respectivos indicadores, como se muestra en la Tabla V.3, aspectos como los intereses de la empresa y demás stakeholders fueron considerados. De manera concreta, se han tenido en cuenta los resultados de las preguntas A.6 y B.14 de la entrevista semiestructurada, acerca de los principales obstáculos para la implantación de tecnologías y combustibles alternativos y acerca de los impactos más relevantes de cada factor del sistema de transporte en España.

Además de los aspectos que preocupan principalmente a la empresa, relacionados con la fiabilidad de la tecnología y los indicadores financieros, los aspectos legislativos también juegan un papel importante en la toma de decisiones en el criterio económico. La compañía busca aprovechar los beneficios que podría recibir por mejorar el desempeño medioambiental, como la disminución en impuestos y la libre circulación en áreas restringidas. Además de una menor huella de carbono reportada para los productos del cliente, la aceptación social sería otro beneficio de la nueva flota para toda la compañía y como una estrategia de mercadeo que mejoraría la sostenibilidad del negocio en el futuro.

**Tabla V.3. Subcriterios e indicadores por criterio para cada factor**

| Criterio              | Subcriterios                      | Indicadores por factor  |                         |                             |
|-----------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|
|                       |                                   | Vehículos               | Infraestructura         | Combustibles                |
| <b>Económico</b>      | Coste inicial y de operación      | €, Δ (mant.)            | -                       | €/100 km                    |
|                       | Fiabilidad                        | Δ tiempo productivo     | No. de estaciones       | Disponibilidad <sup>b</sup> |
|                       | Legislación                       | Beneficios              | Beneficios              | Beneficios                  |
| <b>Medioambiental</b> | Emissiones de GEI <sup>a</sup>    | kgCO <sub>2</sub> eq/km | kgCO <sub>2</sub> eq/km | kgCO <sub>2</sub> eq/km     |
|                       | Contaminantes del aire (NOx y MP) | -                       | -                       | g/kWh (cada uno)            |
|                       | Ruido                             | Δ decibelios            | Δ decibelios            | -                           |
| <b>Social</b>         | Empleo                            | Empleos directos        | Empleos directos        | Empleos directos            |
|                       | Beneficios sociales <sup>c</sup>  | Beneficios sociales     | Beneficios sociales     | Beneficios sociales         |
|                       | Aceptabilidad social              | Favorabilidad           | Favorabilidad           | Favorabilidad               |

<sup>a</sup> considerando las emisiones en el ciclo de vida

<sup>b</sup> también considerando la estabilidad de los precios (sin impuestos) por varios años

<sup>c</sup> beneficios social, como *royalties*, incremento del ingreso per cápita y de la calidad de vida

Los datos para cada indicador en la Tabla V.3 son obtenidos de fuentes secundarias y entrevistas semiestructuradas. Valores cuantitativos son utilizados principalmente para los indicadores económicos y medioambientales, mientras que los valores cualitativos son utilizados para los indicadores sociales porque no dependen directamente de la empresa, sino de la industria y la actividad económica relacionada con cada combustible alternativo. Un resumen de los datos para cada indicador es presentado en el Anexo I.2. Estos datos son convertidos en valoraciones de importancia relativa mediante el proceso de comparación por pares entre las alternativas, con el fin de obtener los vectores de prioridad global. Este proceso es realizado de acuerdo con el punto *a* de la sección 5.3.3, cuyos resultados se presentan en la Tabla V.4. Un total de veintisiete MCP fueron desarrolladas al comparar el impacto de las alternativas en cada uno de los tres factores de acuerdo con los nueve subcriterios considerados.

La alternativa de GNL tuvo bajas clasificaciones en los subcriterios económicos frente al diésel y el HVO en el factor vehículos, ya que el costo del camión de GNL es aproximadamente 30% mayor que el de un camión diésel convencional [742]. Los costos de mantenimiento de los

camiones de GNL serían aproximadamente un 10% mayores debido a la capacitación adicional y las posibles averías en carretera [743] combinadas con el tiempo medio de reparación y el tiempo de espera para la consecución de repuestos y un técnico especializado [692,743]. Sin embargo, el costo inicial de los camiones de GNL es compensado parcialmente con la subvención de 20 000 € por unidad comprada por parte del plan MOVEA del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo de España [744]. Los costes extras para los camiones de GNL también se compensarían con un ahorro en el costo del combustible de aproximadamente el 30% por km recorrido en comparación con el uso de diésel o de HVO [332,742,745]; el consumo promedio de GNL cada 100 km es de 25,3 kg, *i.e.*, 26,2 €, mientras que el camión diésel equivalente consume 32 L, *i.e.*, 39,3 € [125].

La legislación también favorece el uso de GN vehicular con un bajo impuesto de 1,15 €/GJ (0,056 €/kg), mientras que los impuestos para el diésel son de 0,331 €/L [746]. Además de la subvención para la compra de vehículos a GN, el gobierno también subvenciona hasta el 100% de los costos de registro y hasta el 50% del costo de los peajes y estacionamiento a través del etiquetado ambiental [747]. Además, debido a que los camiones GNL producen aproximadamente 50% menos ruido que los camiones diésel [210,748], pueden obtenerse permisos especiales para reparto nocturno en áreas urbanas restringidas [748,749]. También, el desarrollo de la infraestructura ha sido promovido en todos los Estados miembros mediante la Directiva 2014/94/UE [51], la cual establece objetivos para la construcción de estaciones de servicio de GNL cada 400 km.

La construcción de estaciones de servicio de GNL en España ha crecido exponencialmente, alcanzando un total de 22 estaciones en funcionamiento en 2016 [750], mientras que el número de estaciones de biodiésel ha disminuido drásticamente de 470 estaciones en 2010 a 81 a mediados de 2016 [745], lo que afecta la confiabilidad del factor infraestructura al restringir la cantidad de destinos posibles del vehículo. La disminución de los puntos de repostaje de biodiésel fue generada por la finalización de la exención de impuestos para los biocombustibles en diciembre de 2012, lo que ha hecho que el biodiésel no sea rentable para los minoristas y menos atractivo para los consumidores. La Asociación Española de Productores de Biocombustibles [739] está preocupada por el futuro del sector debido a los excesivos requisitos para los productores locales y la reducción en 2013 de los objetivos 2020 para la introducción del biodiésel del 7% al 4,1%, lo que produjo una caída anual del consumo de biodiésel de 27 kt en 2012 a 1 kt en 2015 y condujo al cierre de varias biorefinerías en España [648]. Esta situación podría afectar el suministro de HVO, el cual puede ser respaldado por importaciones, pero no garantiza la estabilidad de precios. Por otra parte, la seguridad del suministro de GNL estaría garantizada debido a las medidas de la UE para mitigar los riesgos de desabastecimiento mediante la diversificación de proveedores de GN, exigencia de reservas mínimas y de mayor conexión entre los Estados miembros y las terminales de GNL en puertos (la mayoría de ellas en España) [751]. Simulaciones recientes han demostrado que los cortes de suministro de GN de proveedores tradicionales como Rusia o países del norte de África no afectarían la disponibilidad y estabilidad de precios en Europa Occidental [752–755].

El GNL que se consume en España actualmente es importado en su totalidad. El GNL se transporta en forma líquida en camiones cisterna desde su recepción en los puertos hasta las estaciones de servicio para ser utilizado directamente en los vehículos. Estas importaciones de

GNL en 2015 provinieron de Argelia (28,3%), Nigeria (27,7%), Qatar (22,5%), Trinidad y Tobago (7,4%), Perú (7,1%), Noruega (5,2%) y Omán (0,6%) [648]. En el caso del biodiésel, se importó toda la materia prima para producir el HVO consumido en España en 2015 (98,22% de aceite de palma y 1,78% de manteca de karité). De este consumo de HVO, el 78,2% fue refinado internamente, principalmente de aceite de palma de Indonesia (67%) y Malasia (27,6%) [756]. El HVO importado fue refinado principalmente en los Países Bajos y Singapur, también de aceite de palma del sudeste asiático [756]. La balanza comercial de diésel fósil es similar a la del HVO. Casi el 83% del diésel consumido en 2015 en España se refinó localmente con petróleo importado de Nigeria (16,7%), México (13,7%), Arabia Saudita (10,5%), Angola (9,2%), Rusia (6,2%), Iraq (5,4%), Venezuela (4,9%), Colombia (4,8%), países europeos (11,8%) y otros (16,8%) [648].

A pesar de que la industria del refino de petróleo genera beneficios económicos y empleo en condiciones relativamente buenas en España, las industrias de petróleo, gas y aceite de palma no han mostrado buenos indicadores de sostenibilidad en los países en donde operan. Muchas empresas han sido responsables de impactos medioambientales muy negativos, como la deforestación, daños a la biodiversidad y ecosistemas por derrames de crudo y altas emisiones de GEI [33], como también impactos sociales, como condiciones laborales negativas e irrespeto a los derechos humanos, patrimonio cultural, comunidades indígenas y a la gobernabilidad.

Un estudio realizado en la provincia de Jambi en Indonesia encontró que la expansión del aceite de palma afectó seriamente el patrimonio cultural debido a la deforestación de áreas habitadas por grupos indígenas, quienes están siendo marginados al destruir y contaminar su medioambiente [437]. Además, este estudio indicó que muchos de los empleos generados son informales y por jornal, sin salarios justos ni seguridad social y sin posibilidad de libre asociación y negociación colectiva.

Las operaciones de petróleo y gas también han sido controvertidas porque en algunos países exportadores, los métodos de extracción, como el *fracking*, podrían afectar la disponibilidad y la calidad del agua y el suelo [757,758]. Sin embargo, los principales proveedores de GNL y petróleo para España aún extraen estos recursos por métodos convencionales. Estudios sobre los impactos sociales y medioambientales de la industria del petróleo y el gas en Nigeria afirmaron que los impactos más graves han ocurrido específicamente debido a las operaciones petroleras en la región del delta del Níger, donde millones de barriles de petróleo se han derramado en el entorno, degradando el agua potable y las fuentes de sustento y, en consecuencia, han generado pobreza y violencia [46,759,760]. Específicamente para el GN, se afirma que esta industria tiene mejores registros de sostenibilidad en comparación con otros combustibles fósiles [41,761]. Todos estos argumentos se consideraron para establecer los valores cualitativos para el subcriterio de beneficios sociales. Debido al daño a los medios de subsistencia de las comunidades donde se extrae el petróleo y el aceite de palma, se establecieron valores deficientes para el diésel y HVO en comparación con la alternativa de GNL.

En cuanto a los temas medioambientales, la expansión de cultivos de palma en Malasia e Indonesia ha destruido los bosques tropicales ricos en carbono (el 45% de los cultivos de palma se plantaron en áreas boscosas [33]). El HVO producido a partir de aceite de palma podría

generar aproximadamente un 16% más emisiones de GEI en su ciclo de vida frente al diésel si se considera el cambio indirecto del uso del suelo (ILUC) [210]. En general, varios estudios han demostrado que durante la preparación de suelos en áreas de bosques tropicales y turberas, se liberan grandes reservas de GEI, que tardan décadas o siglos en compensarse [762–764].

El uso de GNL no ha mostrado una reducción significativa de emisiones de GEI debido a su menor eficiencia energética frente al diésel y HVO. Por km recorrido, la combustión de GNL en motores pesados podría reducir las emisiones de GEI hasta un 20%, pero considerando la energía extra necesaria para la licuefacción, el transporte y la distribución, la reducción de emisiones de GEI en el ciclo de vida estaría entre -10% y 10% en comparación con las emisiones de diésel [38]. Con relación a los contaminantes atmosféricos liberados durante la operación de camiones Euro VI, en comparación con el diésel, el GNL podría reducir más del 50% los NOx y 90% el MP [210,765], mientras que el HVO reduce aproximadamente 10% los NOx y 27% el MP [766]. Estos resultados comparativos entre el HVO y el diésel son el promedio de experimentos en vehículos tipo pesado con diferente normativa Euro, por lo tanto para vehículos Euro VI las emisiones de NOx y MP serían prácticamente las mismas. La construcción de vehículos e infraestructura no representa grandes diferencias en términos de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos. La operación de las estaciones de servicio de GNL genera el mismo ruido, pero consume más electricidad que las estaciones de diésel y biocombustibles, aunque este impacto medioambiental ya está incluido en el ACV de los combustibles.

Para los subcriterios sociales, la aceptabilidad social tuvo la mayor valoración para el GNL debido a las percepciones negativas de la combustión del diésel y los problemas por el uso de suelos y con los alimentos relacionados con los biocombustibles. El nivel de favorabilidad fue obtenido de las entrevistas semiestructuradas a los *stakeholders* con preguntas sobre la relevancia en el impacto ambiental y socioeconómico de los combustibles alternativos en cada factor. Los vehículos a GN se consideran más limpios que los vehículos diésel, aunque algunas personas piensan que los vehículos y las estaciones de servicio de GN implican riesgos, como explosiones o envenenamiento por fugas [742]. Las personas rara vez conocen las diferencias entre las estaciones de GNL, diésel y HVO; por lo tanto, el nivel de favorabilidad es igual para las tres alternativas. Para el subcriterio de empleo, la empresa no contrataría nuevos trabajadores, independientemente de la alternativa seleccionada. Sin embargo, cualquier selección generaría empleo indirecto. Basado en un modelo económico IOA desarrollado por Deloitte, el mercado de GN en el transporte por carretera emplearía el 1,4% del total de la fuerza de trabajo en España para 2045 [742]. Nuevos empleos serían generados en la construcción de estaciones de servicio y en el mercado de distribución de GNL [742]. Para el factor vehículos, los camiones de GNL requieren una tasa de empleo ligeramente mayor por unidad fabricada, pero esta tasa no es suficientemente alta para ser tomada en cuenta. Las actividades de mantenimiento y reparación son realizadas por técnicos externos especializados para camiones diésel y de GNL, y por lo tanto, no se presentan diferencias en la comparación por pares. Para el factor combustibles, la industria de refino en España otorgó ventajas al HVO y al diésel sobre la alternativa de GNL. Además, considerando la baja calidad del empleo en las plantaciones de aceite de palma, HVO tuvo una calificación inferior a la alternativa del diésel.

**Tabla V.4. Valoraciones de las MCP por subcriterios**

| Factores               | Alternativas   | Coste inicial y de operación | Fiabilidad | Legislación | GEI | NOx y MP | Ruido | Empleo | Beneficios sociales | Aceptabilidad social |
|------------------------|----------------|------------------------------|------------|-------------|-----|----------|-------|--------|---------------------|----------------------|
| <b>Vehículos</b>       | GNL vs. Diésel | 1/3                          | 1/3        | 5           | 1   | 1        | 7     | 1      | 1                   | 3                    |
|                        | GNL vs. HVO    | 1/3                          | 1/3        | 5           | 1   | 1        | 7     | 1      | 1                   | 3                    |
|                        | Diésel vs. HVO | 1                            | 1          | 1           | 1   | 1        | 1     | 1      | 1                   | 1                    |
| <b>Infraestructura</b> | GNL vs. Diésel | 1                            | 1/9        | 3           | 1   | 1        | 1     | 3      | 3                   | 1                    |
|                        | GNL vs. HVO    | 1                            | 1/3        | 3           | 1   | 1        | 1     | 3      | 3                   | 1                    |
|                        | Diésel vs. HVO | 1                            | 7          | 1           | 1   | 1        | 1     | 1      | 1                   | 1                    |
| <b>Combustibles</b>    | GNL vs. Diésel | 7                            | 1          | 5           | 1   | 5        | 1     | 1/5    | 5                   | 5                    |
|                        | GNL vs. HVO    | 7                            | 3          | 5           | 3   | 5        | 1     | 1/3    | 3                   | 3                    |
|                        | Diésel vs. HVO | 1                            | 3          | 1           | 3   | 1        | 1     | 3      | 1/3                 | 1/3                  |

Para algunos de los subcriterios elegidos, los indicadores contienen datos cualitativos que pueden no ser muy precisos dada la falta de información para un factor en particular. Además, debido al reciente mercado para la tecnología de GNL, la mayor parte de la información fue obtenida de estudios de demostración y experimentación realizados por diferentes fabricantes en otros países. Estas consideraciones fueron tenidas en cuenta junto con los intereses de la empresa para evaluar la importancia de los subcriterios frente a los demás y para reducir su peso en la evaluación final, Tabla V.5.

**Tabla V.5. Vectores de prioridad de la comparación por pares de subcriterios**

| Matrices de comparación por pares de subcriterios (MCPS) |                              |                     |                      | Vectores de prioridad (SPV) |
|--|------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|
| Económico  | Coste inicial y de operación | Fiabilidad          | Legislación          |                             |
| <b>Coste inicial y de operación</b>                      | 1                            | 1                   | 3                    | 0,43                        |
| <b>Fiabilidad</b>  | 1                            | 1                   | 3                    | 0,43                        |
| <b>Legislación</b>                                       | 1/3                          | 1/3                 | 1                    | 0,14                        |
| Medioambiental   | GEI                          | NOx y MP            | Ruido                |                             |
| <b>GEI</b>   | 1                            | 5                   | 3                    | 0,63                        |
| <b>NOx y MP</b>  | 1/5                          | 1                   | 1/3                  | 0,11                        |
| <b>Ruido</b>   | 1/3                          | 3                   | 1                    | 0,26                        |
| Social   | Empleo                       | Beneficios sociales | Aceptabilidad social |                             |
| <b>Empleo</b>  | 1                            | 5                   | 3                    | 0,63                        |
| <b>Beneficios sociales</b>                               | 1/5                          | 1                   | 1/3                  | 0,11                        |
| <b>Aceptabilidad social</b>                              | 1/3                          | 3                   | 1                    | 0,26                        |

Después de realizar la valoración para las MCP en la Tabla V.4 se obtiene la PM, la cual es multiplicada por los SPV de la Tabla V.5. En consecuencia, los vectores de prioridad global ( $Y_{cf}$ ) para cada criterio son presentados en la Tabla V.6.

**Tabla V.6. Vectores de prioridad global**

| Criterio       | Factores        | $Y_{cf}$  | Alternativas ( $q$ ) |        |      |
|----------------|-----------------|-----------|----------------------|--------|------|
|                |                 |           | GNL                  | Diésel | HVO  |
| Económico      | Vehículos       | $Y_{ECV}$ | 0,22                 | 0,39   | 0,39 |
|                | Infraestructura | $Y_{ECI}$ | 0,26                 | 0,50   | 0,24 |
|                | Combustibles    | $Y_{ECF}$ | 0,62                 | 0,25   | 0,13 |
| Medioambiental | Vehículos       | $Y_{ENV}$ | 0,45                 | 0,28   | 0,28 |
|                | Infraestructura | $Y_{ENI}$ | 0,33                 | 0,33   | 0,33 |
|                | Combustibles    | $Y_{ENF}$ | 0,43                 | 0,37   | 0,19 |
| Social         | Vehículos       | $Y_{SV}$  | 0,40                 | 0,30   | 0,30 |
|                | Infraestructura | $Y_{SI}$  | 0,53                 | 0,23   | 0,23 |
|                | Combustibles    | $Y_{SF}$  | 0,30                 | 0,44   | 0,26 |

La Tabla V.6 muestra los puntajes para cada alternativa según el impacto en cada factor de un determinado criterio. Una particularidad de estos resultados es que el criterio medioambiental no proporcionó puntajes más altos para el GNL a pesar de la reducción de la contaminación del aire y del ruido. Esto se debe a que el subcriterio medioambiental más importante para los objetivos de la compañía es la reducción de las emisiones de GEI, mientras que la contaminación del aire se consideró de menor importancia, dado que los camiones cumplen con la normativa Euro VI. Además, debido a que el empleo es la principal preocupación para la sociedad en España [767], este subcriterio aumenta el desempeño social de las alternativas que generan algunos empleos directos o indirectos.

Los vectores de prioridad global son representados en la Figura V.2, donde en una escala de 0 a 1, un puntaje alto indica un buen rendimiento de la alternativa en el criterio y factor específico. El gráfico muestra que la alternativa de HVO se vio afectada principalmente en el factor combustibles por la actual ausencia de incentivos gubernamentales y los aspectos medioambientales de la producción de aceite de palma considerando el ILUC. Las mayores fortalezas del diésel frente a las otras alternativas se debieron a la alta disponibilidad de estaciones de servicio, lo que mejora la fiabilidad de la operación y, en segundo lugar, al empleo indirecto en las refinerías de petróleo locales. La alternativa de GNL tuvo los mejores puntajes en el criterio económico para el factor combustibles debido a los bajos costos GNL en estación de servicio, la seguridad del suministro y los incentivos del gobierno para usar este combustible en el transporte. Además, la aceptabilidad social de los vehículos a GN y el empleo indirecto para el desarrollo de infraestructura favorecieron esta alternativa.

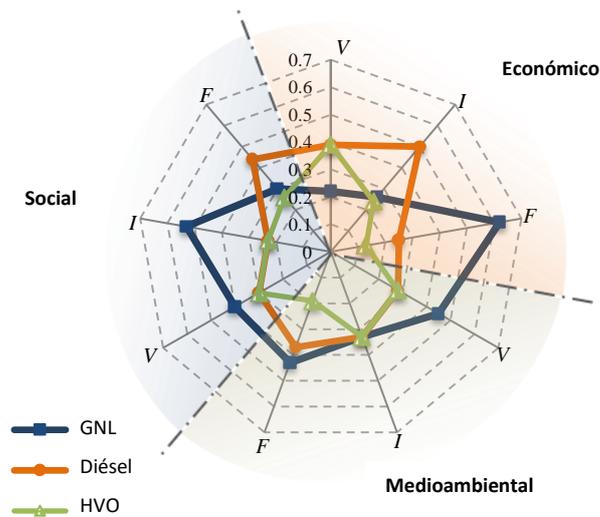


Figura V.2. Vectores de prioridad global

En este punto, el GNL sería la alternativa seleccionada debido a los puntajes altos en la mayoría de los aspectos evaluados, exceptuando el criterio económico para vehículos e infraestructura y el criterio social para el factor combustible, en donde la alternativa del diésel es más fuerte. Sin embargo, la decisión final depende del peso dado a cada criterio. La ponderación según los diferentes escenarios evaluados es presentada en la Tabla V.7. Los escenarios son definidos a través de entrevistas semiestructuradas a expertos, representantes de los diferentes *stakeholders*. El escenario 1 refleja los intereses de los propietarios de la empresa, el cual coincidió con el promedio obtenido de las respuestas del total de *stakeholders* entrevistados, con una desviación de  $\pm 0,01$ . El escenario 2 fue ponderado de acuerdo con las opiniones de periodistas, políticos y expertos de organizaciones sindicales, sociales y medioambientales, quienes reflejan los intereses de la sociedad. El escenario 3 representa las opiniones de propietarios de camiones independientes y empresas de transporte de mercancías por carretera, especialmente Pymes, las cuales basan principalmente la toma de decisiones en el criterio económico. Por último, el escenario 4 fue establecido como un caso hipotético en el que no se da importancia al criterio económico.

Tabla V.7. Escenarios ponderados por criterios

| Escenarios | Criterio                  |                                |                     |
|------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------|
|            | Económico<br>( $W_{EC}$ ) | Medioambiental<br>( $W_{EN}$ ) | Social<br>( $W_S$ ) |
| 0          | 0,33                      | 0,33                           | 0,33                |
| 1          | 0,50                      | 0,25                           | 0,25                |
| 2          | 0,34                      | 0,31                           | 0,35                |
| 3          | 0,88                      | 0,1                            | 0,02                |
| 4          | 0,0                       | 0,50                           | 0,50                |

Los índices de sostenibilidad ( $si_q$ ) son obtenidos para cada alternativa en cada escenario, en donde el valor más alto para el escenario 1 sería la alternativa más sostenible en este caso evaluado, Figura V.3.

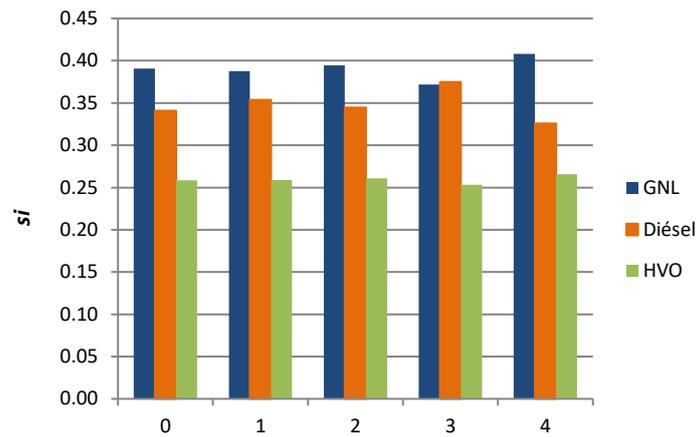


Figura V.3. Índices de sostenibilidad por escenario

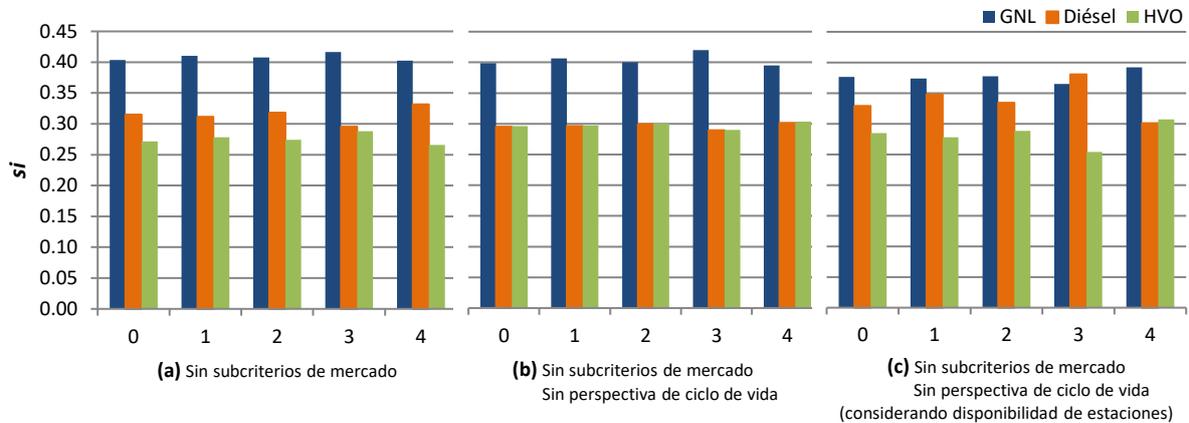
Aunque los resultados en la Figura V.3 indican que la mejor alternativa tanto para el escenario de referencia como para el establecido por el equipo de toma de decisiones es la implementación del GNL, esta alternativa mejora cada vez que se reduce el peso del criterio económico, como en el escenario 4. En el escenario 3, en donde se otorga mayor importancia al criterio económico, la alternativa del diésel se fortalece debido al subcriterio de fiabilidad. Por esta razón, si se mejorara la fiabilidad de la tecnología y la disponibilidad de las estaciones de servicio, los camiones de GNL serían una mejor opción.

#### 5.4. Discusión y análisis de sensibilidad

La consideración de temas del mercado, como la seguridad energética, la estabilidad de precios, la aceptabilidad social, la madurez tecnológica y las perspectivas de desarrollo de la infraestructura, permite el análisis exhaustivo del desempeño de los combustibles alternativos en las empresas de transporte de mercancías. La mayoría de los estudios que utilizan análisis multi-criterio como los referenciados en el Anexo I.1, básicamente consideran los costos de capital y de operación en el criterio económico, mientras que para los criterios sociales y ambientales solo se consideran los impactos directos; en otras palabras, se ignoran los impactos de la producción de combustible, la construcción de infraestructura y la fabricación de vehículos.

Los resultados del caso estudiado se habrían visto afectados si los aspectos del mercado no se hubieran incluido en el criterio económico. Por ejemplo, la Figura V.4 muestra los índices de sostenibilidad para tres casos sin considerar los subcriterios de fiabilidad, legislación y aceptabilidad social. En el gráfico (a) la alternativa de GNL sería ampliamente la mejor opción, principalmente debido a los bajos costos de combustible. Si además en este análisis no se consideraran las perspectivas del ciclo de vida, el GNL continuaría superando las alternativas de diésel y HVO, las cuales se igualan, como se muestra en el gráfico (b). Esto se debe principalmente al impacto del uso de combustible, ya que en esta fase el GNL emite hasta un 20% menos GEI que el diésel y HVO, y se ignoran los impactos ambientales y sociales de la producción de combustibles. Sin embargo, dado que la disponibilidad de estaciones de servicio es enormemente importante en la logística del transporte de mercancías, este indicador fue agregado al análisis en el gráfico (c), afectando el índice de sostenibilidad del GNL, cayendo a

valores por debajo de los obtenidos en el caso original (Figura V.3), ya que el análisis no considera las perspectivas legislativas para el desarrollo de la infraestructura y las ventajas operativas que benefician al mercado de la tecnología del GNL.



**Figura V.4. Índices de sostenibilidad por escenario utilizando subcriterios tradicionales**

Por todos los motivos anteriores, los resultados del caso estudiado en la Figura V.3 representan con mayor precisión el desempeño de las alternativas en cada escenario ponderado. Sin embargo, a pesar de la consistencia de los resultados en favor del GNL en la mayoría de los escenarios, hay algunos subcriterios que presentan una alta incertidumbre, requiriendo en algunos casos de análisis de sensibilidad.

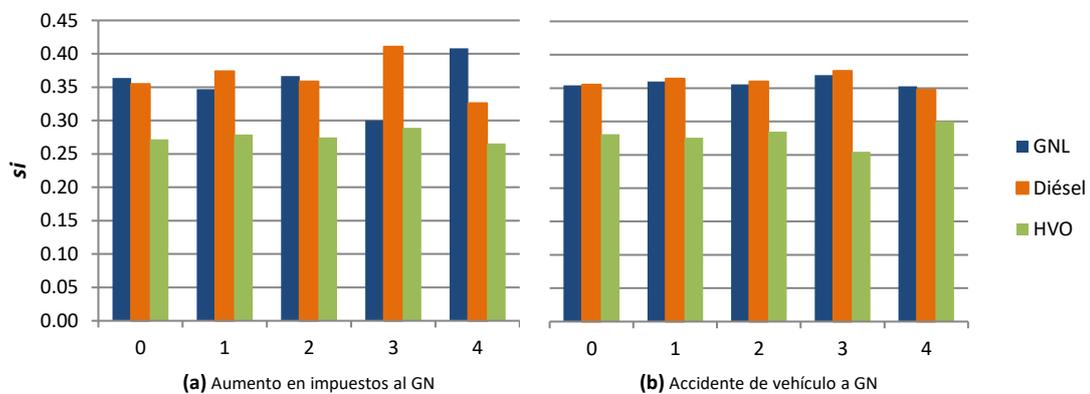
En varios estudios basados en métodos multi-criterio, los análisis de sensibilidad se han realizado principalmente para evaluar los resultados por cambios en la ponderación de criterios o subcriterios [490,695,697,700]. Sin embargo, existen indicadores que pueden afectar los resultados incluso antes de los procesos de ponderación, debido a cambios susceptibles en sus valores que generan cambios en las valoraciones establecidas en el proceso de comparación por pares en la Tabla V.4. Los indicadores más susceptibles son aquellos que pueden verse afectados por decisiones políticas o cambios en las percepciones de la sociedad, como los costos de combustible o la aceptabilidad social de vehículos con nuevas tecnologías, respectivamente.

En la actualidad, el impuesto para el GN en España y en la mayoría de los países europeos es muy bajo o está exento. Si el gobierno decidiera gravar el gas natural para uso en automoción, la puntuación más alta para el GNL en los vectores de prioridad global se vería negativamente afectada. Por otro lado, en caso de presentarse un accidente grave relacionado con el sistema de almacenamiento de cualquier vehículo a GN, la aceptabilidad social se reduciría enormemente.

En el caso de que el gobierno decida gravar el GN en la misma proporción que el diésel, i.e. 0,453 €/kg de GNL, el precio al consumidor en la estación aumentaría en un 46%. En esta situación, los costos ahorrados en la operación por el uso GNL, por km recorrido, se reducirían

del 30% a cerca del 2,5% en comparación con el diésel. Las valoraciones en la Tabla V.4 para el GNL en comparación con diésel y el HVO en el factor combustibles y subcriterio de costos cambiarían de 7 (muy fuertemente preferido) a 1 (igualmente preferido). Asimismo, esta situación significa una vulnerabilidad de la legislación para la introducción del GNL, lo que reduce la valoración en el subcriterio de la legislación de 5 (muy preferido) a 1 para el factor combustibles.

En el caso de la reducción de la aceptabilidad social como resultado de un accidente grave de un vehículo a GN, las valoraciones para el GNL en el factor de vehículos cambiarían de 3 (moderadamente preferido) a 1/7 (muy fuertemente no preferido). Además, las valoraciones en los factores combustibles e infraestructura podrían reducirse a 1/3 y 1/5 en comparación con el diésel y el HVO, respectivamente. Los resultados finales para cada caso hipotético se presentan en la Figura V.5.



**Figura V.5. Índices de sostenibilidad por escenario (casos hipotéticos)**

Las dos principales preocupaciones para los empresarios afectarían negativamente a la alternativa de GNL, pero en diferentes proporciones como se observa en la Figura V.5. Para el escenario 1, en el caso de un aumento de impuestos para el gas natural, el GNL no sería una opción atractiva, siendo solo una buena opción en el escenario en donde no importa el criterio económico. Mientras que, en el evento de un accidente grave de algún vehículo a GN, la alternativa del GNL se igualaría con la alternativa del diésel.

## 5.5. Conclusiones

La toma de decisiones en proyectos relacionados con recursos energéticos ha sido un proceso complejo debido a sus importantes impactos económicos, medioambientales y sociales, los cuales requieren el uso de indicadores cuantitativos y cualitativos para la selección de alternativas que satisfagan las expectativas de los diferentes *stakeholders*. Aquí es donde los modelos basados en MCDM han sido útiles para guiar y resolver problemas de decisión en los sectores público y privado. Debido al interés de las empresas privadas por utilizar combustibles alternativos en sus flotas para el transporte urbano e interurbano, una metodología para evaluar la sostenibilidad de estas alternativas y teniendo en cuenta los factores involucrados en el sistema de transporte fue desarrollada. La metodología presentada en este documento

asegura una evaluación en el amplio sentido de la sostenibilidad; teniendo en cuenta los criterios económicos, medioambientales y sociales. Además, esta metodología involucra los puntos de vista e intereses de los responsables de la toma de decisiones y los diferentes *stakeholders* para preparar escenarios a modo de análisis de sensibilidad.

Del caso estudiado y los análisis de sensibilidad es demostrado que omitir aspectos del mercado y las perspectivas del ciclo de vida generan resultados mucho más optimistas para la alternativa de GNL que en el caso original y al mismo tiempo no revela los aspectos críticos reales para la introducción de vehículos de gas natural en España.

Para la introducción del GNL como combustible para el transporte de mercancías, además de mejorar la fiabilidad de la tecnología y la disponibilidad de estaciones, también es necesario contar con seguridad/estabilidad legislativa, que garantice el no aumento de impuestos al GN durante varios años para asegurar al menos un retorno de la inversión aceptable. Las decisiones políticas que aumenten el precio del GNL a los niveles de diésel limitarían la introducción de este combustible, incluso más que las percepciones negativas de la sociedad sobre estas tecnologías. Sin embargo, los gobiernos, los fabricantes y los comerciantes de vehículos a GN deben realizar campañas de sensibilización sobre cuestiones medioambientales y de seguridad para evitar que temores generalizados en la sociedad limiten el desarrollo del mercado.

El estudio reveló, mediante los escenarios ponderados, una consistencia en los resultados, debido principalmente al uso de tres subcriterios para cada criterio evaluado. Con base en estos resultados, podría argumentarse que esta metodología puede eliminar incertidumbres y dilemas generados en la toma de decisiones cuando los intereses de un determinado *stakeholder* definen incorrectamente las ponderaciones de criterios y de subcriterios, lo que podría inclinar la preferencia hacia una alternativa diferente. Esta coherencia podría garantizar el éxito de la alternativa en un entorno dinámico a largo plazo como el mercado de combustibles alternativos para el transporte, el cual es influenciado por variables relacionadas con el comercio del petróleo, intereses sociopolíticos o cambios en las percepciones de la comunidad.

## CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES GENERALES

### 6.1. Síntesis de la tesis

La propuesta de esta investigación ha sido motivada por la creciente necesidad de desarrollar estrategias para reducir la dependencia del petróleo y los impactos medioambientales en el sector del transporte, siendo el transporte de mercancías por carretera el que plantea mayores retos a corto y medio plazo, y por tratarse de un ámbito de análisis menos estudiado en comparación con el transporte de pasajeros.

A estas consideraciones iniciales, se añade el hecho de que muchas de las estrategias llevadas a cabo para la mejora en términos medioambientales del sector, como la introducción de combustibles alternativos, no han alcanzado los objetivos necesarios ante el cambio climático, siendo una de las causas de la limitada eficacia de las estrategias puestas en marcha el escaso énfasis prestado a los aspectos sociales y socioeconómicos del ciclo de vida de los componentes del sistema del transporte en las evaluaciones de viabilidad estas estrategias en cada mercado.

Por lo anterior, en esta tesis se desarrolla y aplica una metodología híbrida<sup>11</sup> para la evaluación integrada<sup>12</sup> de estrategias de sostenibilidad para el transporte de mercancías, basadas en el análisis del ciclo de vida de los componentes claves del sistema del transporte: combustibles, vehículos e infraestructura.

Para alcanzar este objetivo, en el primer capítulo de esta tesis se identifican los principales problemas asociados al transporte de mercancías por carretera y las diversas medidas que han sido implementadas para la reducción del consumo energético y emisiones contaminantes de este subsector, considerados los dos principales impactos a tener en cuenta.

A estos impactos, se añaden otras externalidades derivadas directamente de las operaciones de transporte, como la contaminación del aire, el ruido, las vibraciones, la congestión, la ocupación del espacio público, la accidentalidad, los daños a edificios y monumentos, etc. También se identifican externalidades asociadas a los componentes del sistema de transporte, como las relacionadas con la producción de combustibles, afectando los recursos naturales y comunidades vecinas a la operación. Por otra parte, los procesos de fabricación de vehículos podrían generar, a su vez, impactos sobre la disponibilidad de recursos minerales y la

---

<sup>11</sup> Considerando aspectos medioambientales, sociales y económicos

<sup>12</sup> Considerando la fabricación de vehículos, la producción de combustibles y la construcción de carreteras

contaminación del agua. Asimismo, la construcción de infraestructuras como las carreteras puede suponer impactos como la deforestación, fragmentación de ecosistemas, ocupación y permeabilidad del suelo, afectando la fauna y flora del entorno, así como molestias a las comunidades vecinas durante su construcción y uso. Igualmente, se establece que las actividades relacionadas con el sector del transporte generan impactos socioeconómicos positivos como la generación de empleo, el desarrollo tecnológico, el retorno a la comunidad a través del pago de impuestos y *royalties*, la ejecución de inversiones en temas medioambientales y sociales, entre otros, por lo cual, se hace necesario desarrollar una metodología que considere tanto impactos negativos como positivos en la evaluación de cada estrategia.

En el segundo capítulo, se presenta el estado del arte de las iniciativas relacionadas con la sostenibilidad del transporte por carretera, tanto en el ámbito de la legislación para el control de emisiones como en el ámbito de la caracterización y el análisis a través de herramientas o metodologías para el cálculo de los impactos medioambientales de la operación del sector. En este capítulo, se presentan ejemplos de la aplicación de las metodologías del análisis de ciclo de vida medioambiental (ACV), social y socioeconómico (ASCV) y de costes (ACCV) para la evaluación del transporte por carretera, incluyendo, además de la propia operación de los vehículos, estudios relativos a la producción de combustibles, la fabricación de vehículos y la construcción de carreteras. Aunque la mayoría de estos estudios se centran en un único aspecto del transporte, también se analizan otros trabajos en los que se aplican metodologías de ciclo de vida en análisis híbridos e integrados, estableciendo al final las oportunidades del uso de todas ellas para evaluar las estrategias de sostenibilidad en el transporte de mercancías por carretera. Asimismo, el análisis crítico de esas referencias permite la identificación de lagunas, límites y necesidades de desarrollo teórico-práctico de metodologías que aborden el servicio de transporte con un enfoque sistémico y que, además, consideren los tres pilares de la sostenibilidad.

En la revisión de las herramientas disponibles para la medición y análisis de la sostenibilidad de transporte, fue identificada la norma europea EN 16258 como la más importante contribución para las metodologías de cálculo de huella de carbono. Sin embargo, cabe destacar que esta norma solo tiene en cuenta el análisis del ciclo de vida del combustible, dado que en los servicios tradicionales del transporte por carretera el uso de combustibles es el responsable de más del 80% de los GEI, considerando el aporte de la fabricación y mantenimiento de vehículos e infraestructuras. Por este motivo, si se pretende evaluar la sostenibilidad según un enfoque basado en el sistema integrado del transporte de mercancías, se debe complementar el análisis usando los lineamientos de normas más amplias como la serie ISO 14040 para los ACV, que permitan incluir además de las emisiones de GEI causantes del cambio climático, otras categorías de impacto medioambiental y socioeconómico.

El desarrollo de técnicas de análisis de ciclo de vida para aspectos sociales y económicos, debido a las ambigüedades en su aplicación, no aúna un consenso suficiente para convertirse en una metodología única y totalmente aceptada por la comunidad científica como con la metodología para ACV ambiental. En el caso los ACCV, la mayoría de estudios utiliza la teoría del costo total de propiedad (TCO), herramienta para calcular el costo real de tener un producto o servicio desde el punto de vista del comprador o usuario. Son pocos los ACCV que

intentan integrar las externalidades del transporte en su evaluación, ya que, además de ser complicada la monetización de dichas externalidades, el uso de factores para la incorporación de externalidades derivados de estudios genéricos, como por ejemplo del ExternE, podría arrojar resultados poco representativos en territorios diferentes a los considerados en dichos estudios. Asimismo, incorporar los resultados de un ACCV que incluya costes externos monetizados en un análisis de la sostenibilidad del ciclo de vida del servicio de transporte, podría generar la doble contabilización de los impactos medioambientales o sociales, afectando al índice de sostenibilidad obtenido para el servicio evaluado y menospreciando los costos financieros directos considerados.

A partir de la identificación de los ámbitos aún por explorar en el diseño de metodologías de análisis de ciclo de vida de los componentes asociados a los servicios de transporte, en el tercer capítulo se proponen las metodologías de ACV y de ASCV para la evaluación integral del servicio de transporte de mercancías por carretera, es decir, considerando además de la propia operación del vehículo, los procesos asociados al ciclo de vida de los combustibles, de los vehículos e infraestructura. En este capítulo se diseña el enfoque metodológico estableciendo cómo abordar la definición y alcance del estudio, se describen las categorías de impacto y se estipulan las fuentes de información y los métodos de evaluación de impactos para los servicios del transporte más apropiados para garantizar la consistencia y transparencia de los resultados.

En esta línea para la etapa de análisis de inventario del ACV, se identifica el reporte *EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook* como la principal fuente de factores de consumo y emisiones para la contabilización del impacto de la operación del vehículo, mientras que, para la elaboración de los inventarios del resto de componentes del sistema se utilizan las bases de datos y reportes de *EcoInvent*. Asimismo, el método ReCiPe fue identificado como uno de los más actualizados y apropiados para evaluar sistemas de transporte.

Para la actividad principal de operación del vehículo, se desarrolla un método de cálculo de emisiones generadas por la operación de los vehículos considerando variables como el tamaño del vehículo, número de ejes, tecnología de control de emisiones, factor de carga, velocidad y gradiente de la carretera, mediante la división del trayecto en tramos, apoyados con la herramienta de creación de perfiles de elevación de *GoogleEarth*. Todo esto con el objetivo de aumentar la exactitud de los resultados, especialmente en los servicios de transporte que tienen lugar en áreas geográficas en donde los factores de emisión promedio disponibles en las bases de datos habitualmente referenciadas no son representativos por haber sido obtenidos en condiciones no comparables.

En el cálculo de factores de asignación, se destaca el procedimiento seguido para la construcción de las carreteras, en el que el impacto se reparte entre las toneladas brutas (Gt<sub>km</sub>) movilizadas anualmente en el país, a diferencia de la asignación de impactos de la fabricación del vehículo realizada con base en el total de toneladas-kilómetro (tkm) transportados en la vida útil del vehículo o de la asignación de los impactos de las actividades de mantenimiento de la carretera que se hace en función de los vehículo-kilómetro (vkm) recorridos anualmente.

En este tercer capítulo también se diseña una metodología de ASCV, lo que supone un importante aporte en un área poco estudiada. Para la aplicación de esta metodología de ASCV al caso de los sistemas de transporte, son seleccionadas entre las sugeridas por las directrices de la UNEP/SETAC, un total 26 subcategorías de impacto, agrupadas posteriormente para la evaluación de impactos en 5 categorías generales: derechos humanos, derechos de los trabajadores, protección del patrimonio cultural y de las comunidades, repercusiones socioeconómicas y gobernanza.

Para la elaboración del inventario de ciclo de vida se propone y aplica un método de análisis de información multinivel. Así, para la elaboración del inventario para el análisis genérico, de aplicación a sectores, proveedores de materiales y componentes de los proveedores directos de la empresa de transporte, se realiza una exhaustiva selección de indicadores para cada subcategoría de impacto y de fuentes de datos fiables. Por otro lado, para los proveedores directos y para la empresa de transporte, se elabora un listado de indicadores para cada subcategoría de impacto que compondrán el inventario de análisis específico. Asimismo, se plantea un formato de entrevista semiestructurada para ser aplicada a representantes de los grupos de interés afectados por el sistema o *stakeholders*, cuyas percepciones son utilizadas tanto para contrastar la información relativa a los impactos de las empresas de transporte en cada subcategoría de impacto, como para desarrollar índices de prioridad de subcategorías y categorías de impacto, con el fin de obtener un índice de desempeño social (IDS) del sistema evaluado.

Una contribución importante en el diseño de la metodología de ASCV, es el método de evaluación de escalas de valoración multinivel, en el que en función de cada nivel de análisis de inventario se realiza la caracterización de los resultados. Los resultados se obtienen y presentan discriminados por procesos del sistema, por categorías de impacto y por *stakeholders*, en forma de índices de impacto social. Con el fin de presentar estos resultados agregados en un IDS del sistema, se establece una ponderación para las diferentes categorías de impacto y actividades del sistema, en la que se otorga mayor relevancia a los resultados arrojados por la empresa de transporte y sus proveedores directos ubicados cerca de la zona de operación.

El método de caracterización propuesto en la metodología para ASCV desarrollada, es el primero que utiliza un procedimiento de valoración multinivel y que a la vez involucra las percepciones de los *stakeholders* para la obtención de resultados intermedios y finales.

Con el fin de testear la utilidad de las metodologías de ACV y ASCV desarrolladas en esta tesis, en el cuarto capítulo se aplican las metodologías a tres sistemas de transporte diferentes desde el punto de vista geográfico, socioeconómico y cultural, localizados en Colombia, Malasia y España.

Los resultados de los ACV realizados sugieren ampliar el debate y la investigación acerca de los puntos críticos del sector del transporte. Se ha evidenciado por ejemplo que las emisiones por la abrasión de neumáticos y frenos generan una afectación relativa importante en la calidad del agua dulce y marina y la salud humana. Se observan diferencias en la contribución de cada componente del sistema del transporte en el impacto global del mismo, influenciadas por la tecnología de control de emisiones y la vida útil promedio de los vehículos, la cantidad de

kilómetros y toneladas de mercancías movilizadas por los diferentes tipos de carreteras en cada país. En los casos evaluados en Colombia y Malasia el principal responsable del impacto medioambiental fue el proceso de tráfico, mientras que en España, fue la producción del combustible. Aunque estos resultados varían dependiendo del punto de vista, el tipo de perspectiva y el método de evaluación utilizado.

Desde el punto de vista de los impactos a la salud humana, para los tres casos, el mayor responsable fue el proceso de Tráfico, mientras que desde el punto de vista de la afectación a los recursos, el mayor responsable fue el proceso de Producción de Combustibles.

El método de evaluación utilizado influyó de diversa manera en la distribución de los impactos en cada caso. En servicio de transporte evaluado en Colombia, el método influyó básicamente en la contribución del proceso de Producción de Combustibles, ya que por el método ReCiPe 2008 se contabilizan aportaciones positivas de la actividad de producción de aceite de palma. Este método valora positivamente la transformación de terrenos sin árboles en áreas arborizadas. Adicionalmente, para estas plantaciones de palma en Colombia también se contabiliza una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> debido al cambio de uso de tierra, al pasar de tierras con cultivos anuales a cultivos perennes. Sin embargo, considerar los monocultivos como bosques ha sido un concepto muy discutido. Además, al evaluar el ciclo de vida del servicio del transporte, en donde las emisiones de CO<sub>2</sub> por el uso de biocombustibles no deben ser contabilizadas por el concepto de neutralidad del carbono, es erróneo contabilizar una reducción de CO<sub>2</sub> en el proceso de Producción de Combustible. En este sentido, en esta tesis se realiza un ajuste al método de caracterización en las categorías afectadas en ReCiPe 2008, generando un aumento de la contribución del proceso de Producción de Combustibles al impacto global del sistema, pasando de un 35,9% a un 37,6%, considerando la perspectiva Promedio para la ponderación de impactos.

El tipo de perspectiva seleccionada genera también cambios importantes en la distribución de los impactos globales del sistema. Para la perspectiva Promedio la afectación a la salud humana tiene el doble de importancia que la afectación a los recursos. Por esto, si se utilizan los factores de ponderación bajo la perspectiva Jerárquica, en donde tanto la afectación a la salud humana como a los recursos tienen igual importancia, los procesos de Producción de Combustibles serían los principales responsables del impacto medioambiental del sistema en todos los casos evaluados. De manera puntual, para el caso de Colombia, la contribución del proceso de producción de combustibles aumentaría de 37,6% bajo la perspectiva Promedio a 50,6% bajo la perspectiva Jerárquica.

Pudo observarse también que el método actualizado de ReCiPe 2016, además de corregir los factores de contabilización positiva de CO<sub>2</sub> y de transformación de bosques para la producción de aceite de palma, da mayor relevancia a las emisiones de cobre que el método ReCiPe 2008.

Por lo anterior, dadas las inconsistencias en la caracterización por el método ReCiPe 2008 y las notables diferencias que los factores de normalización y ponderación generan en los resultados finales, es recomendable tomar estos resultados como una aproximación a los impactos potenciales reales y utilizarlos solamente a modo de comparación con otros ACV usando diferentes combustibles o vehículos en el mismo caso evaluado. Por esto, para

diferentes tipos de enfoques, es recomendable realizar análisis individuales de los resultados de la caracterización para cada categoría de impacto, obtenidos mediante el método actualizado ReCiPe 2016.

A través de los casos de estudio evaluados, puede afirmarse que la contribución de cada componente en el impacto medioambiental del sistema, además ser afectada por el tipo de tecnología de control de emisiones del vehículo y el origen de las fuentes de energía, también el grado de utilización del vehículo y de las carreteras en cada país es importante. Es decir, en países como Colombia en donde los camiones son utilizados durante más de 20 años, los impactos de su fabricación son muy bajos al ser asignados a cada tkm transportada en función del total transportado en su vida útil, obteniéndose una contribución de la Fabricación del Vehículo al impacto global de solamente el 2,9%. Asimismo, cuando en un país la cantidad de tkm y vkm recorridos anualmente por sus carreteras es bastante grande, la asignación al servicio evaluado de los impactos asociados a su construcción sería muy pequeña, como ocurre en el caso de Malasia en donde la contribución al impacto global de la Construcción de Carreteras fue del 0,8%.

Lo anterior contrasta con casos como el de España, en donde la contribución de la Fabricación del Vehículos y de la Construcción de Carreteras en el impacto global fue de 5,7% y 11,4%, respectivamente. Esto debido a que el impacto del proceso de Tráfico fue menor comparado con los otros casos por ser el vehículo de tecnología Euro VI y tener una vida útil promedio de 10,4 años. Además, dada la alta proporción de autovías y carreteras primarias sobre el total de carreteras construidas con un volumen de tráfico moderado, en comparación con los otros casos evaluados, estas carreteras generaron un impacto medioambiental de su construcción más alto, aunque es compensado con consumos de combustible por km recorrido más bajos.

En todos los casos estudiados los procesos de Fin de Vida tuvieron un impacto insignificante, dado que se ha asumido casi un completo reciclado de los mismos y se ha considerado un enfoque atributivo para el ACV, según el cual los impactos de las actividades de reciclaje de los materiales del vehículo y las carreteras son asignados a los productos elaborados posteriormente con estos materiales.

En cuanto al análisis socioeconómico del transporte de mercancía, a partir de la aplicación de la metodología de ASCV a los tres casos de estudio, los resultados exhiben las particularidades de cada caso, por lo que no deben ser tomados como representativos del desempeño social del subsector del transporte de mercancías por carretera y sus proveedores en el país evaluado. Sin embargo, todo el proceso de análisis proporcionó información concluyente con relación a la practicidad, aplicabilidad y utilidad de la metodología y la consistencia de sus resultados.

En general, el tiempo necesario para el desarrollo de los ASCV es muy superior al dedicado a los ACV, ya que ante la ausencia de una base de datos ampliamente aceptada se requiere la revisión de numerosas fuentes secundarias y primarias de información. En esta fase, la dificultad es mayor en países donde la disponibilidad y el acceso a la información son limitadas.

Dado que para la obtención de índices de impacto e índices de desempeño social del sistema se utilizan índices de prioridad de subcategorías y categorías de impacto y factores de ponderación de actividades, obtenidos a partir de la percepción de los *stakeholders*, se hace necesario el desarrollo de análisis de sensibilidad, omitiendo estas ponderaciones.

Se puede afirmar que la precisión alcanzada al ponderar las actividades e incluir los índices de prioridad de subcategorías y categorías de impacto es válido para un ASCV, ya que otorgar igual peso a los resultados de los sectores analizados genéricamente no reflejaría los impactos sociales reales del sistema, dado que estos análisis sectoriales incluyen el desempeño negativo de empresas que operan en la informalidad, que en Colombia eran aproximadamente el 48% en 2017. Por otro lado, dar igual relevancia a todas las subcategorías y categorías de impacto, no permitiría identificar con facilidad los puntos críticos que plantean las problemáticas de mayor interés para los *stakeholders* afectados por el sistema evaluado.

Los sistemas de transporte evaluados en España, Malasia y Colombia obtuvieron un IDS, en una escala de 1 a 5, de 3,53 (positivo), de 3,45 (ligeramente positivo) y de 3,24 (neutro), respectivamente. A pesar de que estos indicadores coinciden con el orden en que cada uno de los países aparecen en las clasificaciones internacionales relativas a distintos indicadores sociales, la diferencia entre cada uno de esos IDS no es considerable, debido a que, por ejemplo, cuanto mayor es el riesgo de que ocurran impactos sociales negativos, mayores son las oportunidades para que las empresas desarrollen acciones positivas que contrarresten dichos riesgos, por lo cual, los índices de impacto son compensados y llevados a un nivel general entre neutro y positivo.

Por todo lo anterior, teniendo en cuenta también que en cada contexto las prioridades pueden ser muy diferentes, los IDS finales de cada caso no pueden ser comparados por estar influidos por los índices de prioridad establecidos por los *stakeholders*. Los resultados de las entrevistas en los tres países coinciden en que para mejorar el desempeño social de las empresas relacionadas con el transporte de mercancías deben dar mayor atención a los derechos de los trabajadores. La segunda categoría en orden de importancia sería la de derechos humanos, con excepción del caso en España, en donde está por encima la de repercusiones socioeconómicas, reflejando el contexto actual del país en el que los riesgos de violaciones a los derechos humanos son bajos y hay otras prioridades como la recuperación de la economía. Para las otras categorías de impacto, los *stakeholders* en los tres países coinciden también en que los asuntos relacionados con la protección del patrimonio cultural y de las comunidades son los que deberían tener menos prioridad frente a los demás temas, dado que se considera que esto es responsabilidad en mayor medida de la administración pública que de las empresas.

También es de destacar que los resultados de la percepción del desempeño por parte de las empresas de transporte de mercancías de cada región analizada, tienen correlación con los promedios obtenidos para las empresas de transporte evaluadas con los indicadores de análisis específico, lo que demuestra la representatividad de los resultados obtenidos por los métodos de análisis de inventario y evaluación de impactos propuestos.

En definitiva, para facilitar el proceso de recopilación de información y evaluación de los impactos del ciclo de vida del transporte, en esta tesis se ha puesto de relieve la necesidad de

que las grandes empresas y asociaciones empresariales de pequeñas y medianas empresas transportistas promuevan la elaboración de reportes de sostenibilidad completos y transparentes y que sean publicados abiertamente, lo que contribuiría así mismo al desarrollo de bases de datos específicas para estudios de impacto social y socioeconómico asociados al servicio de transporte de mercancías en cada región.

A partir de la aplicación de las metodologías para el análisis del ciclo de vida medioambiental y socioeconómico desarrolladas en esta investigación, podrían ser identificados los impactos tanto negativos como positivos asociados a un servicio de transporte de mercancías específico. Estos análisis individuales podrían ser integrados con un análisis de costes con el fin de obtener un único índice que represente el grado de sostenibilidad del servicio evaluado. Sin embargo, las metodologías descritas presentan algunas limitaciones, principalmente cuando se procede a evaluar alternativas para productos/empresas relativamente nuevas en el mercado, para las cuales, la información es escasa o no representativa para realizar análisis de inventario completos.

Además de lo anterior, en los ACV y ASCV se identifican categorías y subcategorías de impacto que pueden ser irrelevantes dependiendo del contexto en donde se desarrollan las actividades evaluadas. También, para los análisis de costes del ciclo de vida, se identifica que para evitar la doble contabilización de impactos medioambientales y socioeconómicos en evaluaciones de sostenibilidad deben ser incluidos únicamente los costos internos (de capital y de operación).

Por todo lo anterior, fue necesario desarrollar una metodología que funcionara como herramienta de decisión práctica, que pudiera enfocarse en los principales temas de preocupación en cada contexto evaluado. Asimismo, esta herramienta requiere considerar otras variables importantes identificadas mediante las entrevistas a los *stakeholders*, relacionadas con el mercado, tales como cuestiones legislativas y la disponibilidad de infraestructura y del combustible, las cuales se han considerado como los principales desafíos para la adopción de combustibles alternativos.

El análisis de diferentes variables de tipo económico, medioambiental, social y de mercado, para cada uno de los componentes claves del sistema de transporte, requiere la compilación de datos para elaborar gran cantidad de indicadores. Es por esto que se elige la utilización de una herramienta de toma de decisiones multi-criterio (*Multi-Criteria Decision Making- MCDM*), que facilitan la clasificación de indicadores según las categorías de impacto o grupos de criterios y la integración de los intereses de los *stakeholders*. Los métodos MCDM pueden ser útiles para abordar la complejidad de integrar los resultados de los criterios económicos, medioambientales y sociales utilizando escalas numéricas para comparar variables tanto cuantitativas como cualitativas. Un método MCDM que incorpora de manera significativa los puntos de vista de los *stakeholders* como parte del proceso de toma de decisiones es el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP- por sus siglas en inglés).

El método AHP ha sido usado en proyectos de transporte para seleccionar alternativas considerando principalmente criterios técnicos, financieros/económicos y medioambientales y, en menor medida, criterios sociales, de seguridad y de legislación. Sin embargo, los estudios basados en AHP no habían considerado cuestiones relacionadas con el mercado, ya que se

habían centrado en evaluar tecnologías y combustibles para el transporte de pasajeros y su fase de operación, mientras que para el transporte de mercancías solo se había estudiado la ubicación de terminales y la selección de rutas. Por estas razones, se optó por desarrollar una aportación respecto a las investigaciones aplicadas con anterioridad a la evaluación de combustibles alternativos para el transporte de mercancías ya que no se encontraron estudios que consideraran los tres factores del sistema de transporte de manera integral desde la perspectiva del ciclo de vida.

Así, como resultado de la aplicación empírica de las metodologías de análisis resultantes de esta tesis, se ha desarrollado una metodología híbrida simplificada para la evaluación integrada de alternativas para la sostenibilidad del transporte basado en el método multicriterio AHP, con el cual, mediante cinco pasos, se obtiene un índice de sostenibilidad para cada alternativa. Este índice se deriva de una agregación ponderada mediante el establecimiento de escenarios en los que se fijan pesos diferentes para los criterios seleccionados, basados en los intereses de la empresa o de los diferentes *stakeholders*.

La metodología híbrida e integrada se aplica a un caso a estudio en España, con el objetivo de seleccionar el mejor combustible entre tres alternativas: gas natural licuado (GNL), biodiésel hidrotratado (HVO) y diésel convencional. La mejor alternativa para el escenario establecido por la empresa, es la implementación del GNL, que mejora el índice de sostenibilidad cada vez que se reduce el peso del criterio económico. En el escenario en donde se otorga mayor importancia al criterio económico, la alternativa del diésel se fortalece debido a la madurez de la tecnología y la disponibilidad de las estaciones de servicio.

A través del análisis de sensibilidad se concluye que omitir aspectos del mercado y las perspectivas del ciclo de vida, es decir, sin considerar la legislación, la disponibilidad de estaciones ni los impactos sociales y medioambientales en la cadena de suministro de los vehículos, combustibles e infraestructuras, generan resultados mucho más optimistas para la alternativa de GNL que en el caso original y al mismo tiempo no revela los aspectos críticos reales para la introducción de vehículos de gas natural en España.

A pesar de la consistencia de los resultados en favor del GNL, algunos subcriterios presentan alta incertidumbre, requiriendo análisis de sensibilidad adicionales. Los indicadores más susceptibles son aquellos que pueden verse afectados por decisiones políticas o cambios en las percepciones de la sociedad. En el caso de un aumento de impuestos para el gas natural, el GNL no sería una opción atractiva, siendo solo una buena opción en el escenario en donde el criterio económico no es determinante. Mientras que, en el evento de un accidente grave de algún vehículo a GN, lo que afecta la aceptabilidad social, la alternativa del GNL se igualaría en preferencia con la del diésel.

En definitiva, a través de la aplicación de la metodología híbrida e integrada ha podido demostrarse la consistencia de los resultados obtenidos en esta tesis, poniendo de relieve la relevante participación de los *stakeholders*, quienes, además de apoyar la ponderación de criterios para cada uno de los escenarios evaluados, permitieron identificar las variables críticas y que podrían afectar en el futuro el desempeño y la masiva implementación de combustibles y tecnologías ecoinnovadoras en el transporte de mercancías por carretera, lo

que podría garantizar el éxito de estas estrategias de sostenibilidad en un entorno dinámico a largo plazo en este sector.

## 6.2. Contribuciones científicas de la tesis

En este apartado se resumen a continuación las principales contribuciones científicas alcanzadas a través de esta tesis.

- La metodología híbrida e integrada para la evaluación de la sostenibilidad de estrategias de transporte de mercancías por carretera representa un avance en el conocimiento conjuntamente con las metodologías propuestas para el análisis del ciclo de vida medioambiental y socioeconómico, ya que suponen un avance en el estado del arte de las metodologías de ACV, en particular para el impacto de los combustibles.
- Se ha presentado el concepto de sistema del transporte, en donde los componentes clave del sistema: vehículos, combustibles e infraestructuras, además de hacer posible la ejecución de los servicios de transporte, generan impactos medioambientales y socioeconómicos en su ciclo de vida que deben ser analizados integralmente en un único sistema, dada la interacción y dependencia de estos componentes con la actividad principal de operación de los vehículos.
- En esta tesis se ha avanzado en la clasificación de las fuentes de información y los métodos de evaluación utilizados para el análisis de la sostenibilidad del transporte de mercancías por carretera. En particular, para las metodologías de análisis de ciclo de vida se han identificado limitaciones y lagunas que han sido cubiertas por las metodologías aplicadas.
- Una contribución inherente a las metodologías de análisis de ciclo de vida medioambiental (ACV) es la ampliación de los análisis de carácter social y socioeconómico (ASCV), para la evaluación integrada del sistema del transporte de mercancías por carretera, que pueden ser utilizadas para otros tipos de transporte, así como para el transporte de pasajeros, lo que pone de manifiesto el alcance de la aportación realizada.
- Se ha propuesto y aplicado un método de cálculo de emisiones generadas por la operación de los vehículos considerando variables como el tamaño del vehículo, número de ejes, tecnología de control de emisiones, factor de carga, velocidad y gradiente de la carretera, con fin de aumentar la exactitud de los resultados, especialmente en países en vías de desarrollo para una futura aplicación de los resultados de esta tesis.
- La aplicación de las metodologías en los tres estos casos estudiados en distintos continentes representa uno de los enfoques innovadores de la investigación, que permitieron establecer aspectos críticos para el desarrollo de una metodología híbrida

para el análisis de la sostenibilidad del servicio del transporte de aplicación a entornos distintos.

- De la aplicación de la metodología de ACV se han obtenido resultados genéricos que puede ser incorporados a los inventarios del ciclo de vida de la producción del diésel y biodiésel y de la construcción y mantenimiento de carreteras para futuros estudios.
- Otra aportación en el conocimiento de los ACV para los servicios de transporte es la relacionada con el análisis del impacto de cada componente del sistema del transporte en el impacto global del mismo.
- Para el desarrollo del ASCV propuesto, se ha diseñado un método de análisis de inventario multinivel, en función de la profundidad y nivel de detalle buscado para la recopilación de datos para las actividades identificadas en cada eslabón de la cadena de suministro del sistema del transporte. Se destaca en tal sentido el listado de indicadores de análisis específico y genérico desarrollados en esta tesis, con sus respectivas fuentes de información, seleccionadas con el fin de garantizar la compleción, disponibilidad, calidad y transparencia de los datos.
- A diferencia de la mayoría de estudios en los que se utiliza un único indicador para cada subcategoría de impacto social, para este estudio se ha propuesto utilizar tres indicadores que permiten analizar no solo el cumplimiento de la empresa con un requisito básico, sino también otros comportamientos positivos y negativos que permitan diferenciar las empresas, tales como la cuantificación de la gravedad de los impactos, las acciones para mejorar el desempeño social, la existencia y aplicación de códigos de conducta, entre otros.
- Entre las aportaciones de tipo metodológico para el ASCV de esta tesis cabe destacar el método de evaluación definido como método de escalas de valoración multinivel. Con este método, mediante una guía propuesta de valoración de subcategorías de impacto, son obtenidos índices de impacto para cada actividad del sistema, discriminados por subcategorías de impacto y agregados por categorías de impacto y por *stakeholders*. A partir de estos índices de impacto y mediante índices de prioridad basados en las percepciones de los *stakeholders* y ponderación de actividades se obtiene un índice de desempeño social del sistema siendo este un resultado innovador que permite avanzar en el conocimiento a través del trabajo de investigación aquí expuesto.
- Se ha propuesto una simplificación metodológica de aplicación a nivel de empresa para la evaluación híbrida e integrada de un servicio de transporte de mercancías, mediante el cálculo de un índice de sostenibilidad para las alternativas evaluadas.

En definitiva, a partir de identificar las lagunas de los análisis anteriores en este ámbito, esta tesis contribuye en la ampliación de las perspectivas sobre la forma de evaluar los servicios tanto de transporte de mercancías como de pasajeros de una manera sistémica, evidenciando los potenciales impactos medioambientales, económicos y sociales, negativos y positivos, en la

cadena de suministro de los sistemas actuales de transporte. Adicionalmente, se demuestra en este trabajo cómo en la evaluación de proyectos, es importante considerar las opiniones de los diferentes grupos de interés involucrados, quienes además de dar pistas sobre el desempeño que tendría la alternativa en cada aspecto evaluado, contribuyen en la definición de factores de ponderación para apoyar la toma de decisiones mediante resultados de tipo cuantitativo, facilitando la comparabilidad del potencial éxito de cada alternativa en un mercado dinámico como el de las tecnologías para el transporte.

### **6.3. Perspectivas/futuros trabajos de investigación**

Además de ampliar las perspectivas sobre la evaluación integrada de los servicios del transporte, considerando las tres dimensiones de la sostenibilidad en el ciclo de vida de todos los componentes del sistema del transporte, en esta tesis se han identificado las siguientes líneas de investigación que podrían ser desarrolladas con mayor profundidad en futuras investigaciones:

- El enfoque sistémico definido para la evaluación del ciclo de vida medioambiental y social y socioeconómico del servicio de transporte de mercancías, podrá ser replicado también para evaluar servicios de transporte de pasajeros en modos diferentes al transporte por carretera. De esta manera, además de ampliar las perspectivas acerca de los impactos asociados al servicio, con la elaboración de más casos de estudio se podría demostrar la utilidad de estas metodologías y la necesidad de su normalización y de creación de bases de datos más exhaustivas y consistentes para diferentes contextos geográficos y socioeconómicos.
- Como continuidad al trabajo desarrollado en esta tesis, los métodos de cálculo propuestos en cada una de las metodologías y la metodología simplificada podrían convertirse en herramientas informáticas amigables para el usuario, con la colaboración de programadores de software, las cuales podrían presentarse al público mediante una herramienta web o una aplicación móvil gratuita o comercial.
- Con el desarrollo y aplicación de la metodología de ACV para el transporte de mercancías por carretera, se ha evidenciado la necesidad de creación de factores de emisión y consumos energéticos por km recorrido para combustibles diferentes al diésel. Por esto, aún hay mucho trabajo por realizar en experimentación y publicación de factores que consideren, además del tipo de vehículo y la tecnología de control de emisiones, variables como factores de carga, velocidad y gradiente de la carretera para vehículos propulsados con combustibles alternativos.
- Asimismo, se requiere ampliar y actualizar las bases de datos con inventarios de ciclo de vida para la producción de combustibles alternativos, fabricación de vehículos y construcción de diferentes infraestructuras, que además sean representativas para diferentes continentes. También se requiere que para cada país se realice una

contabilización o estimaciones de los vkm y tkm movilizadas anualmente por sus carreteras, con el fin de establecer factores de asignación de impactos de su construcción con mayor exactitud.

- Se ha evidenciado también la necesidad de elaborar estudios de impacto medioambiental y social de las actividades asociadas al sector del transporte en países en vías de desarrollo, con el fin de contribuir al desarrollo de bases de datos con cobertura global que puedan ser utilizadas para los ACV y ASCV en cualquier continente.
- Dada la novedad en el método de evaluación de impactos presentado en la metodología del ASCV, es necesario que se profundice en el diseño de los factores de ponderación de actividades, para determinar la relevancia que deben tener los resultados de la caracterización de análisis de inventario realizado a cada empresa y sector de una manera más objetiva.
- El método propuesto para el cálculo de emisiones y consumo energético de la operación del vehículo mediante ecuaciones Tier 3 para diferentes tramos del trayecto, podría ser automatizado con el desarrollo de herramientas informáticas, que a través de perfiles de elevación satelitales del trayecto, pueda ser dividido en mayor número de tramos individuales, aumentando la exactitud de los resultados. También, la elaboración de los cálculos podría facilitarse con el uso de herramientas y software disponible, mediante el uso de dispositivos de monitoreo a bordo OBDII, los cuales almacenan diversos datos de la conducción para su posterior análisis.
- Con esta tesis también fue demostrada la necesidad de considerar criterios sociales y aspectos del mercado en la selección de estrategias de reducción de impactos medioambientales en el transporte, por lo que podría desarrollarse una línea de trabajo para la evaluación de alternativas que consideren estos aspectos socioeconómicos en el ciclo de vida de los componentes asociados a la estrategia que se pretenda implantar.



## CAPÍTULO VII. GENERAL CONCLUSIONS

### 7.1. Thesis summary

The purpose of this research has been motivated by the growing need to develop strategies to reduce the oil dependency and environmental impacts in the transport sector, in which the road freight poses the greatest challenges in the short and medium term and is the less studied subsector, in comparison to passenger transport.

Many of these strategies, such as the introduction of alternative fuels, have failed because the omission of social and socioeconomic aspects in the feasibility assessments in each market, especially aspects related to the life cycle of the transport system components.

Therefore, this thesis proposes to develop and apply a hybrid<sup>13</sup> methodology for the integrated<sup>14</sup> evaluation of sustainability strategies of freight transport, based on the life cycle analysis of the key components of the transport system: fuels, vehicles and infrastructure.

To achieve this goal, in the first chapter of this thesis are identified the road freight main difficulties and the various measures that have been implemented for the reduction of energy consumption and polluting emissions in this sub-sector as the two main impacts to consider.

In addition to these impacts, there are other externalities directly derived from transport operations such as air pollution, noise, vibration, congestion, occupation of public space, accidents, damage to buildings and monuments. Also, there are externalities associated with the components of the transport system, such as those related to the production of fuels, affecting the natural resources and communities neighbouring the operation. On the other hand, vehicle manufacturing processes could also affect the availability of mineral resources and water pollution. Likewise, infrastructure construction such as roads could generate impacts such as deforestation, fragmentation of ecosystems, occupation and permeability of the soil, affecting the fauna and flora, as well as discomfort to neighbouring communities during their construction and use. Also, the activities related to the transport sector generate positive socioeconomic impacts such as the generation of employment, technological development, return to the community through the payment of taxes and royalties,

---

<sup>13</sup> Considering environmental, social and economic aspects

<sup>14</sup> Considering the manufacture of vehicles, fuel production and road construction

investments in environmental and social issues, among others, for which, it is necessary to develop a methodology that considers both negative and positive impacts in the evaluation of each strategy.

In the second chapter, the state-of-the-art of initiatives related to the sustainability of road transport is presented, in the field of both legislation for the control of emissions and characterization and analysis through tools or methodologies for calculating the environmental impacts of the sector. In this chapter, examples of the application of environmental life cycle assessment (LCA), social and socioeconomic life cycle assessment (SLCA) and life cycle costing (LCC) methodologies for the analysis of road transport are presented, including, in addition to the vehicles operation, studies related to the production of fuels, the manufacture of vehicles and the construction of roads. Although most these studies focus on a single aspect of transport, in this chapter are also analysed the studies carried out to date for hybrid and integrated methodologies. This literature analysis serves for establishing the opportunities for the use of these methodologies to evaluate sustainability strategies in the road freight transport. Likewise, the critical analysis of these references allows the identification of gaps, limits and needs for theoretical-practical development of methodologies that address the transport service with a systemic approach and that also consider the three pillars of sustainability.

In this review of initiatives for the measurement and analysis of the sustainability of road transport, the European standard EN 16258 was identified as the most important contribution for the methodologies of calculation of carbon footprint. However, the focus of this standard only considers the analysis of the life cycle of the fuel, since in the traditional services of road transport the use of fuels is responsible for more than 80% of the GHG, considering the contribution of the manufacture and maintenance of vehicles and infrastructures. For this reason, if the aim is to evaluate sustainability according to an approach based on the integrated transport system, the analysis should be complemented by using broader standards such as the ISO 14040 series for LCA and considering other environmental and socioeconomic besides the GHG emissions related to the global warming potential.

The life cycle analysis techniques for social and economic aspects, due to the ambiguities in their application, have not reached a consensus to become fully accepted methodologies by the international community as the methodology for environmental LCA. In the case of the LCC, most studies use the theory of total cost of ownership (TCO), a tool to calculate the real cost of having a product or service from the point of view of the buyer or user. There are few LCCs that try to integrate transport externalities in their evaluation, since, besides being complicated the monetization of these externalities, the use of factors for the incorporation of externalities derived from generic studies, such as the ExternE, could throw unrepresentative results in territories other than those considered in those studies. Likewise, incorporating the results of an LCC study, that includes monetized external costs in an analysis of the life cycle sustainability of the transport service, could generate double counting of environmental or social impacts, affecting the sustainability index obtained and neglecting the direct financial costs considered for the evaluated service.

Based on the identification of gaps in the design of life cycle analysis methodologies for the components associated with transport services, in the third chapter, LCA and SLCA methodologies for the integral evaluation of freight transport services are proposed. This integrated analysis considers, in addition to the operation of the vehicle itself, the processes associated with the life cycle of fuels, vehicles and infrastructure. In this chapter, the methodological approach is designed, establishing how to handle the definition and scope of the study, describing the impact categories and stipulating the sources of information and the most appropriate impact evaluation methods for the transport services to guarantee the consistency and transparency of the results.

In this line, for the LCA inventory analysis stage, the *EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook* report is identified as the main source of energy consumption and emission factors for the vehicle operation, while, for the elaboration of the inventories of the rest of the components of the system the *EcolInvent databases* and reports are considered. Likewise, the *ReCiPe* method was identified as one of the most updated and appropriate for the assessment of transport systems.

For the main activity of vehicle operation, a calculation method of emissions is proposed. This method considers variables such as vehicle size, number of axes, emission control technology, load factor and speed of vehicles and the road gradient, by dividing the route into sections, supported by the *GoogleEarth* elevation profile creation tool. All this with the aim of increasing the accuracy of the results, especially in transport services that take place in geographical areas where the average emission factors available in the databases usually referenced are not representative, because they were obtained in non-comparable conditions.

In the calculation of allocation factors, the procedure followed for the construction of roads is highlighted, where the impact is distributed among the gross tons (Gtkm) mobilized annually in the country, unlike the allocation of impacts of the manufacturing of the vehicle made based on the total transported tkm in the lifespan of the vehicle or the impacts allocation of the road maintenance activities that is made based on the vehicle-kilometre (vkm) travelled annually.

In this third chapter, an SLCA methodology is also designed, which is an important contribution in this studied area. For the application of this SLCA methodology to the case of transport systems, a total of 26 impact subcategories are selected from among those suggested by the UNEP/SETAC guidelines, grouped subsequently for the evaluation of impacts in 5 general categories: human rights, workers' rights, protection of cultural heritage and communities, socio-economic impacts and governance.

For the elaboration of the life cycle inventory, a multilevel information analysis method is proposed and applied. Thus, for the elaboration of the inventory for the generic analysis applied to sectors, suppliers of materials and components of the direct suppliers of the transport company, an exhaustive selection of indicators and reliable data sources for each impact subcategory is made. On the other hand, a specific inventory calculation method for the direct suppliers and for the transport company analysis is proposed. For this specific analysis, a list of indicators is drawn up for each impact subcategory. Also, a template semi-structured interview template is developed to be applied to representatives of the affected stakeholders, whose perceptions are used both to check the information on the impacts of

transport companies and to develop priority indices of impact subcategories and categories, in order to obtain a social performance index (SPI) of the evaluated system.

An important contribution in the design of the SLCA methodology is the multilevel scales assessment method, in which the results are characterized depending on each level of inventory analysis. The results are obtained and presented by system processes, by impact categories and by stakeholders, in the form of social impact indexes. In order to present these aggregate results in a SPI of the system, a weighting is proposed for the different impact categories and activities of the system, where greater relevance is given to the results obtained for the transport company and its direct suppliers located near of the operation area.

The characterization method proposed in the SLCA methodology, is the first one that uses a multilevel valuation procedure and that, at the same time, involves the perceptions of the stakeholders to obtain intermediate and final results.

In order to test the usefulness of the proposed LCA and SLCA methodologies, in the fourth chapter they are applied to three different transport systems from the geographic, socio-economic and cultural point of view, located in Colombia, Malaysia and Spain.

The results of the carried out LCAs suggest broadening the debate and research on the critical points of the transport sector. It has been shown, for example, that emissions from tire and brake abrasion generate a significant relative impact on the quality of fresh and marine water and human health. It could also be observed that the responsibility of each component of the system in the global environmental impact depends on the points of view, method of evaluation and the type of perspective selected.

From the point of view of the impacts on human health, for the three cases, the main contributor was the Traffic process, while from the point of view of the impact on resources main contributor was the Fuel Production process.

The evaluation method used influenced in different ways the impacts distribution in each case. In the transport service evaluated in Colombia, the method basically influenced the contribution of the Fuel Production process, since by the ReCiPe 2008 method, positive contributions from the palm oil production activity are recorded. This method positively values the transformation of land without trees in tree-lined areas. Additionally, for these palm plantations in Colombia a reduction in CO<sub>2</sub> emissions is counted due to the change in land use, when moving from land with annual crops to perennial crops. However, considering monocultures as forests has been a very controversial concept. In addition, when evaluating the life cycle of the transport service, where CO<sub>2</sub> emissions from the use of biofuels should not be accounted for because of the concept of carbon neutrality, it is wrong to count CO<sub>2</sub> reduction in the Fuel Production process. In this sense, in this thesis an adjustment is made to the characterization method in the categories affected in ReCiPe 2008, generating an increase in the contribution of the Fuel Production process to the overall impact of the system, going from 35.9% to a 37.6%, considering the Average perspective for the impacts weighting.

The type of perspective also generates important changes in the distribution of the system's global impacts. For the Average perspective, the impact on human health is twice as important

as the impact on resources. Therefore, if the weighting factors are used under the Hierarchical perspective, where both the impact on human health and resources are of equal importance, the Fuel Production processes would be the main responsible for the environmental impact of the system in the three evaluated cases. Specifically, in the case of Colombia, the contribution of the fuel production process would increase from 37.6% under the Average perspective to 50.6% under the Hierarchical perspective.

The updated method of ReCiPe 2016, in addition to correcting the positive CO<sub>2</sub> accounting and transformation of forests for the production of palm oil, gives greater relevance to copper emissions than the ReCiPe 2008 method.

Therefore, given the inconsistencies in the characterization by the ReCiPe 2008 method and the notable differences that the normalization and weighting factors generate in the final results, it is advisable to take these results as an approximation to the real potential impacts and use them only in comparison to other LCAs using different fuels or vehicles in the same evaluated case. For this reason, for different types of approaches, it is advisable to carry out individual analyses of the results of the characterization for each category of impact, obtained through the updated method ReCiPe 2016.

Through the assessed cases, it can be stated that environmental impact of the system, besides being affected by the type of emission control technology of the vehicle and the origin of the energy sources, also the degree of utilization of the vehicle and roads in each country is important. That is, in countries like Colombia where trucks are used for more than 20 years, the impacts of their manufacture are very low when they are assigned to each transported tkm based on the total transported in their lifespan, obtaining a contribution of the Vehicle Manufacturing process about 2.9% of the total environmental impacts. Likewise, when in a country the amount of tkm and vkm travelled annually by its roads is quite large, the impacts allocation of the Road Construction process would be very small, as in the case of Malaysia where the impact contribution of this process was 0.8%.

The above contrasts with cases such as the evaluated in Spain, where the contribution of Vehicle Manufacturing and Road Construction in the overall impact was 5.7% and 11.4%, respectively. This is since the impact of the Traffic process was lower compared to the other cases because the vehicle has a Euro VI technology and an average 10.4-year lifespan. Furthermore, given the high proportion of highways and primary roads over the total of roads built with a moderate traffic volume, compared to the other cases, these Road Construction process had higher environmental impact contribution, although it is compensated with lower fuel consumption by km travelled.

In all the cases of study, the End of Life processes had an insignificant impact, given that almost complete recycling has been assumed and a *cut-off* approach has been considered for the LCA, according to which the impacts of recycling activities of the materials of the vehicle and the roads are allocated to the other products subsequently made with these materials.

Regarding the socio-economic analysis of freight transport, from the application of the proposed SLCA methodology to the three case studies, the results show the particularities of each case, so they should not be taken as representative of the social performance of the

subsector and its suppliers in the assessed country. However, the entire analysis provided conclusive information regarding the practicality, applicability and usefulness of the methodology and the consistency of its results.

In general, the needed time for the development of SLCA is much longer than the dedicated to LCA, since in the absence of widely accepted databases, the review of numerous secondary and primary sources of information is required. In this phase, the difficulty is greater in countries where availability and access to information are limited.

Given that, to obtain impact indices and SPI of the evaluated systems, priority indices of impact subcategories and impact categories and weighting factors of activities are used, which are obtained from the stakeholder's perceptions, it is necessary to develop sensitivity analysis.

The achieved precision by the activity weighting and the inclusion of priority indices is valid for a SLCA, since giving equal weight to the results of the sectors analysed generically would not reflect the real social impacts of the system. It is because these sectoral analyses include the negative performance of companies operating in informality, which in Colombia were approximately 48% in 2017. On the other hand, giving equal importance to all impact subcategories and impact categories would not allow the identification of the critical points where the problems of greatest interest to the stakeholders affected by the assessed system should be addressed.

The transport systems evaluated in Spain, Malaysia and Colombia obtained an SPI, on a scale of 1 to 5, of 3.53 (positive), of 3.45 (slightly positive) and of 3.24 (neutral), respectively. Although these indicators coincide with the order in which each of the countries appear in the international rankings related to different social indicators, the difference between each of these SPI is not considerable. This could be explained because the greater the risk of negative social impacts, the greater the opportunities for companies to develop positive actions that counteract these risks, so that the impact indices are compensated and taken to a level between neutral and positive.

For all the above, and considering that in each context the priorities can be very different, the final SPI of each case cannot be compared because they are influenced by the priority indices established by the stakeholders. The results of the interviews in the three countries agree that to improve the social performance of road freight companies they must give greater attention to the workers' rights. The second category in order of importance is human rights, except for the case in Spain, where that of socio-economic repercussions are above human rights, reflecting the current context of the country in which the risks of human rights violations are low and there are other priorities such as the recovery of the economy. For the other impact categories, the stakeholders in the three countries also agree that issues related to the protection of cultural heritage and communities are those that should have less priority compared to other issues, given that it is considered to be responsibility to a greater extent of public administration than of companies.

It is also noteworthy that the results of stakeholders' perception about the freight transport companies' social performance in each region correlate with the averages obtained for the assessed transport companies with the specific analysis indicators, which demonstrates the

representativeness of the obtained results by the proposed methods for inventory analysis and impacts assessment.

In short, to facilitate the process of gathering information and assessing the impacts of the transport life cycle, it is necessary that large companies and business associations of small and medium transport companies promote the preparation of complete and transparent openly published sustainability reports, which would also contribute to the development of specific databases for studies of social and socioeconomic impacts associated with the freight transport service in each region.

Based on the application of the methodologies for the environmental, social and socioeconomic life cycle assessments, the negative and positive impacts associated with a specific freight service could be identified. These individual analyses could be integrated with a cost analysis in order to obtain a single index that represents the degree of sustainability of the evaluated service. However, the described methodologies present some limitations, mainly when proceeding to evaluate alternatives for products or companies relatively new in the market, for which, the information is scarce or not representative to perform a comprehensive inventory analysis.

In addition to the above, in the LCA and SLCA cases, some impact subcategories might be irrelevant in each case studied, depending on the context in which the evaluated activities are carried out. Also, for LCC studies, it has been identified that to avoid external costs in a the double accounting of environmental and socioeconomic impacts in sustainability assessments, only internal costs (capital and operating costs) should be included.

For all the above, it was necessary to develop a methodology that would work as a practical decision tool and that could focus on the main issues of concern in each evaluated context. Likewise, this tool requires considering other important variables identified through stakeholder interviews, related to the market, such as legislative issues and the infrastructure and fuel availability, which have been considered as the main challenges for the adoption of alternative fuels.

The analysis of different economic, environmental, social and market variables for each of the key components of the transport system requires the data compilation for a large number of indicators. Therefore, the use of a multi-criteria decision-making tool (MCDM) is chosen, which facilitates the classification of indicators according to the impact categories or groups of criteria and the integration of the interests of the stakeholders. The MCDM methods can be useful to address the complexity of integrating the results of economic, environmental and social criteria using numerical scales to compare both quantitative and qualitative variables. An MCDM method that significantly incorporates the views of the stakeholders as part of the decision-making process is the Analytic Hierarchical Process (AHP).

The AHP method has been used in transportation projects to select alternatives considering mainly technical, financial and environmental criteria and, to a lesser extent, social, security and legislation criteria. However, the AHP-based studies had not considered issues related to the market, as they had focused on evaluating technologies and fuels for passenger transport and its operation phase, while for freight transport only the terminals location and route

selection has been studied. For these reasons, it was decided to develop a contribution with respect to the research applied for alternative fuels assessments for freight transport since no studies were found that considered the three factors of the transport system in an integral manner from the life-cycle perspective.

A simplified hybrid methodology has been proposed for the integrated evaluation of alternatives for transport sustainability based on the AHP multi-criteria method, with which, through five steps, a sustainability index is obtained for each alternative. This index is derived from a weighted aggregation by establishing scenarios in which different weights are set for the selected criteria, based on the interests of the company or the different stakeholders.

The hybrid and integrated methodology is applied to a case under study in Spain, with the objective of selecting the best fuel among three alternatives: liquefied natural gas (LNG), hydrotreated biodiesel (HVO) and conventional diesel. The best alternative for the scenario established by the company was the implementation of LNG, which improves the sustainability index every time it is reduced the weight of the economic criterion. In the scenario where the economic criterion was given greater importance, the diesel alternative was strengthened due to the reliability sub-criterion, given the maturity of the technology and the availability of service stations.

From the case study and the sensitivity analysis it is concluded that the omission of aspects related to the market and the life cycle perspectives affects in a high extent the final the results. In other words, an analysis without considering the legislation, the availability of stations or the social and environmental impacts in the supply chain of the vehicles, fuels and infrastructure, generates much more optimistic results for the LNG alternative than in the original case and at the same time does not reveal the real critical aspects for the introduction of natural gas vehicles in Spain.

Despite the consistency of the results in favour of LNG in most of the scenarios, some subcriteria presented a high uncertainty, requiring additional sensitivity analyses. The most sensitive indicators were those that could be affected by political decisions or changes in society's perceptions. In the case of a tax increase for natural gas, LNG would not be an attractive option, being only a good option in the scenario where the economic criterion is not decisive. While, in the event of a serious accident of a natural gas vehicle, what affects social acceptability, the LNG alternative would be equated in preference with the diesel alternative.

In conclusion, the application of the hybrid and integrated methodology demonstrated a consistency in the results, where the participation of stakeholders was very relevant, who in addition to supporting the weighting of criteria for each of the assessed scenarios, allowed to identify the critical variables that could affect the future performance and the massive implementation of fuels and eco-innovative technologies in the road freight transport, guarantying the success of the sustainability strategies in a long-term dynamic market in this sector.

## 7.2. Scientific contributions

In this section, the main scientific contributions reached through this thesis are summarized below.

- The hybrid-integrated methodology for the sustainability assessment of freight transport represents an advance in knowledge together with the proposed methodologies for the environmental and socio-economic life cycle assessments, since they signify an advance in the state of the art of LCA methodologies, in particular for the fuels impacts.
- The transport system concept has been presented, where the key components of the system: vehicles, fuels and infrastructures, besides making possible the operation of transport services, they generate environmental and socioeconomic impacts in their life cycle that must be analysed integrally in a single system, due to the interaction and dependence of these components with the main activity of vehicles operation.
- This thesis has advanced in the classification of information sources and assessment methods used for the sustainability analysis of road freight transport. In particular, for the life cycle assessment methodologies, limitations and gaps were identified that have been covered by the applied methodologies.
- An inherent contribution to environmental life cycle assessment (LCA) methodologies is the extension of social and socio-economic assessments (SLCA), for the integrated evaluation of road freight transport system. These methodologies can be used for other transport modes, as well as for the transport of passengers, which shows the scope of this contribution.
- The development of the proposed methodologies for life cycle assessment has broadened the perspective on how to deal with the evaluation of transport services with a systemic approach.
- A method for the calculation of emissions from road freight vehicles has been proposed and applied. The method considers variables such as vehicle size, number of axles, emission control technology, vehicle load, speed and road gradient, in order to increase the accuracy of the results, especially in developing countries for a future application of this thesis results.
- The application of the methodologies in the three case studies in different continents represents one of the innovative approaches of this research, which allowed to establish critical aspects for the development of a hybrid methodology for the of the sustainability assessment of transport services, applicable to different environments.

- From the application of the LCA methodology, generic results have been obtained that can be incorporated into the life cycle inventories of diesel and biodiesel production and of the construction and maintenance of roads for future studies.
- Another contribution in the knowledge of LCA for transport services is related to the impact analysis of each transport system component on its overall impact.
- For the development of the proposed SLCA, a multilevel inventory analysis method has been designed, depending on the depth and level of detail sought for the collection of data for the activities identified in the transport system supply chain. The list of indicators of specific and generic analysis developed in this thesis, with their respective sources of information, selected in order to guarantee the completeness, availability, quality and transparency of the data, stands out in this regard.
- Unlike the majority of studies related to the social life cycle assessment, in which a single indicator is used for each social impact subcategory, this study has proposed to use three indicators that allow analysing not only the company compliance with a basic requirement in each subcategory, but also analyse other positive and negative behaviours that differentiate companies, such as the quantification of the severity of impacts, actions to improve social performance, the existence and application of codes of conduct, among others.
- In relation to the inventory analysis levels of the SLCA, an evaluation method defined as a multilevel valuation scales method was also designed. With this method, through a proposed valuation guide, impact indices are obtained for each system activity, discriminated by impact subcategories and aggregate by impact categories and stakeholders. From these impact indexes and through priority indexes based on stakeholder perceptions and activity weighting, a social performance index for the system is obtained, which is an innovative result that allows advancing in knowledge through the research work here exposed.
- It has been proposed a methodological simplification of application at the company level for the hybrid and integrated evaluation of a freight transport service, by calculating a sustainability index for the evaluated alternatives.

In brief, from identifying the gaps of previous analyses in this area, this thesis contributes to broadening perspectives on how to evaluate the services of both freight and passenger transport in a systemic manner, evidencing the potential negative and positive environmental, economic and social impacts, in the supply chain of current transport systems. Additionally, this work demonstrates how in the project assessments it is important to consider the stakeholders opinions, who, in addition to giving clues about the performance of the alternatives in each analysed criteria, contribute to the definition of weighting factors to support decision making through quantitative results, facilitating the comparability of the potential success of each alternative in a dynamic market such as transport technologies.

### 7.3. Future research work

In addition to broadening perspectives on integrated assessment of transport services, considering the three dimensions of sustainability in the life cycle of all components of the transport system, this thesis has identified the following research lines that could be developed in greater depth in future research:

- The systemic approach defined for the environmental and socio-economic life cycle assessment of the freight transport service might also be replicated to evaluate different modes of passenger transport services. In this way, in addition to broadening the perspectives about the impacts associated with the service, through the elaboration of more case studies, the usefulness of these methodologies and the need for their standardization and creation of more exhaustive and consistent databases for different geographical and socioeconomic contexts could be demonstrated.
- As continuity to the developed work in this thesis, the calculation methods proposed in each of the life-cycle methodologies and the simplified methodology could become user-friendly computer tools, with the collaboration of software developers, which could be presented to the public through a web tool or a free or commercial mobile application.
- With the development and application of the LCA methodology for road freight transport, the need for the development of emission factors and energy consumption per km traveled for fuels other than diesel has been evidenced. Therefore, there is still much work to be done in the experimentation and publication of factors that consider, in addition to the type of vehicle and emission control technology, variables such as load factors, speed and road gradients for vehicles powered by alternative fuels.
- Likewise, it is necessary to expand and update the databases with life cycle inventories for the alternative fuels production, vehicle manufacturing and infrastructure construction for different continents. It is also necessary for each country to make an accounting or estimates of the vkm and tkm mobilized annually by their roads, in order to establish impacts allocation factors of their construction with greater accuracy.
- The need for environmental and social impact studies of activities associated with the transport sector in developing countries has also been evidenced. These studies are necessary to contribute to the development of databases with global coverage that can be used for LCA and SLCA in any continent.
- Given the novelty in the impact assessment method presented in the SLCA methodology, it is necessary to deepen the design of the weighting factors of activities to determine the relevance that the characterization results must have for each company and sector in a more objective way.

- The proposed method for the emissions and energy consumption calculation for the vehicle operation using Tier 3 equations for different sections of the route, could be automated with the development of computer tools, which through satellite elevation profiles of the route, can be divided in greater number of individual sections, increasing the accuracy of the results. Also, the elaboration of the calculations could be facilitated with the use of available tools and software, through the use of on-board OBDII monitoring devices, which store various driving data for later analysis.
- This thesis also demonstrated the need to consider social criteria and market aspects in the selection of strategies to reduce environmental impacts in transport. In this regards, a research line could be developed for the evaluation of alternatives that consider these socio-economic aspects in the life cycle of the components associated with the strategy that is to be implemented.

## REFERENCIAS

- [1] IEA - International Energy Agency. CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017 - Highlights. vol. 1. 2017. doi:10.1787/co2\_fuel-2017-en.
- [2] European Commission. Eurostat Statistics Explained. Energy Prod Imports 2015. [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy\\_production\\_and\\_imports](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports) (accessed August 20, 2015).
- [3] IEA - International Energy Agency. Key World Energy statistics. 2017. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- [4] European Environment Agency. EEA. Final Energy Consum by Sect Fuel 2017. [www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-9/assessment-1](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-9/assessment-1) (accessed July 17, 2018).
- [5] European Commission. Eurostat. Simpl Energy Balanc - Annu Data Code Nrg\_100a 2017. [appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg\\_100a&lang=en](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_100a&lang=en) (accessed July 18, 2018).
- [6] Eurostat. Sustainable development in the European Union: 2015 monitoring report of the EU Sustainable Development Strategy. 2015th ed. Luxembourg: 2015. doi:10.2785/11549.
- [7] European Commission. EU Transport in figures. Statistical Pocketbook 2017. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2017. doi:10.2832/041248.
- [8] European Environment Agency. Focusing on environmental pressures from long distance transport. Luxembourg: 2014.
- [9] European Environment Agency. EEA. Final Energy Consum by Mode Transp 2017. [www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-final-energy-consumption-by-mode/assessment-8](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-final-energy-consumption-by-mode/assessment-8) (accessed July 17, 2018).
- [10] TNO. Draft final report : Cost-benefit analysis of options for certification , validation , monitoring and reporting of heavy-duty vehicle fuel consumption and CO 2 emissions 2015.
- [11] AEA. Report on the implementation of Directive 1999 / 94 / EC relating to the availability of consumer information on fuel economy and CO2 emissions in respect of the marketing of new passenger cars. Didcot: 2011.
- [12] Bruno Lapillonne, Pollier K, Sebi C. Energy Efficiency Trends in the EU. 2013.
- [13] European Commission. Strategy for reducing Heavy-Duty Vehicles' fuel consumption and CO2 emissions 2014.
- [14] European Commission. Eurostat. Modal Split Freight Transp Code T2020\_rk320 2017. [ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=t2020\\_rk320&language=en](http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=t2020_rk320&language=en) (accessed July 18, 2018).
- [15] European Commission. Eurostat. Energy Consum Transp Relat to GDP Code Tsdtr100 2017. [ec.europa.eu/eurostat/product?code=tsdtr100&language=en&mode=view](http://ec.europa.eu/eurostat/product?code=tsdtr100&language=en&mode=view) (accessed November 14, 2018).
- [16] European Commission. Eurostat. Simpl Energy Balanc - Annu Data Code Nrg\_100a 2017. [appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do) (accessed December 12, 2017).
- [17] European Commission. Eurostat. Gross Domest Prod Mark Prices Index, 2000=100 Code Nama\_gdp\_k 2017. [ec.europa.eu/eurostat/product?code=nama\\_gdp\\_k&language=en&mode=view](http://ec.europa.eu/eurostat/product?code=nama_gdp_k&language=en&mode=view) (accessed December 12, 2017).
- [18] Engerer H, Horn M. Natural gas vehicles: An option for Europe. Energy Policy 2010;38:1017–29. doi:10.1016/j.enpol.2009.10.054.
- [19] Loomis D, Grosse Y, Lauby-Secretan B, Ghissassi F El, Bouvard V, Benbrahim-Tallaa L, et al. The

- carcinogenicity of outdoor air pollution. *Lancet Oncol* 2013;14:1262–3. doi:10.1016/S1470-2045(13)70487-X.
- [20] Fevre C Le. The Prospects for Natural Gas as a Transport Fuel in Europe. vol. 84. 2014.
- [21] Benajes J, Pastor J V., García A, Monsalve-Serrano J. The potential of RCCI concept to meet EURO VI NOx limitation and ultra-low soot emissions in a heavy-duty engine over the whole engine map. *Fuel* 2015;159:952–61. doi:10.1016/j.fuel.2015.07.064.
- [22] Dünnebeil F, Lambrecht U. Fuel efficiency and emissions of trucks in Germany - an overview. 2012.
- [23] Breemersch T, Akkermans L. GHG reduction measures for the Road Freight Transport sector. 2014.
- [24] Buchholz T, Schweikl T. best of 9 2015. <http://www.bestof9.eu/> (accessed August 15, 2015).
- [25] Cnh Industrial. Iveco España, S.L 2015. [http://www.iveco.com/spain/empresa/pages/record\\_consumo.aspx](http://www.iveco.com/spain/empresa/pages/record_consumo.aspx) (accessed August 15, 2015).
- [26] European Commission. Eurostat. Emiss Nitrogen Oxides from Transp Code Tsdtr430 2017. [ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdtr430](http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdtr430) (accessed July 18, 2018).
- [27] European Commission. Eurostat. Emiss Part Matter from Transp Code Tsdtr440 2017. [ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdtr440](http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdtr440) (accessed July 18, 2018).
- [28] Faberi S, Paolucci L, Lapillonne B, Pollier K. Trends and policies for energy savings and emissions in transport. 2015.
- [29] EEGFTF. Future Transport Fuels, Report of the European Expert Group on Future Transport Fuels. Düsseldorf: 2011.
- [30] Durbin DJ, Malardier-Jugroot C. Review of hydrogen storage techniques for on board vehicle applications. *Int J Hydrogen Energy* 2013;38:14595–617. doi:10.1016/j.ijhydene.2013.07.058.
- [31] IEA - International Energy Agency. World Energy Outlook Special Report 2015: Energy and Climate Change. Paris: 2015.
- [32] European Commission. Clean Power for Transport: A European alternative fuels strategy. COM (2013) 17 final. Brussels: 2013.
- [33] Vijay V, Pimm SL, Jenkins CN, Smith SJ. The Impacts of Oil Palm on Recent Deforestation and Biodiversity Loss. *PLoS One* 2016;11:e0159668. doi:10.1371/journal.pone.0159668.
- [34] De Simio L, Gambino M, Iannaccone S. Possible transport energy sources for the future. *Transp Policy* 2013;27:1–10. doi:10.1016/j.tranpol.2013.01.006.
- [35] Muñoz Domínguez M, Rozira de Antonio AJ. Máquinas Térmicas. Madrid: 2014.
- [36] Breemersch T, Akkermans L. GHG reduction measures for the Road Freight Transport sector up to 2020. Leuven: 2015.
- [37] Comision Europea. Libro verde - Fomentar un marco europeo para la responsabilidad social de las empresas. 2001.
- [38] Osorio-Tejada JL, Llera-Sastresa E, Scarpellini S. Liquefied natural gas: Could it be a reliable option for road freight transport in the EU? *Renew Sustain Energy Rev* 2017;71:785–95. doi:10.1016/j.rser.2016.12.104.
- [39] Yeh S. An empirical analysis on the adoption of alternative fuel vehicles: The case of natural gas vehicles. *Energy Policy* 2007;35:5865–75. doi:10.1016/j.enpol.2007.06.012.
- [40] IANGV. NGV Global News. A Look Back IANGV Twenty Years Ago 2006. <http://www.ngvglobal.com/blog/a-look-back-at-the-iangv-twenty-years-ago-0926#more-2364>.
- [41] Kumar S, Kwon HT, Choi KH, Lim W, Cho JH, Tak K, et al. LNG: An eco-friendly cryogenic fuel for sustainable development. *Appl Energy* 2011;88:4264–73. doi:10.1016/j.apenergy.2011.06.035.
- [42] Chen JW, Li CN, Chen XS. General discussion of Oil alternatives. Sinopec Press 2009.
- [43] Fedorova EB, Fedorov V V., Shakhov AD. Promising technology for recovery And use of liquefied natural gas. *Chem Pet Eng* 2009;45:34–9.
- [44] den Boer E, Brouwer F, Schroten A, van Essen H. Are trucks taking their toll ? The environmental , safety and congestion impacts of lorries in the EU. Delft: 2009.
- [45] European Commission. EU Transport in Figures. Statistical Pocketbook 2014. Belgium: 2014. doi:10.2832/63317.
- [46] Omokaro O. Oil and gas extraction in the Niger Delta region of Nigeria: The social and environmental challenges. *FOG - Freib Online Geosci* 2009;24:14–20.

- [47] Garrigues Medio Ambiente SL. Manual para la Gestión Ambiental en el Sector Transporte en Andalucía. 2013.
- [48] Garrido J. Impactos medioambientales y sociales del transporte. *Geographicalia* 1999;37:37–52.
- [49] European Commission. Green paper: Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply. Luxembourg: 2001. doi:92-894-0319-5.
- [50] Commission of the European Communities. White paper. European policy for 2010: time to decide. Brussels: 2001.
- [51] European Parliament And The Council Of The European Union. Directive 2014/94/EU on the deployment of alternative fuels infrastructure. *Off J Eur Union* 2014;57:1–82.
- [52] CNH Industrial. 2014 Sustainability Report. 2014.
- [53] Facanha C, Horvath A. Evaluation of life-cycle air emission factors of freight transportation. *Environ Sci Technol* 2007;41:7138–44. doi:10.1021/es070989q.
- [54] Brundtland GH. Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development. vol. 4. 1987. doi:10.1080/07488008808408783.
- [55] UNCED UNC on E and D. United Nations Sustainable Development, Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June 1992. Agenda 21. 1992. doi:10.1007/s11671-008-9208-3.
- [56] European Commission. Green Paper - Towards Fair and Efficient Pricing in Transport Policy - Options for Internalising the External Costs of Transport in the European Union. Brussels: 1995.
- [57] Santos BF, Limbourg S, Carreira JS. The impact of transport policies on railroad intermodal freight competitiveness – The case of Belgium. *Transp Res Part D Transp Environ* 2015;34:230–44. doi:10.1016/j.trd.2014.10.015.
- [58] Kreutzberger E, Macharis C, Vereecken L, Woxenius J. Is intermodal freight transport more environmentally friendly than all-road freight transport? A review. *Nectar Conf.*, Umea, Sweden: 2003, p. 13–5.
- [59] Lamngård C. Intermodal train services: A business challenge and a measure for decarbonisation for logistics service providers. *Res Transp Bus Manag* 2012;5:48–56. doi:10.1016/j.rtbm.2012.11.001.
- [60] European Council. Directive 70/220/EEC on the Approximation of the Laws of the Member States Relating to Measures to be Taken Against Air Pollution by Gases from Positive-Ignition Engines of Motor Vehicles. *Off J Eur Communities* 1970:171–91.
- [61] European Parliament And The Council Of The European Union. Regulation (EC) No 715/2007 on type approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on access to vehicle repair and maintenance information. *Off J Eur Union* 2007:1–16. doi:OJEU 29.6.2007 L171.
- [62] European Council. Directive 88/77/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to the measures to be taken against the emission of gaseous pollutants from diesel engines for use in vehicles. *Off J Eur Communities* 1987:33–61.
- [63] European Parliament And The Council Of The European Union. Regulation (EC) No 595/2009 on type-approval of motor vehicles and engines with respect to emissions from heavy duty vehicles (Euro VI) and on access to vehicle repair and maintenance information and amending Regulation (EC) No 715/2007 and Directive 2007. *Off J Eur Union* 2009:1–13.
- [64] Ministerio de Agricultura A y MA. Transporte - Vehículos pesados. *Calid y Evaluación Ambient* 2014. [http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/transportes\\_pesados.aspx](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/transportes_pesados.aspx) (accessed November 11, 2015).
- [65] European Council. Directive 91/542/EEC amending Directive 88/77/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to the measures to be taken against the emission of gaseous pollutants from diesel engines for use in vehicles. *Off J Eur Communities* 1990:15–27.
- [66] European Parliament And The Council Of The European Union. Regulation (EC) No 1999/96/EC on the approximation of the laws of the Member States relating to measures to be taken against the emission of gaseous and particulate pollutants from compression ignition engines for use in vehicles, and the emission of gas. *Off J Eur Communities* 1999:155.
- [67] European Parliament And The Council Of The European Union. Directive 2005/55/EC on the approximation of the laws of the Member States relating to the measures to be taken against the emission of gaseous and particulate pollutants from compression-ignition engines for use in vehicles, and the emission positive-ig. *Off J Eur Union* 2005:1–163.
- [68] International Council of Clean Transportation. Actualización normativa: Regulaciones sobre emisiones de vehículos pesados en México. 2014.

- [69] Comisión Europea. Directiva 2010/48/UE. Unión Europea: 2010.
- [70] Consejo de las comunidades europeas. Directiva 72/306/CEE. 1997.
- [71] Ministerio de Industria Energía y Turismo. Manual de procedimiento de inspección de las estaciones I.T.V. Madrid: 2016.
- [72] European Council. Decision 93/389/EEC for a monitoring mechanism of Community CO<sub>2</sub> and other greenhouse gas emissions. Off J Eur Communities 1993:15–27.
- [73] European Council. Directive 70/156/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to the type-approval of motor vehicles and their trailers. Off J Eur Communities 1970:96–110.
- [74] European Council. Directive 80/1268/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to the fuel consumption of motor vehicles. Off J Eur Communities 1980:36–45.
- [75] European Commission. Directive 93/116/EC adapting to technical progress Council Directive 80/1268/EEC relating to the fuel consumption of motor vehicles 1993:39–53.
- [76] European Parliament And The Council Of The European Union. Directive 2004/3/EC amending Council Directives 70/156/EEC and 80/1268/EEC as regards the measurement of carbon dioxide emissions and fuel consumption of N1 vehicles. Off J Eur Union 2004:20–30. doi:[http://eur-lex.europa.eu/pri/en/oj/dat/2003/l\\_285/l\\_28520031101en00330037.pdf](http://eur-lex.europa.eu/pri/en/oj/dat/2003/l_285/l_28520031101en00330037.pdf).
- [77] European Parliament And The Council Of The European Union. Directive 1999/94/EC relating to the availability of consumer information on fuel economy and CO<sub>2</sub> emissions in respect of the marketing of new passenger cars. Off J Eur Communities 1999:1–8.
- [78] European Commission. Evaluation of Directive 1999/94/EC of the European Parliament and of the Council of 13 December 1999 relating to the availability of consumer information on fuel economy and CO<sub>2</sub> emissions in respect of the marketing of new passenger cars ('car labelling D 2015:1–5.
- [79] European Commission. COM(2007) 19. Results of the review of the Community Strategy to reduce CO<sub>2</sub> emissions from passenger cars and light-commercial vehicles. Sustain Dev 2007.
- [80] European Parliament And The Council Of The European Union. Regulation (EC) 443/2009. Setting emission performance standards for new passenger cars as part of the community's integrated approach to reduce CO<sub>2</sub> emissions from light-duty vehicles. Off J Eur Communities 2009;L 140:1–15. doi:2004R0726 - v.7 of 05.06.2013.
- [81] European Parliament And The Council Of The European Union. Regulation (EU) No 510/2011 setting emission performance standards for new light commercial vehicles as part of the Union's integrated approach to reduce CO<sub>2</sub> emissions from light-duty vehicles. Off J Eur Communities 2011:1–26.
- [82] European Commission. SWD(2014) 160 final. Impact Assessment. Accompanying the document: Strategy for Reducing Heavy-Duty Vehicles Fuel Consumption and CO<sub>2</sub> Emissions. 2014.
- [83] European Parliament And The Council Of The European Union. Directive 2009/30/EC amending Directive 98/70/EC as regards the specification of petrol, diesel and gas-oil and introducing a mechanism to monitor and reduce greenhouse gas emissions and amending Council Directive 1999/32/EC as regards the specification o. Off J Eur Union 2009:88–113.
- [84] Høgevoid NM. A corporate effort towards a sustainable business model: a case study from the Norwegian furniture industry. Int J Oper Prod Manag 2003;4:392–400.
- [85] European Parliament And The Council Of The European Union. Directive 2003/87/EC establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC. Off J Eur Communities 2003:32–46.
- [86] European Parliament And The Council Of The European Union. Decision No. 406/2009/EC on the effort of Member States to reduce their greenhouse gas emissions to meet the Community's greenhouse gas emission reduction commitments up to 2020. Off J Eur Union 2009:136–48.
- [87] Marsh-Patrick A. Company GHG Emissions Reporting – a Study on Methods and Initiatives. (ENV.G.2/ETU/2009/0073). 2010.
- [88] International Organization for Standardization. UNE-EN ISO 14044:2006. Madrid: AENOR; 2006.
- [89] Chomkham Sri K, Pelletier N. Analysis of existing environmental footprint methodologies for products and organizations: recommendations, rationale and alignment. 2011.
- [90] European Commission. Recommendation 2013/179/EU on the use of common methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations. Off J Eur Union 2013:210. doi:10.3000/19770677.L\_2013.124.eng.
- [91] European Commission. Roadmap to a Single European Transport Area—Towards a competitive

- and resource efficient transport system. 2011. doi:10.2832/30955.
- [92] European Commission. ExternE - Externalities of energy: Vol.1 - Summary. Luxembourg: 1995.
- [93] European Commission. External Costs: Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport. Luxembourg: 2003.
- [94] Consoli F, Allen D, Boustead I, Fava J, Franklin W, Jensen AA, et al. Guidelines for Life-cycle Assessment: A Code of Practice. Brussels and Penascola: SETAC; 1993.
- [95] Perriman RJ. A summary of SETAC guidelines for life cycle assessment. *J Clean Prod* 1993;1:209–12. doi:DOI: 10.1016/0959-6526(93)90023-5.
- [96] Udo de Haes HA, (ed.). Towards a Methodology for Life Cycle Impact Assessment. Brussels: SETAC; 1996.
- [97] International organization for standardization. ISO 14040:1997. Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. Switzerland: 1997.
- [98] International organization for standardization. ISO 14040:2006. Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. vol. 2006. 2006. doi:10.1136/bmj.332.7550.1107.
- [99] CEN- European Committee fo Standardization. EN 16258:2012. Methodology for calculation and declaration of energy consumption and GHG emissions of transport services (freight and passengers). 2012.
- [100] European Committee for Standardization (CEN). PrEN 16258:2011 Methodology for calculation and declaration on energy consumptions and GHG emissions in transport services (good and passengers transport). Working Draft. Brussels: 2011.
- [101] VTT. Existing methods and tools for calculation of carbon footprint of transport and logistics. COFRET Deliverable 2.1. 2011.
- [102] ADr Verena Ehrler – DHR, Coordinator COFRET Project. The COFRET – project. An overview. Berlin: 2014.
- [103] European Commission. COFRET project 2014. <http://www.cofret-project.eu/Library-Info/Calculation-Tools/> (accessed November 12, 2015).
- [104] World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), World Resources Institute (WRI). A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised edition. Washington: 2013.
- [105] Martin Schmied. Calculating GHG emissions for freight forwarding and logistics services in accordance with EN 16258. Bern: European Association for Forwarding, Transport, Logistics and Customs Services (CLECAT); 2012.
- [106] Ltd OI. Guidelines for reporting freight greenhous gas emissions 2013:0–108.
- [107] Panteia and Duoinlog. Guide: Allocation of the CO2 emissions- Road Freight Transport. Zoetermeer: 2014.
- [108] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Main 2006;2:12. doi:http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2\_Volume2/V2\_3\_Ch3\_Mobile\_Combustion.pdf.
- [109] Ntziachristos L, Samaras Z. Exhaust emissions from road transport. EMEP/EEA Emiss. Invent. Guideb. 2013. update Sep, Luxembourg: 2014.
- [110] Leonardi J, McKinnon A, Palmer A. Guidance on measuring and reporting Greenhouse Gas (GHG) emissions from freight transport operations. London: DEFRA; 2012.
- [111] World Resources Institute (WRI). GHG protocol tool for mobile combustion Version 2.2 2008.
- [112] ANL-Argonne National Laboratory. GREET 2016 2017.
- [113] Freight Transport Association / Heriot Watt University. Decarbonisation Prediction Model V.1.9 2011.
- [114] IFEU I and I. EcoTransit World. Ecol Transp Inf Tool Worldw Transp 2012. <http://www.ecotransit.org/calculation.en.html> (accessed November 12, 2015).
- [115] Network for Transport Measures. NTM Basic Freight Calculator of Environmental impact. 2015 n.d. <https://www.transportmeasures.org/en/> (accessed November 12, 2015).
- [116] PTV Group UK Limited. PVT Map & Guide 2015. <http://www.mapandguide.com/en/home/> (accessed November 12, 2015).
- [117] Passier G. VERSIT+, TNO state-of-the art road traffic emission model 2009:3.
- [118] World Ports Climate Initiative (WPCI). WPCI Carbon Footprinting Calculator 2011. <http://wpci.iaphworldports.org/carbon-footprinting/index.html> (accessed November 12, 2015).
- [119] Bearingpoint. LogEC logistics Emissions calculator 2013. <http://www.logec.net/en/what-is-logec/> (accessed November 12, 2015).

- [120] EMISIA. COPERT 4 2015.
- [121] Department of Energy & Climate Change. 2014 Government GHG Conversion Factors for Company Reporting : Methodology Paper for Emission Factors. London: 2014.
- [122] Of V-TRC. LIPASTO Traffic emissions 2012. <http://lipasto.vtt.fi/en/index.htm> (accessed November 12, 2015).
- [123] TUG - University of Technology Graz. Update of Emission Factors for EURO 5 and EURO 6 vehicles for the HBEFA Version 3 . 2. vol. 43. Graz: 2013.
- [124] IINAS- International Institute for Sustainability Analysis and Strategy. GEMIS (Global Emissions Model for Integrated Systems) Version 4.94 2015. <http://www.iinas.org/gemis-database-en.html> (accessed November 12, 2015).
- [125] ETH- Institute of Technology Zürich. Ecoinvent LCA database. Ecoinvent v34 2017. <http://www.ecoinvent.org/> (accessed May 22, 2018).
- [126] The Climate Registry. GHG Reporting Database. Report Protoc 2015. <http://www.theclimateregistry.org/tools-resources/reporting-protocols/general-reporting-protocol/> (accessed November 12, 2015).
- [127] Boulter PG, McCrae IS. ARTEMIS : Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems – final report. 2007 2007:350.
- [128] European Environment Agency. Road Transport. Emiss. Invent. Guideb., 2007, p. 1–105.
- [129] Transport Research Laboratory- TRL. Methodology for Calculating Transport Emissions and Energy Consumption. Deliverable 22 for the project MEET. Crowthorne: 1999.
- [130] Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE (JEC collaboration). Well-to-Tank Report Version 4.a. Report EUR. 2014. doi:10.2790/95629.
- [131] Spence A, Marinò R. ECOSTAND Project. D4.2 roadmap & research agenda. 2012.
- [132] EcoTransIT World Initiative. Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports: Methodology and Data Update. 2016.
- [133] Auvinen H, Clausen U, Davydenko I, Diekmann D, Ehrler V, Lewis A. Calculating emissions along supply chains — Towards the global methodological harmonisation. *Res Transp Bus Manag* 2014;12:41–6. doi:10.1016/j.rtbm.2014.06.008.
- [134] Davydenko I, Ehrler V, de Ree D, Lewis A, Tavasszy L. Towards a global CO2 calculation standard for supply chains: Suggestions for methodological improvements. *Transp Res Part D Transp Environ* 2014;32:362–72. doi:10.1016/j.trd.2014.08.023.
- [135] Lewis A, Ehrler V, Auvinen H, Maurer H, Davydenko I, Burmeister A, et al. Harmonising carbon footprint calculation for freight transport chains. *Transp. Res. Arena*, 2014, p. 10.
- [136] Green Efforts. The Green EFFORTS Project 2013. <http://www.green-efforts.eu/> (accessed November 24, 2015).
- [137] ISO. ISO/TS 14072: Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines for Organizational Life Cycle Assessment. Switzerland: International Organization for Standardization; 2014.
- [138] Elkington J. Cannibals with Forks: the Triple Bottom Line of 21st Century Businesses. Gabriola Island, BC: New Society Publishers; 1998. doi:0865713928.
- [139] Ketola T, Salmi T. Sustainability life cycle comparison of biofuels: sewage the saviour? *Manag Environ Qual An Int J* 2010;21:796–811. doi:10.1108/14777831011077655.
- [140] Weidema BP. The integration of economic and social aspects in life cycle impact assessment. *Int J Life Cycle Assess* 2006;11:89–96. doi:10.1065/lca2006.04.016.
- [141] Kloepffer W. Life Cycle Sustainability Assessment of Products (with Comments by Helias A. Udo de Haes, p. 95). *Int J Life Cycle Assess* 2008;13:89–95. doi:http://dx.doi.org/10.1065/lca2008.02.376.
- [142] Andrews ES, Barthel L-P, Tabea B, Benoît C, Ciroth A, Cucuzzella C, et al. Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products. vol. 15. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative; 2009.
- [143] Heijungs R, Huppes G, Guinée JB. Life cycle assessment and sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a scientific framework for sustainability life cycle analysis. *Polym Degrad Stab* 2010;95:422–8. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2009.11.010.
- [144] Finkbeiner M, Schau EM, Lehmann A, Traverso M. Towards life cycle sustainability assessment. *Sustainability* 2010;2:3309–22. doi:10.3390/su2103309.
- [145] Dreyer LC, Hauschild MZ, Schierbeck J. A Framework for Social Life Cycle Impact Assessment. *Int J Life Cycle Assess* 2006;11:88–97. doi:10.1065/lca2005.08.223.
- [146] Jørgensen A, Bocq A Le, Nazarkina L, Hauschild M. Methodologies for Social Life Cycle

- Assessment. *Int J Life Cycle Assess* 2008;13:96–103.  
doi:<http://dx.doi.org/10.1065/lca2007.11.367> Please.
- [147] Blanco JM, Finkbeiner M, Iniba A. *Guidance on Organizational Life Cycle Assessment*. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative; 2015.
- [148] Fava J, Consoli F, Denson R, Dickson K, Mohin T, Vigon B. *A Conceptual Framework for Life-Cycle Impact Assessment*. Work. Report, Soc. Environ. Toxicol. Chem. SETAC Found. Environ. Educ. Inc., Pensacola, FL: 1993.
- [149] Interorganizational Committee on Guidelines and Principles (ICGP). *Guidelines and Principles for Social Impact Assessment*. 1994.
- [150] Alkire S. Dimensions of human development. *World Dev* 2002;30:181–205. doi:10.1016/S0305-750X(01)00109-7.
- [151] Logistics Management Institute (LMI). *Life Cycle Costing in Equipment Procurement*. Report no. LMI task 4C-5. Washington, D.C: 1965.
- [152] Sherif YS, Kolarik WJ. Life cycle costing: Concept and practice. *Omega Int J Manag Sci* 1981;9:287–96. doi:10.1016/0305-0483(81)90035-9.
- [153] Dhillon BS. *Life Cycle Costing For Engineers*. Boca Raton, FL: CRC Press; 2009.
- [154] Swarr TE, Hunkeler D, Klöpffer W, Pesonen H-L, Ciroth A, Brent AC, et al. *Environmental Life Cycle Costing: A Code of Practice*. Pensacola, FL: Society of Environmental Chemistry and Toxicology (SETAC); 2011.
- [155] Swarr TE, Hunkeler D, Klöpffer W, Pesonen HL, Ciroth A, Brent AC, et al. Environmental life-cycle costing: A code of practice. *Int J Life Cycle Assess* 2011;16:389–91. doi:10.1007/s11367-011-0287-5.
- [156] Reich MC. Economic assessment of municipal waste management systems - Case studies using a combination of life cycle assessment (LCA) and life cycle costing (LCC). *J Clean Prod* 2005;13:253–63. doi:10.1016/j.jclepro.2004.02.015.
- [157] Hunkeler D, Lichtenvort K, Rebitzer G. *Environmental Life Cycle Costing*. SETAC, Pensacola, FL (US) in collaboration with CRC Press, Boca Raton, FL, USA; 2008.
- [158] Heijungs R, Settanni E, Guinée J. Toward a computational structure for life cycle sustainability analysis: Unifying LCA and LCC. *Int J Life Cycle Assess* 2013;18:1722–33. doi:10.1007/s11367-012-0461-4.
- [159] Hoogmartens R, Van Passel S, Van Acker K, Dubois M. Bridging the gap between LCA, LCC and CBA as sustainability assessment tools. *Environ Impact Assess Rev* 2014;48:27–33. doi:10.1016/j.eiar.2014.05.001.
- [160] Massarutto A, Carli A de, Graffi M. Material and energy recovery in integrated waste management systems: A life-cycle costing approach. *Waste Manag* 2011;31:2102–11. doi:10.1016/j.wasman.2011.05.017.
- [161] Ciacci L, Morselli L, Passarini F, Santini A, Vassura I. A comparison among different automotive shredder residue treatment processes. *Int J Life Cycle Assess* 2010;15:896–906. doi:10.1007/s11367-010-0222-1.
- [162] Finkbeiner M, Ruhland K, Cetiner H, Binder M, Stark B. Life cycle engineering as a tool for design for environment. *SAE Tech Pap* 2000. doi:10.4271/2000-01-1491.
- [163] Volvo AB. *Environmental Product Declaration: Volvo FH12 and Volvo FM12, Euro 3*. Göteborg: 2001.
- [164] DAF. *Annual Environmental Report*. 2006.
- [165] DAF. *Product Life Cycle 2015*. <http://www.daf.com/en/about-daf/daf-trucks-nv/environment/content/product-life-cycle> (accessed December 8, 2015).
- [166] Partners for Innovation. *LCA Life Cycle Assessment 2015*. <http://www.partnersforinnovation.com/en/expertise/product-innovation/lca-life-cycle-assessment/> (accessed December 10, 2015).
- [167] Scania AB. *Sustainability report 2014*. Södertälje: 2014.
- [168] Nordhall P. *Application of Life Cycle Assessment in the Truck Industry*. Chalmers University of Technology, 2007.
- [169] Volvo AB. *Environmental Product Declaration: Volvo FH12 and Volvo FM12, Euro 3*. Göteborg: 2001.
- [170] Volvo AB. *Life cycle assessment*. Volvo Gr Sustain Rep 2013. <http://www3.volvo.com/investors/finrep/sr13/en/earningtrust/managingourvaluecha/productdevelopment/lifecycleassessment/life-cycle-assessme.html> (accessed December 10, 2015).

- [171] Fiat group. 2009 Sustainability Report. 2009.
- [172] World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. 2011.
- [173] MAN SE. Corporate Responsibility at MAN 2014 – GRI Report. 2014.
- [174] MAN SE. Corporate Responsibility Report 2013. 2013.
- [175] Shonnard DR, Klemetsrud B, Sacramento-Rivero J, Navarro-Pineda F, Hilbert J, Handler R, et al. A Review of Environmental Life Cycle Assessments of Liquid Transportation Biofuels in the Pan American Region. *Environ Manage* 2015;56:1356–76. doi:10.1007/s00267-015-0543-8.
- [176] Ou X, Zhang X, Chang S, Guo Q. Energy consumption and GHG emissions of six biofuel pathways by LCA in China. *Appl Energy* 2009;86:S197–208. doi:10.1016/j.apenergy.2009.04.045.
- [177] Ou X, Zhang X, Chang S. Scenario analysis on alternative fuel/vehicle for China’s future road transport: Life-cycle energy demand and GHG emissions. *Energy Policy* 2010;38:3943–56. doi:10.1016/j.enpol.2010.03.018.
- [178] Ou X, Zhang X. Life-Cycle Analyses of Energy Consumption and GHG Emissions of Natural Gas-Based Alternative Vehicle Fuels in China. *J Energy* 2013;2013:1–8. doi:10.1155/2013/268263.
- [179] Hao H, Geng Y, Li W, Guo B. Energy consumption and GHG emissions from China ’ s freight transport sector : Scenarios through 2050. *Energy Policy* 2015;85:94–101. doi:10.1016/j.enpol.2015.05.016.
- [180] Fredholm S, Marincovic C, Canepa P, Fischer M, Faltenbacher M, Silva N Da. Development of a US Truck Transportation LCI Dataset. *Life Cycle Assess. IX ‘toward Glob. life cycle Econ., Boston: 2009, p. 28.*
- [181] Pierie F, van Someren CEJ, Benders RMJ, Bekkering J, van Gemert WJT, Moll HC. Environmental and energy system analysis of bio-methane production pathways: A comparison between feedstocks and process optimizations. *Appl Energy* 2015;160:456–66. doi:10.1016/j.apenergy.2015.09.066.
- [182] Patterson T, Esteves S, Dinsdale R, Guwy A. Life cycle assessment of biogas infrastructure options on a regional scale. *Bioresour Technol* 2011;102:7313–23. doi:10.1016/j.biortech.2011.04.063.
- [183] Rehl T, Müller J. CO<sub>2</sub> abatement costs of greenhouse gas (GHG) mitigation by different biogas conversion pathways. *J Environ Manage* 2013;114:13–25. doi:10.1016/j.jenvman.2012.10.049.
- [184] Poeschl M, Ward S, Owende P. Environmental impacts of biogas deployment - Part II: Life Cycle Assessment of multiple production and utilization pathways. *J Clean Prod* 2012;24:184–201. doi:10.1016/j.jclepro.2011.10.030.
- [185] Beylot A, Villeneuve J, Bellenfant G. Life Cycle Assessment of landfill biogas management: Sensitivity to diffuse and combustion air emissions. *Waste Manag* 2013;33:401–11. doi:10.1016/j.wasman.2012.08.017.
- [186] Langlois J, Sassi J-F, Jard G, Steyer J-P, Delgenes J-P, Hélias A. Life cycle assessment of biomethane from offshore-cultivated seaweed. *Biofuels, Bioprod Biorefining* 2012;6:387–404. doi:10.1002/bbb.1330.
- [187] Styles D, Gibbons J, Williams AP, Dauber J, Stichnothe H, Urban B, et al. Consequential life cycle assessment of biogas, biofuel and biomass energy options within an arable crop rotation. *GCB Bioenergy* 2015;7:1305–20. doi:10.1111/gcbb.12246.
- [188] Poeschl M, Ward S, Owende P. Environmental impacts of biogas deployment - Part I: Life Cycle Inventory for evaluation of production process emissions to air. *J Clean Prod* 2012;24:168–83. doi:10.1016/j.jclepro.2011.10.039.
- [189] Bio Intelligence Service. Life cycle analysis of biogas generated by energy crops. 2011.
- [190] AEA group. Feasibility Study for a Road Vehicle Biomethane Demonstration Project. Didcot: 2014. doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2.
- [191] Ahmadi Moghaddam E, Ahlgren S, Hulteberg C, Nordberg A ke. Energy balance and global warming potential of biogas-based fuels from a life cycle perspective. *Fuel Process Technol* 2015;132:74–82. doi:10.1016/j.fuproc.2014.12.014.
- [192] Lacour S, Chinese T, Alkadee D, Perilhon C, Descombes G. Energy and environmental balance of biogas for dual-fuel mobile applications. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16:1745–53. doi:10.1016/j.rser.2011.11.029.
- [193] Hansupalak N, Piromkraipak P, Tamthirat P, Manitsorasak A, Sriroth K, Tran T. Biogas reduces the carbon footprint of cassava starch: a comparative assessment with fuel oil. *J Clean Prod* 2015. doi:10.1016/j.jclepro.2015.06.138.

- [194] Uusitalo V, Soukka R, Horttanainen M, Niskanen a., Havukainen J. Economics and greenhouse gas balance of biogas use systems in the Finnish transportation sector. *Renew Energy* 2013;51:132–40. doi:10.1016/j.renene.2012.09.002.
- [195] Carnevale E, Lombardi L. Comparison of different possibilities for biogas use by Life Cycle Assessment. *Energy Procedia* 2015;81:215–26. doi:10.1016/j.egypro.2015.12.088.
- [196] Jeswani HK, Falano T, Azapagic A. Life cycle environmental sustainability of lignocellulosic ethanol produced in integrated thermo-chemical biorefineries. *Biofuels, Bioprod Biorefining* 2015;9:661–76. doi:10.1002/bbb.1558.
- [197] Whitaker J, Ludley KE, Rowe R, Taylor G, Howard DC. Sources of variability in greenhouse gas and energy balances for biofuel production: A systematic review. *GCB Bioenergy* 2010;2:99–112. doi:10.1111/j.1757-1707.2010.01047.x.
- [198] Rettenmaier N, Köppen S, Gärtner SO, Reinhardt GA. Life cycle assessment of selected future energy crops for Europe. *Biofuels, Bioprod Biorefining* 2010;4:620–36. doi:10.1002/bbb.245.
- [199] Manik Y, Halog A. A Meta-Analytic Review of Life Cycle Assessment and Flow Analyses Studies of Palm Oil Biodiesel. *Integr Environ Assess Manag* 2012;9:134–41. doi:10.1002/ieam.2012-024-OR.R1(1362)Notably.
- [200] Liska AJ, Yang HS, Bremer VR, Klopfenstein TJ, Walters DT, Erickson GE, et al. Improvements in life cycle energy efficiency and greenhouse gas emissions of corn-ethanol. *J Ind Ecol* 2009;13:58–74. doi:10.1111/j.1530-9290.2008.00105.x.
- [201] Curran M a. Assessing environmental impacts of biofuels using lifecycle-based approaches. *Manag Environ Qual* 2012;24:34–52. doi:10.1108/14777831311291122.
- [202] Ebner J, Babbitt C, Winer M, Hilton B, Williamson A. Life cycle greenhouse gas (GHG) impacts of a novel process for converting food waste to ethanol and co-products. *Appl Energy* 2014;130:86–93. doi:10.1016/j.apenergy.2014.04.099.
- [203] Wang L, Littlewood J, Murphy RJ. Environmental sustainability of bioethanol production from wheat straw in the UK. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;28:715–25. doi:DOI 10.1016/j.rser.2013.08.031.
- [204] Broch A, Hoekman SK, Unnasch S. A review of variability in indirect land use change assessment and modeling in biofuel policy. *Environ Sci Policy* 2013;29:147–57. doi:10.1016/j.envsci.2013.02.002.
- [205] Hsu DD. Life cycle assessment of gasoline and diesel produced via fast pyrolysis and hydroprocessing. *Biomass and Bioenergy* 2012;45:41–7. doi:10.1016/j.biombioe.2012.05.019.
- [206] Daystar J, Reeb C, Gonzalez R, Venditti R, Kelley SS. Environmental life cycle impacts of cellulosic ethanol in the Southern U.S. produced from loblolly pine, eucalyptus, unmanaged hardwoods, forest residues, and switchgrass using a thermochemical conversion pathway. *Fuel Process Technol* 2015;138:164–74. doi:10.1016/j.fuproc.2015.04.019.
- [207] González-García S, Luo L, Moreira MT, Feijoo G, Huppes G. Life cycle assessment of flax shives derived second generation ethanol fueled automobiles in Spain. *Renew Sustain Energy Rev* 2009;13:1922–33. doi:10.1016/j.rser.2009.02.003.
- [208] Yu S, Tao J. Economic, energy and environmental evaluations of biomass-based fuel ethanol projects based on life cycle assessment and simulation. *Appl Energy* 2009;86:178–88. doi:10.1016/j.apenergy.2009.04.016.
- [209] Stichnothe H, Azapagic A. Bioethanol from waste: Life cycle estimation of the greenhouse gas saving potential. *Resour Conserv Recycl* 2009;53:624–30. doi:10.1016/j.resconrec.2009.04.012.
- [210] Verbeek R, Verbeek M, Energie S, Nederland D. LNG for trucks and ships : fact analysis Review of pollutant and GHG emissions Final. Delft: 2015.
- [211] J. Y, T. A, K. N, K. Y, S.-I. S. Life cycle assessment of hydrogenated biodiesel production from waste cooking oil using the catalytic cracking and hydrogenation method. *Waste Manag* 2015;38:409–23.
- [212] Chatterjee R, Sharma V, Mukherjee S, Kumar S. Life Cycle Assessment of Bio-diesel Production— A Comparative Analysis. *J Inst Eng Ser C* 2014;95:143–9. doi:10.1007/s40032-014-0105-5.
- [213] Melamu R, Von Blottnitz H. 2nd Generation biofuels a sure bet? A life cycle assessment of how things could go wrong. *J Clean Prod* 2011;19:138–44. doi:10.1016/j.jclepro.2010.08.021.
- [214] Silalertruksa T, Gheewala SH. A comparative LCA of rice straw utilization for fuels and fertilizer in Thailand. *Bioresour Technol* 2013;150:412–9. doi:10.1016/j.biortech.2013.09.015.
- [215] Siregar K, Tambunan AH, Irwanto AK, Wirawan SS, Araki T. A Comparison of Life Cycle Assessment on Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) and Physic Nut (*Jatropha curcas* Linn.) as

- Feedstock for Biodiesel Production in Indonesia. *Energy Procedia* 2015;65:170–9. doi:10.1016/j.egypro.2015.01.054.
- [216] Scacchi CCO, González-García S, Caserini S, Rigamonti L. Greenhouse gases emissions and energy use of wheat grain-based bioethanol fuel blends. *Sci Total Environ* 2010;408:5010–8. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.07.046.
- [217] Garba NA, Duckers LJ, Hall WJ. Climate change impacts on life cycle greenhouse gas (GHG) emissions savings of biomethanol from corn and soybean. *Int J Life Cycle Assess* 2014;19:806–13. doi:10.1007/s11367-013-0680-3.
- [218] Sinistore JC, Reinemann DJ, Izaurralde RC, Cronin KR, Meier PJ, Runge TM, et al. Life Cycle Assessment of Switchgrass Cellulosic Ethanol Production in the Wisconsin and Michigan Agricultural Contexts. *Bioenergy Res* 2015;8:897–909. doi:10.1007/s12155-015-9611-4.
- [219] El-Halwagi MM, Chouinard-Dussault P, Bradt L, Ponce-Ortega JM. Incorporation of process integration into life cycle analysis for the production of biofuels. *Clean Technol Environ Policy* 2011;13:673–85. doi:10.1007/s10098-010-0339-8.
- [220] Lee Chang KJ, Rye L, Dunstan GA, Grant T, Koutoulis A, Nichols PD, et al. Life cycle assessment: heterotrophic cultivation of thraustochytrids for biodiesel production. *J Appl Phycol* 2015;27:639–47. doi:10.1007/s10811-014-0364-9.
- [221] Larson ED. A review of life-cycle analysis studies on liquid biofuel systems for the transport sector. *Energy Sustain Dev* 2006;10:109–26. doi:10.1016/S0973-0826(08)60536-0.
- [222] Halleux H, Lassaux S, Renzoni R, Germain A. Comparative life cycle assessment of two biofuels ethanol from sugar beet and rapeseed methyl ester. *Int J Life Cycle Assess* 2008;13:184–90. doi:DOI 10.1065/lca2008.03.382.
- [223] Bai Y, Luo L, Van Der Voet E. Life cycle assessment of switchgrass-derived ethanol as transport fuel. *Int J Life Cycle Assess* 2010;15:468–77. doi:10.1007/s11367-010-0177-2.
- [224] Tsiropoulos I, Faaij APC, Seabra JEA, Lundquist L, Schenker U, Briois JF, et al. Life cycle assessment of sugarcane ethanol production in India in comparison to Brazil. *Int J Life Cycle Assess* 2014;19:1049–67. doi:10.1007/s11367-014-0714-5.
- [225] Mandade P, Bakshi BR, Yadav GD. Ethanol from Indian agro-industrial lignocellulosic biomass—a life cycle evaluation of energy, greenhouse gases, land and water. *Int J Life Cycle Assess* 2015;20:1649–58. doi:10.1007/s11367-015-0966-8.
- [226] Arpornpong N, Sabatini DA, Khaodhiar S, Charoensaeng A. Life cycle assessment of palm oil microemulsion-based biofuel. *Int J Life Cycle Assess* 2015;20:913–26. doi:10.1007/s11367-015-0888-5.
- [227] Cai H, Dunn JB, Wang Z, Han J, Wang MQ. Life-cycle energy use and greenhouse gas emissions of production of bioethanol from sorghum in the United States. *Biotechnol Biofuels* 2013;6:141. doi:10.1186/1754-6834-6-141.
- [228] Amores MJ, Mele FD, Jimenez L, Castells F. Life cycle assessment of fuel ethanol from sugarcane in Argentina. *Int J Life Cycle Assess* 2013;18:1344–57. doi:10.1007/s11367-013-0584-2.
- [229] Yusoff S, Hansen SB. Feasibility Study of Performing an Life Cycle Assessment on Crude Palm Oil Production in Malaysia. *Int J LCA* 2007;12:50–8.
- [230] Nguyen TLT, Gheewala SH. Life cycle assessment of fuel ethanol from cassava in Thailand. *Int J Life Cycle Assess* 2008;13:147–54. doi:10.1065/lca2007.06.343.
- [231] Palma-Rojas S, Caldeira-Pires A, Nogueira JM. Environmental and economic hybrid life cycle assessment of bagasse-derived ethanol produced in Brazil. *Int J Life Cycle Assess* 2015. doi:10.1007/s11367-015-0892-9.
- [232] Hammond GP, Kallu S, McManus MC. Development of biofuels for the UK automotive market. *Appl Energy* 2008;85:506–15. doi:10.1016/j.apenergy.2007.09.005.
- [233] Fu GZ, Chan AW, Minns DE. Life Cycle assessment of bio-ethanol derived from cellulose. *Int J Life Cycle Assess* 2003;8:137–41. doi:10.1007/BF02978458.
- [234] Panichelli L, Dauriat A, Gnansounou E. Life cycle assessment of soybean-based biodiesel in Argentina for export. *Int J Life Cycle Assess* 2009;14:144–59. doi:10.1007/s11367-008-0050-8.
- [235] González-García S, García-Rey D, Hospido A. Environmental life cycle assessment for rapeseed-derived biodiesel. *Int J Life Cycle Assess* 2012;18:61–76. doi:10.1007/s11367-012-0444-5.
- [236] Harto C, Meyers R, Williams E. Life cycle water use of low-carbon transport fuels. *Energy Policy* 2010;38:4933–44. doi:10.1016/j.enpol.2010.03.074.
- [237] Eshton B, Katima JHY, Kituyi E. Greenhouse gas emissions and energy balances of jatropha

- biodiesel as an alternative fuel in Tanzania. *Biomass and Bioenergy* 2013;58:95–103. doi:10.1016/j.biombioe.2013.08.020.
- [238] Lechón Y, Cabal H, de la Rúa C, Caldés N, Santamaría M, Sáez R. Energy and greenhouse gas emission savings of biofuels in Spain's transport fuel. The adoption of the EU policy on biofuels. *Biomass and Bioenergy* 2009;33:920–32. doi:10.1016/j.biombioe.2009.02.001.
- [239] Kadam K. Environmental life cycle implications of using bagasse-derived ethanol as a gasoline oxygenate in Mumbai (Bombay) 2000;30:79.
- [240] Iribarren D, Peters JF, Dufour J. Life cycle assessment of transportation fuels from biomass pyrolysis. *Fuel* 2012;97:812–21. doi:10.1016/j.fuel.2012.02.053.
- [241] González-García S, Gasol CM, Gabarrell X, Rieradevall J, Moreira MT, Feijoo G. Environmental profile of ethanol from poplar biomass as transport fuel in Southern Europe. *Renew Energy* 2010;35:1014–23. doi:10.1016/j.renene.2009.10.029.
- [242] Neupane B, Halog A, Lilieholm RJ. Environmental sustainability of wood-derived ethanol: A life cycle evaluation of resource intensity and emissions in Maine, USA. *J Clean Prod* 2013;44:77–84. doi:10.1016/j.jclepro.2012.11.039.
- [243] Higo M, Dowaki K. A Life Cycle Analysis on a Bio-DME production system considering the species of biomass feedstock in Japan and Papua New Guinea. *Appl Energy* 2010;87:58–67. doi:10.1016/j.apenergy.2009.08.030.
- [244] Yee KF, Tan KT, Abdullah AZ, Lee KT. Life cycle assessment of palm biodiesel: Revealing facts and benefits for sustainability. *Appl Energy* 2009;86. doi:10.1016/j.apenergy.2009.04.014.
- [245] Kaltschmitt M, Reinhardt GA, Stelzer T. Life cycle analysis of biofuels under different environmental aspects 1997;12:121–34.
- [246] Hou J, Zhang P, Yuan X, Zheng Y. Life cycle assessment of biodiesel from soybean, jatropha and microalgae in China conditions. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:5081–91. doi:10.1016/j.rser.2011.07.048.
- [247] Kaliyan N, Morey RV, Tiffany DG. Reducing life cycle greenhouse gas emissions of corn ethanol by integrating biomass to produce heat and power at ethanol plants. *Biomass and Bioenergy* 2011;35:1103–13. doi:10.1016/j.biombioe.2010.11.035.
- [248] González-García S, Moreira MT, Feijoo G, Murphy RJ. Comparative life cycle assessment of ethanol production from fast-growing wood crops (black locust, eucalyptus and poplar). *Biomass and Bioenergy* 2012;39:378–88. doi:10.1016/j.biombioe.2012.01.028.
- [249] von Blottnitz H, Curran MA. A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. *J Clean Prod* 2007;15:607–19. doi:10.1016/j.jclepro.2006.03.002.
- [250] Silalertruksa T, Gheewala SH. Environmental sustainability assessment of bio-ethanol production in Thailand. *Energy* 2009;34:1933–46. doi:10.1016/j.energy.2009.08.002.
- [251] Kiwjaroun C, Tubtimdee C, Piumsomboon P. LCA studies comparing biodiesel synthesized by conventional and supercritical methanol methods. *J Clean Prod* 2009;17:143–53. doi:10.1016/j.jclepro.2008.03.011.
- [252] Hu Z, Pu G, Fang F, Wang C. Economics, environment, and energy life cycle assessment of automobiles fueled by bio-ethanol blends in China. *Renew Energy* 2004;29:2183–92. doi:10.1016/j.renene.2004.03.014.
- [253] Sawangkeaw R, Teeravitud S, Piumsomboon P, Ngamprasertsith S. Biofuel production from crude palm oil with supercritical alcohols: Comparative LCA studies. *Bioresour Technol* 2012;120:6–12. doi:10.1016/j.biortech.2012.06.014.
- [254] Luo L, van der Voet E, Huppés G. Life cycle assessment and life cycle costing of bioethanol from sugarcane in Brazil. *Renew Sustain Energy Rev* 2009;13:1613–9. doi:10.1016/j.rser.2008.09.024.
- [255] Tokunaga K, Konan DE. Home grown or imported? Biofuels life cycle GHG emissions in electricity generation and transportation. *Appl Energy* 2014;125:123–31. doi:10.1016/j.apenergy.2014.03.026.
- [256] González-García S, Moreira MT, Feijoo G. Comparative environmental performance of lignocellulosic ethanol from different feedstocks. *Renew Sustain Energy Rev* 2010;14:2077–85. doi:10.1016/j.rser.2010.03.035.
- [257] Krohn BJ, Fripp M. A life cycle assessment of biodiesel derived from the “niche filling” energy crop camelina in the USA. *Appl Energy* 2012;92:92–8. doi:10.1016/j.apenergy.2011.10.025.
- [258] Morales M, Quintero J, Conejeros R, Aroca G. Life cycle assessment of lignocellulosic bioethanol: Environmental impacts and energy balance. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;42:1349–61.

- doi:10.1016/j.rser.2014.10.097.
- [259] Sanz Requena JF, Guimaraes AC, Quir??s Alpera S, Relea Gangas E, Hernandez-Navarro S, Navas Gracia LM, et al. Life Cycle Assessment (LCA) of the biofuel production process from sunflower oil, rapeseed oil and soybean oil. *Fuel Process Technol* 2011;92:190–9. doi:10.1016/j.fuproc.2010.03.004.
- [260] Soam S, Kumar R, Gupta RP, Sharma PK, Tuli DK, Das B. Life cycle assessment of fuel ethanol from sugarcane molasses innorthern and western India and its impact on Indian biofuel programme. *Energy* 2015;83:307–15. doi:10.1016/j.energy.2015.02.025.
- [261] Wiloso EI, Heijungs R, De Snoo GR. LCA of second generation bioethanol: A review and some issues to be resolved for good LCA practice. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16:5295–308. doi:10.1016/j.rser.2012.04.035.
- [262] González-garcía S, Teresa M, Feijoo G. Environmental aspects of eucalyptus based ethanol production and use. *Sci Total Environ* 2012;438:1–8. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.07.044.
- [263] Farrell S, Cavanagh E. An introduction to life cycle assessment with hands-on experiments for biodiesel production and use. *Educ Chem Eng* 2014;9:67–76. doi:10.1016/j.ece.2014.04.003.
- [264] Davis SC, Anderson-Teixeira KJ, DeLucia EH. Life-cycle analysis and the ecology of biofuels. *Trends Plant Sci* 2009;14:140–6. doi:10.1016/j.tplants.2008.12.006.
- [265] Varanda MG, Pinto G, Martins F. Life cycle analysis of biodiesel production. *Fuel Process Technol* 2011;92:1087–94. doi:10.1016/j.fuproc.2011.01.003.
- [266] Kendall A, Yuan J. Comparing life cycle assessments of different biofuel options. *Curr Opin Chem Biol* 2013;17:439–43. doi:10.1016/j.cbpa.2013.02.020.
- [267] González-García S, Gasol CM, Gabarrell X, Rieradevall J, Moreira MT, Feijoo G. Environmental aspects of ethanol-based fuels from *Brassica carinata*: A case study of second generation ethanol. *Renew Sustain Energy Rev* 2009;13:2613–20. doi:10.1016/j.rser.2009.06.004.
- [268] Zhang L, Huang Z. Life cycle study of coal-based dimethyl ether as vehicle fuel for urban bus in China. *Energy* 2007;32:1896–904. doi:10.1016/j.energy.2007.01.009.
- [269] Nanaki EA, Koroneos CJ. Comparative LCA of the use of biodiesel, diesel and gasoline for transportation. *J Clean Prod* 2012;20:14–9. doi:10.1016/j.jclepro.2011.07.026.
- [270] Kauffman N, Hayes D, Brown R. A life cycle assessment of advanced biofuel production from a hectare of corn. *Fuel* 2011;90:3306–14. doi:10.1016/j.fuel.2011.06.031.
- [271] Lin J, Babbitt CW, Trabold TA. Bioresource Technology Life cycle assessment integrated with thermodynamic analysis of bio-fuel options for solid oxide fuel cells. *Bioresour Technol* 2013;128:495–504. doi:10.1016/j.biortech.2012.10.074.
- [272] Li X, Mupondwa E. Life cycle assessment of camelina oil derived biodiesel and jet fuel in the Canadian Prairies. *Sci Total Environ* 2014;481:17–26. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.02.003.
- [273] Nguyen TLT, Gheewala SH, Garivait S. Energy balance and GHG-abatement cost of cassava utilization for fuel ethanol in Thailand. *Energy Policy* 2007;35:4585–96. doi:10.1016/j.enpol.2007.03.012.
- [274] Gnansounou E, Dauriat A, Villegas J, Panichelli L. Life cycle assessment of biofuels: Energy and greenhouse gas balances. *Bioresour Technol* 2009;100:4919–30. doi:10.1016/j.biortech.2009.05.067.
- [275] Arvidsson R, Persson S, Fr??ling M, Svanstr??m M. Life cycle assessment of hydrotreated vegetable oil from rape, oil palm and *Jatropha*. *J Clean Prod* 2011;19:129–37. doi:10.1016/j.jclepro.2010.02.008.
- [276] Mata TM, Martins AA, Sikdar SK, Costa CA V. Sustainability considerations of biodiesel based on supply chain analysis. *Clean Technol Environ Policy* 2011;13:655–71. doi:10.1007/s10098-010-0346-9.
- [277] Zhu JY, Zhuang XS. Conceptual net energy output for biofuel production from lignocellulosic biomass through biorefining. *Prog Energy Combust Sci* 2012;38:583–98. doi:10.1016/j.pecs.2012.03.007.
- [278] Sobrino FH, Monroy CR, P??rez JLH. Biofuels and fossil fuels: Life Cycle Analysis (LCA) optimisation through productive resources maximisation. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:2621–8. doi:10.1016/j.rser.2011.03.010.
- [279] Borrion AL, McManus MC, Hammond GP. Environmental life cycle assessment of lignocellulosic conversion to ethanol: A review. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16:4638–50. doi:10.1016/j.rser.2012.04.016.

- [280] Pereira S, Seabra JEA. Environmental benefits of the integrated production of ethanol and biodiesel. *Appl Energy* 2013;102:5–12. doi:10.1016/j.apenergy.2012.09.016.
- [281] Spinelli D, Jez S, Pogni R, Basosi R. Environmental and life cycle analysis of a biodiesel production line from sun flower in the Province of Siena ( Italy ). *Energy Policy* 2013;59:492–506. doi:10.1016/j.enpol.2013.04.009.
- [282] Humpenöder F, Schaldach R, Cikovani Y, Schebek L. Effects of land-use change on the carbon balance of 1st generation biofuels : An analysis for the European Union combining spatial modeling and LCA Introduction. *Biomass and Bioenergy* 2013;56:166–78. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.05.003.
- [283] Hagman J, Nerentorp M, Arvidsson R, Molander S. Do biofuels require more water than do fossil fuels? Life cycle-based assessment of jatropha oil production in rural Mozambique. *J Clean Prod* 2013;53:176–85. doi:10.1016/j.jclepro.2013.03.039.
- [284] Malça J, Coelho A, Freire F. Environmental life-cycle assessment of rapeseed-based biodiesel: Alternative cultivation systems and locations. *Appl Energy* 2014;114:837–44. doi:10.1016/j.apenergy.2013.06.048.
- [285] Bernesson S, Nilsson D, Hansson PA. A limited LCA comparing large- and small-scale production of ethanol for heavy engines under Swedish conditions. *Biomass and Bioenergy* 2006;30:46–57. doi:10.1016/j.biombioe.2005.10.002.
- [286] Souza SP, Seabra JEA. Integrated production of sugarcane ethanol and soybean biodiesel: Environmental and economic implications of fossil diesel displacement. *Energy Convers Manag* 2014;87:1170–9. doi:10.1016/j.enconman.2014.06.015.
- [287] Falano T, Jeswani HK, Azapagic A. Assessing the environmental sustainability of ethanol from integrated biorefineries. *Biotechnol J* 2014;9:753–65. doi:10.1002/biot.201300246.
- [288] Quintero JA, Montoya MI, Sánchez OJ, Giraldo OH, Cardona CA. Fuel ethanol production from sugarcane and corn: Comparative analysis for a Colombian case. *Energy* 2008;33:385–99. doi:10.1016/j.energy.2007.10.001.
- [289] Prapasongsa T, Gheewala SH. Risks of indirect land use impacts and greenhouse gas consequences: an assessment of Thailand’s bioethanol policy. *J Clean Prod* 2015:1–11. doi:10.1016/j.jclepro.2015.05.091.
- [290] Murphy CW, Kendall A. Life cycle analysis of biochemical cellulosic ethanol under multiple scenarios. *GCB Bioenergy* 2015;7:n/a-n/a. doi:10.1111/gcbb.12204.
- [291] González-García S, Moreira MT, Feijoo G. Environmental performance of lignocellulosic bioethanol production from Alfalfa stems. *Biofuels, Bioprod Biorefining* 2010;4:118–31. doi:10.1002/bbb.204.
- [292] Jäppinen E, Korpinen OJ, Ranta T. GHG emissions of forest-biomass supply chains to commercial-scale liquid-biofuel production plants in Finland. *GCB Bioenergy* 2014;6:290–9. doi:10.1111/gcbb.12048.
- [293] Brehmer B, Sanders J. Assessing the current Brazilian sugarcane industry and directing developments for maximum fossil fuel mitigation for the international petrochemical market. *Biofuels, Bioprod Biorefining* 2009;3:347–60. doi:10.1002/bbb.145.
- [294] Sheehan J, Aden A, Paustian K, Brenner J, Walsh M, Nelson R. Energy and Environmental Aspects of Using Corn Stover for Fuel Ethanol. *J Ind Ecol* 2004;7:117–46. doi:10.1162/108819803323059433.
- [295] Mittelbach M. Fuels from oils and fats: Recent developments and perspectives. *Eur J Lipid Sci Technol* 2015;117:1832–46. doi:10.1002/ejlt.201500125.
- [296] Kalnes TN, Koers KP, Marker T, Shonnard DR. A techno-economic and environmental life cycle comparison of green diesel to biodiesel and syndiesel. *Environ Prog Sustain Energy* 2009;28:111–20. doi:10.1002/ep.10319.
- [297] Brehmer B, Sanders J. Implementing an energetic life cycle analysis to prove the benefits of lignocellulosic feedstocks with protein separation for the chemical industry from the existing bioethanol industry. *Biotechnol Bioeng* 2009;102:767–77. doi:10.1002/bit.22091.
- [298] Kirkinen J, Soimakallio S, Mäkinen T, Savolainen I. Greenhouse impact assessment of peat-based Fischer–Tropsch diesel life-cycle. *Energy Policy* 2010;38:301–11. doi:10.1016/j.enpol.2009.09.019.
- [299] Menten F, Chèze B, Patouillard L, Bouvart F. A review of LCA greenhouse gas emissions results for advanced biofuels: The use of meta-regression analysis. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;26:108–34. doi:10.1016/j.rser.2013.04.021.

- [300] Swain PK, Das LM, Naik SN. Biomass to liquid: A prospective challenge to research and development in 21st century. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:4917–33. doi:10.1016/j.rser.2011.07.061.
- [301] Menten FM, Tchung-ming S, Lorne D, Bouvart F. Lessons from the use of a long-term energy model for consequential life cycle assessment : the BTL case. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;43:942–60. doi:10.1016/j.rser.2014.11.072.
- [302] Sunde K, Brekke A, Solberg B. Environmental impacts and costs of woody Biomass-to-Liquid (BTL) production and use — A review. *For Policy Econ* 2011;13:591–602. doi:10.1016/j.forpol.2011.05.008.
- [303] Renó MLG, Lora EES, Palacio JCE, Venturini OJ, Buchgeister J, Almazan O. A LCA (life cycle assessment) of the methanol production from sugarcane bagasse. *Energy* 2011;36:3716–26. doi:10.1016/j.energy.2010.12.010.
- [304] Hao H, Wang H, Song L, Li X, Ouyang M. Energy consumption and GHG emissions of GTL fuel by LCA: Results from eight demonstration transit buses in Beijing. *Appl Energy* 2010;87:3212–7. doi:10.1016/j.apenergy.2010.03.029.
- [305] Ou X, Zhang X, Zhang Q, Zhang X. Life-cycle analysis of energy use and greenhouse gas emissions of gas-to-liquid fuel pathway from steel mill off-gas in China by the LanzaTech process. *Front Energy* 2013;7:263–70. doi:10.1007/s11708-013-0263-9.
- [306] Tomaschek J, Özdemir ED, Fahl U, Eltrop L. Greenhouse gas emissions and abatement costs of biofuel production in South Africa. *GCB Bioenergy* 2012;4:799–810. doi:10.1111/j.1757-1707.2011.01154.x.
- [307] Quinn JC, Davis R. The potentials and challenges of algae based biofuels: A review of the techno-economic, life cycle, and resource assessment modeling. *Bioresour Technol* 2015;184:444–52. doi:10.1016/j.biortech.2014.10.075.
- [308] Collet P, Hélias Arnaud A, Lardon L, Ras M, Goy RA, Steyer JP. Life-cycle assessment of microalgae culture coupled to biogas production. *Bioresour Technol* 2011;102:207–14. doi:10.1016/j.biortech.2010.06.154.
- [309] Singh A, Olsen SI. A critical review of biochemical conversion, sustainability and life cycle assessment of algal biofuels. *Appl Energy* 2011;88:3548–55. doi:10.1016/j.apenergy.2010.12.012.
- [310] Aitken D, Bulboa C, Godoy-Faundez A, Turrion-Gomez JL, Antizar-Ladislao B. Life cycle assessment of macroalgae cultivation and processing for biofuel production. *J Clean Prod* 2014;75:45–56. doi:10.1016/j.jclepro.2014.03.080.
- [311] Dassey AJ, Hall SG, Theegala CS. An analysis of energy consumption for algal biodiesel production: Comparing the literature with current estimates. *Algal Res* 2014;4:89–95. doi:10.1016/j.algal.2013.12.006.
- [312] Liu J, Ma X. The analysis on energy and environmental impacts of microalgae-based fuel methanol in China. *Energy Policy* 2009;37:1479–88. doi:10.1016/j.enpol.2008.12.010.
- [313] Soratana K, Khanna V, Landis AE. Re-envisioning the renewable fuel standard to minimize unintended consequences: A comparison of microalgal diesel with other biodiesels. *Appl Energy* 2013;112:194–204. doi:10.1016/j.apenergy.2013.05.082.
- [314] Slade R, Bauen A. Micro-algae cultivation for biofuels: cost, energy balance, environmental impacts and future prospects. *Biomass and Bioenergy* 2013;3.
- [315] Collet P, Hélias A, Lardon L, Steyer JP, Bernard O. Recommendations for Life Cycle Assessment of algal fuels. *Appl Energy* 2015;154:1089–102. doi:10.1016/j.apenergy.2015.03.056.
- [316] Brockmann D, Pradinaud C, Champenois J, Benoit M, Hélias A. Environmental assessment of bioethanol from onshore grown green seaweed. *Biofuels, Bioprod Biorefining* 2015;9:696–708. doi:10.1002/bbb.1577.
- [317] Yuan J, Kendall A, Zhang Y. Mass balance and life cycle assessment of biodiesel from microalgae incorporated with nutrient recycling options and technology uncertainties. *GCB Bioenergy* 2015;7:1245–59. doi:10.1111/gcbb.12229.
- [318] Adesanya VO, Cadena E, Scott SA, Smith AG. Life cycle assessment on microalgal biodiesel production using a hybrid cultivation system. *Bioresour Technol* 2014;163:343–55. doi:10.1016/j.biortech.2014.04.051.
- [319] Lardon L. Life Cycle Assessment of energy production from microalgae. *Ecotech Sudoe* 2011;86.
- [320] Campbell PK, Beer T, Batten D. Life cycle assessment of biodiesel production from microalgae in ponds. *Bioresour Technol* 2011;102:50–6. doi:10.1016/j.biortech.2010.06.048.

- [321] Collet P, Lardon L, Hélias A, Bricout S, Lombaert-Valot I, Perrier B, et al. Biodiesel from microalgae—Life cycle assessment and recommendations for potential improvements. *Renew Energy* 2014;71:525–33.
- [322] Passell H, Dhaliwal H, Reno M, Wu B, Ben Amotz A, Ivry E, et al. Algae biodiesel life cycle assessment using current commercial data. *J Environ Manage* 2013;129:103–11. doi:10.1016/j.jenvman.2013.06.055.
- [323] Zaimes GG, Khanna V. Microalgal biomass production pathways: evaluation of life cycle environmental impacts. *Biotechnol Biofuels* 2013;6:88. doi:10.1186/1754-6834-6-88.
- [324] Sander K, Murthy GS. Life cycle analysis of algae biodiesel. *Int J Life Cycle Assess* 2010;15:704–14. doi:10.1007/s11367-010-0194-1.
- [325] Khoo HH, Sharratt PN, Das P, Balasubramanian RK, Naraharisetti PK, Shaik S. Life cycle energy and CO<sub>2</sub> analysis of microalgae-to-biodiesel: Preliminary results and comparisons. *Bioresour Technol* 2011;102:5800–7. doi:10.1016/j.biortech.2011.02.055.
- [326] Ou X, Zhang X, Chang S. Alternative fuel buses currently in use in China: Life-cycle fossil energy use, GHG emissions and policy recommendations. *Energy Policy* 2010;38:406–18. doi:10.1016/j.enpol.2009.09.031.
- [327] Rose L, Hussain M, Ahmed S, Malek K, Costanzo R, Kjeang E. A comparative life cycle assessment of diesel and compressed natural gas powered refuse collection vehicles in a Canadian city. *Energy Policy* 2013;52:453–61. doi:10.1016/j.enpol.2012.09.064.
- [328] Shahraeeni M, Ahmed S, Malek K, Van Drimmelen B, Kjeang E. Life cycle emissions and cost of transportation systems: Case study on diesel and natural gas for light duty trucks in municipal fleet operations. *J Nat Gas Sci Eng* 2015;24:26–34. doi:10.1016/j.jngse.2015.03.009.
- [329] Garc??a S??nchez JA, L??pez Mart??nez JM, Lumbreras Mart??n J, Flores Holgado MN. Comparison of Life Cycle energy consumption and GHG emissions of natural gas, biodiesel and diesel buses of the Madrid transportation system. *Energy* 2012;47:174–98. doi:10.1016/j.energy.2012.09.052.
- [330] Hossein M, Ashnani M, Miremadi T, Johari A. Environmental impact of alternative fuels and vehicle technologies : A Life Cycle Assessment perspective. *Procedia Environ Sci* 2015;30:205–10. doi:10.1016/j.proenv.2015.10.037.
- [331] CARB-California Air Resource Board. Comparison of greenhouse gas emissions from natural gas and diesel vehicles. Report 08/10/2008 n.d.:1–8.
- [332] DLR, IFEU, LBST, DBFZ. LNG as an alternative fuel for the operation of ships and heavy-duty vehicles: Short study in the context of the National Mobility and Fuel Strategy. Munich: 2014.
- [333] ANL. The Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation Model 2014. <https://greet.es.anl.gov/> (accessed May 20, 2015).
- [334] DENA. LNG in Germany : Liquefied Natural Gas and Renewable Methane in Heavy-Duty Road Transport. Aschersleben: German Energy Agency; 2014.
- [335] Rosenfeld J, Jackson MD. Life-Cycle Cost Model and Pollutant Emissions Estimator. Report prepared for Westport Innovations Inc. & TIAX LLC 2008.
- [336] Arteconi a., Brandoni C, Evangelista D, Polonara F. Life-cycle greenhouse gas analysis of LNG as a heavy vehicle fuel in Europe. *Appl Energy* 2010;87:2005–13. doi:10.1016/j.apenergy.2009.11.012.
- [337] Patterson T, Esteves S, Carr S, Zhang F, Reed J, Maddy J, et al. Life cycle assessment of the electrolytic production and utilization of low carbon hydrogen vehicle fuel. *Int J Hydrogen Energy* 2014;39:7190–201. doi:10.1016/j.ijhydene.2014.02.044.
- [338] Wulf C, Kaltschmitt M. Life cycle assessment of hydrogen supply chain with special attention on hydrogen refuelling stations. *Int J Hydrogen Energy* 2012;37:16711–21. doi:10.1016/j.ijhydene.2012.03.028.
- [339] Bhandari R, Trudewind CA, Zapp P. Life cycle assessment of hydrogen production via electrolysis e a review. *J Clean Prod* 2014;85:151–63. doi:10.1016/j.jclepro.2013.07.048.
- [340] Heracleous E. Well-to-Wheels analysis of hydrogen production from bio-oil reforming for use in internal combustion engines. *Int J Hydrogen Energy* 2011;36:11501–11. doi:10.1016/j.ijhydene.2011.06.052.
- [341] Koroneos C, Dompros A, Roumbas G. Hydrogen production via biomass gasification-A life cycle assessment approach. *Chem Eng Process Process Intensif* 2008;47:1267–74. doi:10.1016/j.cep.2007.04.003.
- [342] Cetinkaya E, Dincer I, Naterer GF. Life cycle assessment of various hydrogen production

- methods. *Int J Hydrogen Energy* 2012;37:2071–80. doi:10.1016/j.ijhydene.2011.10.064.
- [343] Verma A, Kumar A. Life cycle assessment of hydrogen production from underground coal gasification. *Applied Energy* 2014;147:556–68. doi:10.1016/j.apenergy.2015.03.009.
- [344] García Sánchez JA, López Martínez JM, Lumbreras Martín J, Flores Holgado MN, Aguilar Morales H. Impact of Spanish electricity mix, over the period 2008–2030, on the Life Cycle energy consumption and GHG emissions of Electric, Hybrid Diesel-Electric, Fuel Cell Hybrid and Diesel Bus of the Madrid Transportation System. *Energy Convers Manag* 2013;74:332–43. doi:10.1016/j.enconman.2013.05.023.
- [345] Wang G, Ogden JM, Chang DPY. Estimating changes in urban ozone concentrations due to life cycle emissions from hydrogen transportation systems. *Atmos Environ* 2007;41:8874–90. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.08.020.
- [346] Wang G, Ogden JM, Sperling D. Comparing air quality impacts of hydrogen and gasoline. *Transp Res Part D Transp Environ* 2008;13:436–48. doi:10.1016/j.trd.2008.09.006.
- [347] Walker SB, Fowler M, Ahmadi L. Comparative life cycle assessment of power-to-gas generation of hydrogen with a dynamic emissions factor for fuel cell vehicles. *J Energy Storage* 2015;4:62–73. doi:10.1016/j.est.2015.09.006.
- [348] Briguglio N, Andaloro L, Ferraro M, Di Blasi A, Dispenza G, Matteucci F, et al. Renewable energy for hydrogen production and sustainable urban mobility. *Int J Hydrogen Energy* 2010;35:9996–10003. doi:10.1016/j.ijhydene.2009.09.065.
- [349] Lee JY, An S, Cha K, Hur T. Life cycle environmental and economic analyses of a hydrogen station with wind energy. *Int J Hydrogen Energy* 2010;35:2213–25. doi:10.1016/j.ijhydene.2009.12.082.
- [350] Moreno J, Dufour J. Life cycle assessment of hydrogen production from biomass gasification . Evaluation of different Spanish feedstocks. *Int J Hydrogen Energy* 2012;7:1–7. doi:10.1016/j.ijhydene.2012.11.076.
- [351] Baptista PC, Silva CM, Farias TL, Heywood JB. Energy and environmental impacts of alternative pathways for the Portuguese road transportation sector. *Energy Policy* 2012;51:802–15. doi:10.1016/j.enpol.2012.09.025.
- [352] Peiu N. Life Cycle Inventory Study of the electrical energy production in Romania. *Int J Life Cycle Assess* 2007;12:225–9. doi:10.1065/lca2007.05.333.
- [353] Mallia E, Lewis G. Life cycle greenhouse gas emissions of electricity generation in the province of Ontario, Canada. *Int J Life Cycle Assess* 2013;18:377–91. doi:10.1007/s11367-012-0501-0.
- [354] Kannan R, Leong KC, Osman R, Ho HK. Life cycle energy, emissions and cost inventory of power generation technologies in Singapore. *Renew Sustain Energy Rev* 2007;11:702–15. doi:10.1016/j.rser.2005.05.004.
- [355] Treyer K, Bauer C, Simons A, Treyer K, Bauer C, Simons A. Human health impacts in the life cycle of future European electricity generation electricity generation. *Energy Policy* 2014;74. doi:10.1016/j.enpol.2014.03.034.
- [356] Zhao Y, Tatari O. A hybrid life cycle assessment of the vehicle-to-grid application in light duty commercial fleet. *Energy* 2015;93, Part 2:1277–86. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.019.
- [357] Baptista PC, Silva CM, Peças Lopes JA, Soares FJ, Almeida PR. Evaluation of the benefits of the introduction of electricity powered vehicles in an island. *Energy Convers Manag* 2013;76:541–53. doi:10.1016/j.enconman.2013.07.075.
- [358] Luc Gagnon, Camille Bléanger, Yohji Uchiyama. Life-cycle assessment of electricity generation options: The status of research in year 2001. *Energy Policy* 2002;30:1267–1278.
- [359] Amponsah NY, Troldborg M, Kington B, Aalders I, Hough RL. Greenhouse gas emissions from renewable energy sources: A review of lifecycle considerations. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;39:461–75. doi:10.1016/j.rser.2014.07.087.
- [360] Adamczyk J, Dzikuć M. The analysis of suppositions included in the Polish Energetic Policy using the LCA technique - Poland case study. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;39:42–50. doi:10.1016/j.rser.2014.07.083.
- [361] Turconi R, Boldrin A, Astrup T. Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: Overview, comparability and limitations. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;28:555–65. doi:10.1016/j.rser.2013.08.013.
- [362] Frischknecht R, Stucki M. Scope-dependent modelling of electricity supply in life cycle assessments. *Int J Life Cycle Assess* 2010;15:806–16. doi:10.1007/s11367-010-0200-7.
- [363] Helmers E, Dietz J, Hartard S. Electric car life cycle assessment based on real-world mileage and

- the electric conversion scenario. *Int J Life Cycle Assess* 2015;1–16. doi:10.1007/s11367-015-0934-3.
- [364] Rahman MM, Canter C, Kumar A. Well-to-wheel life cycle assessment of transportation fuels derived from different North American conventional crudes. *Appl Energy* 2015;156:159–73. doi:10.1016/j.apenergy.2015.07.004.
- [365] Morales M, Gonzalez-García S, Aroca G, Moreira MT. Life cycle assessment of gasoline production and use in Chile. *Sci Total Environ* 2015;505:833–43. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.067.
- [366] Restianti YY, Gheewala SH. Life cycle assessment of gasoline in Indonesia. *Int J Life Cycle Assess* 2012;17:402–8. doi:10.1007/s11367-011-0372-9.
- [367] Garg A, Vishwanathan S, Avashia V. Life cycle greenhouse gas emission assessment of major petroleum oil products for transport and household sectors in India. *Energy Policy* 2013;58:38–48. doi:10.1016/j.enpol.2013.02.018.
- [368] Furuholt E. Life cycle assessment of gasoline and diesel 1995;3449:251–63.
- [369] May JR, Brennan DJ. Life cycle assessment of Australian fossil energy options. *Trans IChemE* 2003;81.
- [370] Steubing B, Zah R, Ludwig C. Life cycle assessment of SNG from wood for heating, electricity, and transportation. *Biomass and Bioenergy* 2011;35:2950–60. doi:10.1016/j.biombioe.2011.03.036.
- [371] Eriksson E, Blinge M, Lovgren G. Life cycle assessment of the road transport sector. *Sci Total Environ* 1996;189–190:69. doi:10.1016/0048-9697(96)05192-3.
- [372] Chua CBH, Lee HM, Low JSC. Life cycle emissions and energy study of biodiesel derived from waste cooking oil and diesel in Singapore. *Int J Life Cycle Assess* 2010;15:417–23. doi:10.1007/s11367-010-0166-5.
- [373] Ntziachristos L, Samaras Z. Road transport. EMEP/EEA air Pollut. Emiss. Invent. Guideb. 2016. 2016th ed., Luxembourg: European Environment Agency; 2017, p. 1–148.
- [374] Häkkinen T, Mäkele K. Environmental adaption of concrete. Environmental impact of concrete and asphalt pavements. Research N. Espoo: Technical Research Centre of Finland, VTT; 1996.
- [375] Horvath A, Hendrickson C. Comparison of Environmental Implications of Asphalt and Steel-Reinforced Concrete Pavements. *Transp Res Rec* 1998;1626:105–13. doi:10.3141/1626-13.
- [376] Mroueh U-M, Laine-Ylijoki J, Eskola P. Life-cycle impacts of the use of industrial by-products in road and earth construction. *Waste Manag. Ser.*, vol. 1, 2000, p. 438–48. doi:10.1016/S0713-2743(00)80055-0.
- [377] Stripple H. Life cycle assessment of road: a pilot study for inventory analysis. vol. 29. Gothenbourg: 2001. doi:10.1177/0734242X10379146.
- [378] Chappat M, Bilal J. La route écologique du futur. Consommation d'énergie & émission de gaz à effet de serre. 2003.
- [379] Park K, Hwang Y, Seo S, Asce M, Seo H. Quantitative Assessment of Environmental Impacts on Life Cycle of Highways. *J Constr Eng Manag* 2003;129:25–31. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2003)129:1(25).
- [380] Peuportier B. Analyse de vie d'un kilomètre de route et comparaison de six variantes. 2003.
- [381] Treloar GJ, Love PED, Crawford RH. Hybrid Life-Cycle Inventory for Road Construction and Use. *J Constr Eng Manag* 2004;130:43–9. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:1(43).
- [382] Hoang T, Jullien A, Ventura A, Crozet Y. A global methodology for sustainable road - Application to the environmental assessment of French highway. *Int. Conf. Durab. Build. Mater. Components*, Lyon: 2005.
- [383] Zapata P, Gambatese JA. Energy Consumption of Asphalt and Reinforced Concrete Pavement Materials and Construction. *J Infrastruct Syst* 2005;11:9–20. doi:10.1061/(ASCE)1076-0342(2005)11:1(9).
- [384] Athena Institute. A Life Cycle Perspective on Concrete and Asphalt Roadways: Embodied Primary Energy and Global Warming Potential. Ottawa: 2006.
- [385] Birgisdóttir H, Pihl KA, Bhandar G, Hauschild MZ, Christensen TH. Environmental assessment of roads constructed with and without bottom ash from municipal solid waste incineration. *Transp Res Part D Transp Environ* 2006;11:358–68. doi:10.1016/j.trd.2006.07.001.
- [386] Sustainable Construction in Public and Private Works through IPP, approach - SUSCON. Life Cycle Assessment of Road Pavement. Project LI. 2006.
- [387] Garraín D, Vidal R. Contaminación atmosférica de las carreteras españolas. *DYNA* 2008;83:177–82.

- [388] Huang Y, Bird R, Heidrich O. Development of a life cycle assessment tool for construction and maintenance of asphalt pavements. *J Clean Prod* 2009;17:283–96. doi:10.1016/j.jclepro.2008.06.005.
- [389] Sayagh S, Ventura A, Hoang T, François D, Jullien A. Sensitivity of the LCA allocation procedure for BFS recycled into pavement structures. *Resour Conserv Recycl* 2010;54:348–58. doi:10.1016/j.resconrec.2009.08.011.
- [390] ECRPD. Energy Conservation in Road Pavement Design , Maintenance and Utilisation. 2010.
- [391] Milachowski C, Stengel T, Gehlen C. Life Cycle assessment For Road Construction And use. München: 2011.
- [392] Loijos A. Life Cycle Assessment of Concrete Pavements: Impacts and Opportunities. Massachusetts Institute of Technology, 2011.
- [393] Cass D, Mukherjee A. Calculation of Greenhouse Gas Emissions for Highway Construction Operations by Using a Hybrid Life-Cycle Assessment Approach: Case Study for Pavement Operations. *J Constr Eng Manag* 2011;137:1015–25. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000349.
- [394] Huang Y, Hakim B, Zammataro S. Measuring the carbon footprint of road construction using CHANGER. *Int J Pavement Eng* 2012;1–11. doi:10.1080/10298436.2012.693180.
- [395] Melanta S, Miller-Hooks E, Avetisyan H. Carbon Footprint Estimation Tool for Transportation Construction Projects. *J Constr Eng Manag* 2012;139:547–55.
- [396] Butt AA, Mirzadeh I, Toller S, Birgisson B. Life cycle assessment framework for asphalt pavements: methods to calculate and allocate energy of binder and additives. *Int J Pavement Eng* 2012;1–13. doi:10.1080/10298436.2012.718348.
- [397] Vidal R, Moliner E, Martínez G, Rubio MC. Life cycle assessment of hot mix asphalt and zeolite-based warm mix asphalt with reclaimed asphalt pavement 2013;74:101–14.
- [398] Barandica JM, Fernández-Sánchez G, Berzosa Á, Delgado J a., Acosta FJ. Applying life cycle thinking to reduce greenhouse gas emissions from road projects. *J Clean Prod* 2013;57:79–91. doi:10.1016/j.jclepro.2013.05.036.
- [399] Santero N, Loijos A, Ochsendorf J. Greenhouse Gas Emissions Reduction Opportunities for Concrete Pavements. *J Ind Ecol* 2013;17:859–68. doi:10.1111/jiec.12053.
- [400] Arajo JPC, Oliveira JRM, Silva HMRD. The importance of the use phase on the LCA of environmentally friendly solutions for asphalt road pavements. *Transp Res Part D Transp Environ* 2014;32:97–110. doi:10.1016/j.trd.2014.07.006.
- [401] Celauro C, Corriere F, Guerrieri M, Lo Casto B. Environmentally appraising different pavement and construction scenarios: A comparative analysis for a typical local road. *Transp Res Part D Transp Environ* 2015;34:41–51. doi:10.1016/j.trd.2014.10.001.
- [402] Fernández-Sánchez G, Berzosa Á, Barandica JM, Cornejo E, Serrano JM. Opportunities for GHG emissions reduction in road projects: a comparative evaluation of emissions scenarios using CO2NSTRUCT. *J Clean Prod* 2015;104:156–67. doi:10.1016/j.jclepro.2015.05.032.
- [403] Mladenovic A, Turk J, Kovac J, Mauko A, Cotic Z. Environmental evaluation of two scenarios for the selection of materials for asphalt wearing courses. *J Clean Prod* 2015;87:683–91. doi:10.1016/j.jclepro.2014.10.013.
- [404] Giani MI, Dotelli G, Brandini N, Zampori L. Comparative life cycle assessment of asphalt pavements using reclaimed asphalt, warm mix technology and cold in-place recycling. *Resour Conserv Recycl* 2015;104:224–38. doi:10.1016/j.resconrec.2015.08.006.
- [405] Anthonissen J, Braet J, Van den bergh W. Life cycle assessment of bituminous pavements produced at various temperatures in the Belgium context. *Transp Res Part D Transp Environ* 2015;41:306–17. doi:10.1016/j.trd.2015.10.011.
- [406] Yang R, Kang S, Ozer H, Al-Qadi IL. Environmental and economic analyses of recycled asphalt concrete mixtures based on material production and potential performance. *Resour Conserv Recycl* 2015;104:141–51. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.08.014.
- [407] Anastasiou EK, Liapis a., Papayianni I. Comparative life cycle assessment of concrete road pavements using industrial by-products as alternative materials. *Resour Conserv Recycl* 2015;101:1–8. doi:10.1016/j.resconrec.2015.05.009.
- [408] Huang Y, Bird R, Bell M. A comparative study of the emissions by road maintenance works and the disrupted traffic using life cycle assessment and micro-simulation. *Transp Res Part D Transp Environ* 2009;14:197–204. doi:10.1016/j.trd.2008.12.003.
- [409] Carlson A. Life cycle assessment of roads and pavements- Studies made in Europe. Linköping: Swedish National Road and Transport Research Institute; 2011.

- [410] Muench ST. Roadway Construction Sustainability Impacts. *Transp Res Rec J Transp Res Board* 2010;2151:36–45. doi:10.3141/2151-05.
- [411] Lucas A, Neto RC, Silva CA. Impact of energy supply infrastructure in life cycle analysis of hydrogen and electric systems applied to the Portuguese transportation sector. *Int J Hydrogen Energy* 2012;37:10973–85. doi:10.1016/j.ijhydene.2012.04.127.
- [412] Marheineke T, Friedrich R, Krewitt W. Application of a hybrid approach to the life-cycle inventory analysis of a freight transport task. Paper no. 982201. *Total Lifecycle Conf.*, Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Inc; 1998. doi:10.4271/982201.
- [413] Stodolsky F, Gaines L, Cuenca R, Eberhardt J. *Lifecycle Analysis for Freight Transport*. Total Life Cycle Conf., Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Inc; 1998.
- [414] Dimoula V. A Holistic Approach for Estimating Carbon Emissions of Road and Rail Transport Systems. *Aerosol Air Qual Res* 2015;0313:1–8. doi:10.4209/aaqr.2015.05.0313.
- [415] Spielmann M, Scholz R. Life Cycle Inventories of Transport Services: Background Data for Freight Transport (10 pp). *Int J Life Cycle Assess* 2005;10:85–94. doi:10.1065/lca2004.10.181.10.
- [416] Frischknecht R, Jungbluth N, Althaus H-JH-J, Doka G, Dones R, Hellweg S, et al. The ecoinvent Database: Overview and Methodological Framework. *Int J Life Cycle Assess* 2005;10:112–22. doi:10.1065/lca2004.10.181.1.
- [417] Keller M, Haan P de. *Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs 1950–2020: Nachtrag*. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL); 2000.
- [418] Giannouli M. COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport. *Delivery of Road Transport Emission data for EU 15 country*. EEA; 2003.
- [419] Borcken J, Helms H, Jungk N, Knörr W. *Energy consumptions and emissions of goods transports in Europe*. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu); 2003.
- [420] Keller M, Zbinden R, de Haan P. *Handbook emission factors for road transport*. v 2.1. Berlin, Wien, Bern: UBA Berlin/ UBA Wien/ BUWAL Bern; 2004.
- [421] Chester M V. *Environmental Life-cycle Assessment of Freight Transportation Services 2015*.
- [422] Nahlik MJ, Kaehr AT, Chester M V., Horvath A, Taptich MN. Goods Movement Life Cycle Assessment for Greenhouse Gas Reduction Goals. *J Ind Ecol* 2016;20:317–328. doi:10.1111/jiec.12277.
- [423] Horvath A. *Pavement Life-cycle Assessment Tool for Environmental and Economic Effects - PaLATE 2004*.
- [424] Fraser A, Chester M V. *Environmental and Economic Consequences of Permanent Roadway Infrastructure Commitment: City Road Network Lifecycle Assessment and Los Angeles County*. J Infrastruct Syst 2015.
- [425] Nocker L, Panis L, Torfs R. ExternE: A European Accounting Framework for Life Cycle Impact Assessment and External Costs of Transport. *Total Life Cycle Conf.*, SAE Technical Paper 2000-01-1480; 2000. doi:10.4271/2000-01-1480.
- [426] Li H, Yang S, Zhang J, Kraslawski A, Qian Y. Analysis of rationality of coal-based synthetic natural gas (SNG) production in China. *Energy Policy* 2014;71:180–8. doi:10.1016/j.enpol.2014.04.018.
- [427] Goedecke M. *Life Cycle Costs Analysis of Alternative Vehicles and Fuels in Thailand 2005*.
- [428] Freeman RE. *Strategic Management: A Stakeholder Approach*. vol. 1. Boston: 1984. doi:10.2139/ssrn.263511.
- [429] International organization for standardization. *Norma ISO 26000:2010 Guía de Responsabilidad Social*. 2010.
- [430] World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). *Corporate social responsibility. The WBCSD's Journey*. Geneva: 2002.
- [431] Foro de expertos de RSE del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. *Informe del foro de expertos en responsabilidad social de las empresas*. 2007.
- [432] Banerjee SB. *Corporate Social Responsibility: The Good, the Bad and the Ugly*. *Crit Sociol* 2008;34:51–79. doi:10.1177/0896920507084623.
- [433] Russi D, Ayuso S, Fullana P. *El Análisis Social del Ciclo de Vida como instrumento de RSC: El punto de vista de las empresas españolas*. 2012.
- [434] Blom M, Solmar C. *How to Socially Assess Biofuels - A Case Study of the UNEP/SETAC Code of Practice for social- economical LCA*. Luleå University of Technology, 2009.
- [435] Jönsson H. *Etanolens Slavar*. Göteborgs-Posten 2007.
- [436] Mitchell D. *A Note on Rising Food Prices*. *World Bank Dev Prospect Gr* 2008;21. doi:10.2139/ssrn.1233058.

- [437] Manik Y, Leahy J, Halog a. Social life cycle assessment of palm oil biodiesel: a case study in Jambi Province of Indonesia. *Int J Life Cycle Assess* 2013;18:1386–92. doi:10.1007/s11367-013-0581-5.
- [438] Ekener-Petersen E, Höglund J, Finnveden G. Screening potential social impacts of fossil fuels and biofuels for vehicles. *Energy Policy* 2014;73:416–26. doi:10.1016/j.enpol.2014.05.034.
- [439] Benoit-Norris C, Cavan DA, Norris G. Identifying social impacts in product supply chains: Overview and application of the social hotspot database. *Sustainability* 2012;4:1946–65. doi:10.3390/su4091946.
- [440] Center for Global Trade Analysis. Global Trade Analysis Project. Detail Sect List 2013. <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/contribute/detailedsector.asp> (accessed February 2, 2016).
- [441] SHDB project. Social Hotspots Database 2016. <http://socialhotspot.org/user-portal-2/portal-info/> (accessed February 8, 2016).
- [442] Taheripour F, Birur DK, Hertel TW, Tyner WE. *Introducing Liquid Biofuels into the GTAP Data Base*. West Lafayette: 2007.
- [443] You F, Tao L, Graziano DJ, Snyder SW. Optimal design of sustainable cellulosic biofuel supply chains: Multiobjective optimization coupled with life cycle assessment and input-output analysis. *AIChE J* 2012;58:1157–80. doi:10.1002/aic.12637.
- [444] Gheewala SH, Damen B, Shi X. Biofuels: Economic, environmental and social benefits and costs for developing countries in Asia. *Wiley Interdiscip Rev Clim Chang* 2013;4:497–511. doi:10.1002/wcc.241.
- [445] von Doderer CCC, Kleynhans TE. Determining the most sustainable lignocellulosic bioenergy system following a case study approach. *Biomass and Bioenergy* 2014;70:273–86. doi:10.1016/j.biombioe.2014.08.014.
- [446] Saaty TL. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill; 1980.
- [447] Van Eijck J, Romijn H, Balkema A, Faaij A. Global experience with jatropha cultivation for bioenergy: An assessment of socio-economic and environmental aspects. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;32:869–89. doi:10.1016/j.rser.2014.01.028.
- [448] Milazzo MF, Spina F, Cavallaro S, Bart JCI. Sustainable soy biodiesel. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;27:806–52. doi:10.1016/j.rser.2013.07.031.
- [449] Cambero C, Sowlati T. Assessment and optimization of forest biomass supply chains from economic, social and environmental perspectives - A review of literature. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;36:62–73. doi:10.1016/j.rser.2014.04.041.
- [450] Päivinen R, Lindner M, Rosén K, Lexer MJ. A concept for assessing sustainability impacts of forestry-wood chains. *Eur J For Res* 2012;131:7–19. doi:10.1007/s10342-010-0446-4.
- [451] Werhahn-Mees W, Palosuo T, Garcia-Gonzalo J, R??ser D, Lindner M. Sustainability impact assessment of increasing resource use intensity in forest bioenergy production chains. *GCB Bioenergy* 2011;3:91–106. doi:10.1111/j.1757-1707.2010.01068.x.
- [452] Krajnc N, Domac J. How to model different socio-economic and environmental aspects of biomass utilisation: Case study in selected regions in Slovenia and Croatia. *Energy Policy* 2007;35:6010–20. doi:10.1016/j.enpol.2007.08.006.
- [453] Sacchelli S, Bernetti I, De Meo I, Fiori L, Paletto A, Zambelli P, et al. Matching socio-economic and environmental efficiency of wood-residues energy chain: A partial equilibrium model for a case study in Alpine area. *J Clean Prod* 2014;66:431–42. doi:10.1016/j.jclepro.2013.11.059.
- [454] Malik A, Lenzen M, Geschke A. Triple bottom line study of a lignocellulosic biofuel industry. *GCB Bioenergy* 2016;8:96–110. doi:10.1111/gcbb.12240.
- [455] Scarpellini S, Valero A, Llera E, Aranda A. Multicriteria analysis for the assessment of energy innovations in the transport sector. *Energy* 2013;57:160–8. doi:10.1016/j.energy.2012.12.004.
- [456] Elghali L, Cowell SJ, Begg KG, Clift R. Support for Sustainable Development Policy Decisions: A Case Study from Highway Maintenance. *Int J Life Cycle Assess* 2006;1:29–39.
- [457] Ekener E, Hansson J, Gustavsson M. Addressing positive impacts in social LCA—discussing current and new approaches exemplified by the case of vehicle fuels. *Int J Life Cycle Assess* 2016;1–13. doi:10.1007/s11367-016-1058-0.
- [458] Ellram LM. Total Cost of Ownership: An analysis approach for purchasing. *Int J Logist Manag* 1995;6:55–66. doi:10.1108/09574099510805341.
- [459] CNH Industrial. Iveco Press romm. Hi-Profitability Lowest Cost Ownersh over Life Cycle 2015. <http://www.iveco.com/en-us/press-room/kit/pages/4-hi-profitabilitythelowestcostofownershipoverthelifecycle.aspx#sthash.qcTKHEB7.dpuf> (accessed

- February 9, 2016).
- [460] Bhadury J., Khurana S., Peng HS., Zong H. Optimization modeling in acquisitions: A case study from the motor carrier industry. *J Supply Chain Manag* 2006;42:41–54. doi:10.1111/j.1745-493X.2006.00021.x.
- [461] Lee K-M, Cho H-N, Choi Y-M. Life-cycle cost-effective optimum design of steel bridges. *J Constr Steel Res* 2004;1585–613.
- [462] Berthelot CF, Sparks GA, Blomme T, Kajner L, Nickeson M. Mechanistic–probabilistic vehicle operating cost model. *J Transp Eng* 1996;5:337–41.
- [463] Lee KM, Cho HN, Cha CJ. Life-cycle cost-effective optimum design of steel bridges considering environmental stressors. *Eng Struct* 2006;28:1252–65. doi:10.1016/j.engstruct.2005.12.008.
- [464] Chan A, Keoleian G, Gabler E. Evaluation of Life-Cycle Cost Analysis Practices Used by the Michigan Department of Transportation. *J Transp Eng* 2008;134:236–45. doi:10.1061/(ASCE)0733-947X(2008)134:6(236).
- [465] List G. A model for life cycle evaluation of highway investments. *Struct Infrastruct Eng* 2007;3:95–101. doi:10.1080/15732470600590903.
- [466] Martin TC, Thoresen TR. Estimation of the marginal cost of road wear as a basis for charging freight vehicles. *Res Transp Econ* 2015;49:55–64. doi:10.1016/j.retrec.2015.04.006.
- [467] Qiao Y, Dawson AR, Parry T, Flintsch GW. Evaluating the effects of climate change on road maintenance intervention strategies and Life-Cycle Costs 2015;41:492–503. doi:10.1016/j.trd.2015.09.019.
- [468] Ding T, Sun L, Chen Z. Optimal Strategy of Pavement Preventive Maintenance Considering Life-Cycle Cost Analysis. *Procedia - Soc Behav Sci* 2013;96:1679–85. doi:10.1016/j.sbspro.2013.08.190.
- [469] Basu C, Das A, Thirumalasetty P, Das T. Perpetual Pavement – A Boon for the Indian Roads. *Procedia - Soc Behav Sci* 2013;104:139–48. doi:10.1016/j.sbspro.2013.11.106.
- [470] De Winne P, Briessinck M, Vanhooreweder B. How to Choose the Most Sustainable Pavement for Noise Mitigation on the Flanders Motorway Network? *Procedia - Soc Behav Sci* 2012;48:2121–9. doi:10.1016/j.sbspro.2012.06.1185.
- [471] Moretti L, Cantisani G, Di Mascio P. Management of road tunnels: Construction, maintenance and lighting costs. *Tunn Undergr Sp Technol* 2016;51:84–9. doi:10.1016/j.tust.2015.10.027.
- [472] Santos J, Ferreira A. Life-Cycle Cost Analysis System for Pavement Management. *Procedia - Soc Behav Sci* 2012;48:331–40. doi:10.1016/j.sbspro.2012.06.1013.
- [473] Noori M, Gardner S, Tatari O. Electric vehicle cost, emissions, and water footprint in the United States: Development of a regional optimization model. *Energy* 2015;89:610–25. doi:10.1016/j.energy.2015.05.152.
- [474] Lee DY, Thomas VM, Brown MA. Electric urban delivery trucks: Energy use, greenhouse gas emissions, and cost-effectiveness. *Environ Sci Technol* 2013;47:8022–30. doi:10.1021/es400179w.
- [475] Du J, Han W, Peng Y. Life cycle greenhouse gases, energy and cost assessment of automobiles using magnesium from Chinese Pidgeon process. *J Clean Prod* 2010;18:112–9. doi:10.1016/j.jclepro.2009.08.013.
- [476] Hackney J, de Neufville R. Life cycle model of alternative fuel vehicles: emissions, energy, and cost trade-offs. *Transp Res Part A-Policy Pract* 2001;35:243–66. doi:10.1016/S0965-8564(99)00057-9.
- [477] Zhou Z, Jiang H, Qin L. Life cycle sustainability assessment of fuels. *Fuel* 2007;86:256–63. doi:10.1016/j.fuel.2006.06.004.
- [478] Nguyen TLT, Gheewala SH, Bonner S. Life cycle cost analysis of fuel ethanol produced from cassava in Thailand. *Int J Life Cycle Assess* 2008;13:564–73. doi:10.1007/s11367-008-0035-7.
- [479] Mbarawa M. Performance, emission and economic assessment of clove stem oil-diesel blended fuels as alternative fuels for diesel engines. *Renew Energy* 2008;33:871–82. doi:10.1016/j.renene.2007.06.009.
- [480] Ong HC, Mahlia TMI, Masjuki HH, Honnery D. Life cycle cost and sensitivity analysis of palm biodiesel production. *Fuel* 2012;98:131–9. doi:10.1016/j.fuel.2012.03.031.
- [481] Hu Z, Tan P, Yan X, Lou D. Life cycle energy, environment and economic assessment of soybean-based biodiesel as an alternative automotive fuel in China. *Energy* 2008;33:1654–8. doi:10.1016/j.energy.2008.06.004.
- [482] Ren J, Dong L, Sun L, Goodsite ME, Tan S, Dong L. Life cycle cost optimization of biofuel supply

- chains under uncertainties based on interval linear programming. *Bioresour Technol* 2015;187:6–13. doi:10.1016/j.biortech.2015.03.083.
- [483] Weinberg J, Kaltschmitt M. Life cycle assessment of mobility options using wood based fuels-- comparison of selected environmental effects and costs. *Bioresour Technol* 2013;150:420–8. doi:10.1016/j.biortech.2013.08.093.
- [484] Daylan B, Ciliz N. Life cycle assessment and environmental life cycle costing analysis of lignocellulosic bioethanol as an alternative transportation fuel. *Renew Energy* 2016;89:578–87. doi:10.1016/j.renene.2015.11.059.
- [485] Sawaengsak W, Silalertruksa T, Bangviwat A, Gheewala SH. Energy for Sustainable Development Life cycle cost of biodiesel production from microalgae in Thailand. *Energy Sustain Dev* 2014;18:67–74. doi:10.1016/j.esd.2013.12.003.
- [486] Yao F, Jia Y, Mao Z. The cost analysis of hydrogen life cycle in China. *Int J Hydrogen Energy* 2010;35:2727–31. doi:10.1016/j.ijhydene.2009.04.076.
- [487] Beal CM. Supplemental Information: Algal biofuel production for fuels and feed in a 100-ha facility: a comprehensive techno- economic analysis and life cycle assessment 2015;10:266–79.
- [488] Meyer MA, Weiss A. Life cycle costs for the optimized production of hydrogen and biogas from microalgae. *Energy* 2014;78:84–93. doi:10.1016/j.energy.2014.08.069.
- [489] Gabbar HA, Bedard R, Ayoub N. Integrated modeling for optimized regional transportation with compressed natural gas fuel. *Alexandria Eng J* 2016;55:533–45. doi:10.1016/j.aej.2015.10.007.
- [490] Streimikiene D, Balezentis T, Balezentiene L. Comparative assessment of road transport technologies. *Elsevier* 2016;56:156–70.
- [491] Dimitrova Z, Maréchal F. Techno – economic design of hybrid electric vehicles and possibilities of the multi-objective optimization structure. *Appl Energy* 2015;161:746–59. doi:10.1016/j.apenergy.2015.09.071.
- [492] Zhao Y, Noori M, Tatari O. Vehicle to Grid regulation services of electric delivery trucks: Economic and environmental benefit analysis. *Appl Energy* 2016;170:161–75. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.097.
- [493] Goh KC, Yang J. Managing cost implications for highway infrastructure sustainability. *Int J Environ Sci Technol* 2014;11:2271–80. doi:10.1007/s13762-014-0572-5.
- [494] European Commission. ExternE - Externalities of energy: Vol.7 - Methodology 1998 Update. Luxembourg: 1998.
- [495] Institute for the Rational Use of Energy - IER. The ExternE Transport Project. Technical Final Report: Summary. 1998.
- [496] Maibach M (Infras), Schreyer C (Infras), Sutter D (Infras), van Essen HP (Ce D, Boon BH (Ce D, Smokers R (Ce D, et al. Handbook on estimation of external costs in the transport sector. Delft: 2007. doi:07.4288.52.
- [497] Janic M, Vleugel J. Estimating potential reductions in externalities from rail–road substitution in Trans-European freight transport corridors. *Transp Res Part D Transp Environ* 2012;17:154–60. doi:10.1016/j.trd.2011.09.015.
- [498] Macharis C, Van Hoeck E, Pekin E, van Lier T. A decision analysis framework for intermodal transport: Comparing fuel price increases and the internalisation of external costs. *Transp Res Part A Policy Pract* 2010;44:550–61. doi:10.1016/j.tra.2010.04.006.
- [499] van Essen H, Schrotten A, Otten M, Sutter D, Schreyer C, Zandonella R, et al. External Costs of Transport in Europe Update Study for 2008. CE Delft, INFRAS, Fraunhofer ISI 2011:161.
- [500] Hofstetter P, Müller-Wenk R. Monetization of health damages from road noise with implications for monetizing health impacts in life cycle assessment. *J Clean Prod* 2005;13:1235–45. doi:10.1016/j.jclepro.2005.05.011.
- [501] Delucchi M a. Environmental externalities of motor vehicle use in the US. *J Transp Policy* 2000;34:135–68. doi:10.2307/20053837.
- [502] Kusiima JM, Powers SE. Monetary value of the environmental and health externalities associated with production of ethanol from biomass feedstocks. *Energy Policy* 2010;38:2785–96. doi:10.1016/j.enpol.2010.01.010.
- [503] Santos G, Behrendt H, Teytelboym A. Part II: Policy instruments for sustainable road transport. *Res Transp Econ* 2010;28:46–91. doi:10.1016/j.retrec.2010.03.002.
- [504] Winden M, Cruze N, Haab T, Bakshi B. Monetized value of the environmental, health and resource externalities of soy biodiesel. *Energy Econ* 2015;47:18–24. doi:10.1016/j.eneco.2014.10.019.

- [505] Tainio M. Burden of disease caused by local transport in Warsaw, Poland. *J Transp Heal* 2015;2:423–33. doi:10.1016/j.jth.2015.06.005.
- [506] Pérez-Martínez PJ, Vassallo-Magro JM. Changes in the external costs of freight surface transport in Spain. *Res Transp Econ* 2013;42:61–76. doi:10.1016/j.retrec.2012.11.006.
- [507] Randall A. Total and non-use values. *Meas. Demand Environ. Qual.*, 1991.
- [508] Huppés G, Van Oers L, Oers L Van. Background Review of Existing Weighting Approaches in Life Cycle Impact Assessment (LCIA). Publications Office of the European Union; 2011. doi:10.2788/88828.
- [509] Bruyn S de, Sevenster M, Boer B de, Davidson M. Weighting of LCA-themes with economic information. General framework and analysis for prevention cost approach. Delft: 2007.
- [510] Huppés G, Van Oers L, Oers L Van. Background Review of Existing Weighting Approaches in Life Cycle Impact Assessment (LCIA). Publications Office of the European Union; 2011. doi:10.2788/88828.
- [511] Heijungs R. The weighting step in life cycle impact assessment. Three explorations at the midpoint and endpoint level. Weighting with damage costs. Leiden University, Netherlands: 2008.
- [512] Janic M. Modelling the full costs of an intermodal and road freight transport network. *Transp Res Part D Transp Environ* 2007;12:33–44. doi:10.1016/j.trd.2006.10.004.
- [513] EPA's Office of Transportation and Air Quality. Greenhouse Gas Emissions from the U.S. Transportation Sector 1990-2003. 2006. doi:10.3141/2017-06.
- [514] NTM. Network for Transport Measures. Scope Syst Boundaries 2015. <https://www.transportmeasures.org/en/wiki/manuals/system-boundaries/> (accessed May 20, 2018).
- [515] Swarr TE. Societal life cycle assessment-could you repeat the question? *Int J Life Cycle Assess* 2009;14:285–9. doi:10.1007/s11367-009-0088-2.
- [516] Aranda A, Zabalza I, Martínez A, Valero A, Scarpellini S. El análisis del ciclo de vida como herramienta de gestión empresarial. Madrid: FC Editorial; 2016.
- [517] European Parliament And The Council Of The European Union. Recommendation 2013-179-EU on the use of common methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations. *Off J Eur Communities* 2013;56.
- [518] Unep. Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases 2011:156.
- [519] Guinée JB, Heijungs R, Huppés G, Kleijn R, de Koning A, van Oers L, et al. life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards; Parts 1 and 2. Minist. housing, Spat. Plan. Environ. Cent. Environ. Sci., Den Haag and Leiden, The Netherlands: 2001, p. 692. doi:10.1007/BF02978784.
- [520] Goedkoop M, Spriensma R. The Eco-indicator 99: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology report. Amersfoort: 2000.
- [521] PRé Consultants. SimaPro v8 2017.
- [522] Thinkstep. Gabi 2015.
- [523] Transport & Mobility Leuven. Tremove 3.3 2010.
- [524] EMISIA SA. COPERT 5 2017.
- [525] US EPA. Motor Vehicle Emission Simulator - MOVES 2014.
- [526] UK Low Carbon Transport Steering Group. Scope 3 Third Party Road Freight CO2 emissions pilot model 2011.
- [527] Vogtländer J. Idemat dataset 2016.
- [528] Edwards R, Larive J-F, Rickeard D, Weindorf W. Well-to-Tank Appendix 2 -Version 4a. Well-to-Wheels Anal. Futur. Automot. Fuels Powertrains Eur. Context, Luxembourg: 2014, p. 32. doi:10.2790/95629.
- [529] Spielmann M, Bauer C, Dones R, Tuchschild M. Transport services. Ecoinvent report No. 14. Dübendorf: 2007.
- [530] Incombustión - Natura. Consultoría técnica para el fortalecimiento y mejora de la base de datos de factores de emisión de los combustibles colombianos- FECOC. Medellín: 2016.
- [531] Ntziachristos L, Boulter P. Road transport: automobile tyre and brake wear and road abrasion. EMEP/EEA Emiss. Invent. Guideb. 2016. 2016th ed., Luxembourg: European Environment Agency; 2016, p. 1–32.
- [532] International organization for standardization. ISO 22241-4:2009 Diesel engines — NOx reduction agent AUS 32. 2009.
- [533] Borrión AL, McManus MC, Hammond GP. Environmental life cycle assessment of bioethanol

- production from wheat straw. *Biomass and Bioenergy* 2012;47:9–19. doi:10.1016/j.biombioe.2012.10.017.
- [534] Goedkoop M, Heijungs R, Huijbregts M, Schryver A De, Struijs J, Zelm R Van. *ReCiPe 2008. Potentials* 2009:1–44. doi:10.029/2003JD004283.
- [535] Huijbregts MAJ, Steinmann ZJN, Elshout PMF, Stam G, Verones F, Vieira MDM, et al. *ReCiPe 2016 v1.1. A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. Report I: Characterization*. Bilthoven: 2017.
- [536] Huijbregts MAJ, Steinmann ZJN, Elshout PMF, Stam G, Verones F, Vieira M, et al. *ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level*. *Int J Life Cycle Assess* 2017;22:138–47. doi:10.1007/s11367-016-1246-y.
- [537] Sleswijk AW, van Oers LFCM, Guinée JB, Struijs J, Huijbregts MAJ. *Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000*. *Sci Total Environ* 2008;390:227–40. doi:10.1016/j.scitotenv.2007.09.040.
- [538] Cavalett O, Chagas MF, Seabra JEA, Bonomi A. *Comparative LCA of ethanol versus gasoline in Brazil using different LCIA methods*. *Int J Life Cycle Assess* 2013;18:647–58. doi:10.1007/s11367-012-0465-0.
- [539] Frischknecht R, Steiner R, Jungbluth N. *The Ecological Scarcity Method – Eco-Factors 2006. A method for impact assessment in LCA*. Bern: 2009. doi:citeulike-article-id:12461602.
- [540] Jolliet O, Margni M, Charles R, Humbert S, Payet J, Rebitzer G, et al. *IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology*. *Int J Life Cycle Assess* 2003;8:324–30. doi:10.1007/BF02978505.
- [541] Hutchins MJ, Sutherland JW. *An exploration of measures of social sustainability and their application to supply chain decisions*. *J Clean Prod* 2008;16:1688–98. doi:10.1016/j.jclepro.2008.06.001.
- [542] Jørgensen A, Dreyer L, Wangel A. *Addressing the effect of social life cycle assessments*. *Int J Life Cycle Assess* 2012;1–12. doi:10.1007/s11367-012-0408-9.
- [543] Hunkeler D. *Societal LCA Methodology and Case Study*. *Int J Life Cycle Assess* 2006;11:371–82. doi:10.1065/lca2006.08.261.
- [544] Norris G a. *Social Impacts in Product Life Cycles Towards Life Cycle Attribute Assessment*. *Int J Life Cycle Assess* 2006;1:97–104. doi:10.1065/lca2006.04.017.
- [545] Norris CB, Traverso M, Valdivia S, Vickery-Niederman G, Franze J, Azuero L, et al. *The Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment ( S-LCA )*. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative; 2013.
- [546] Aparcana S, Salhofer S. *Application of a methodology for the social life cycle assessment of recycling systems in low income countries: Three Peruvian case studies*. *Int J Life Cycle Assess* 2013;18:1116–28. doi:10.1007/s11367-013-0559-3.
- [547] Foolmaun RK, Ramjeeawon T. *Comparative life cycle assessment and social life cycle assessment of used polyethylene terephthalate (PET) bottles in Mauritius*. *Int J Life Cycle Assess* 2013;18:155–71. doi:10.1007/s11367-012-0447-2.
- [548] Hosseiniou SA, Mansour S, Shirazi MA. *Social life cycle assessment for material selection: A case study of building materials*. *Int J Life Cycle Assess* 2014;19:620–45. doi:10.1007/s11367-013-0658-1.
- [549] Vinyes E, Oliver-Solà J, Ugaya C, Rieradevall J, Gasol CM. *Application of LCSA to used cooking oil waste management*. *Int J Life Cycle Assess* 2013;18:445–55. doi:10.1007/s11367-012-0482-z.
- [550] Martínez-Blanco J, Lehmann A, Muñoz P, Antón A, Traverso M, Rieradevall J, et al. *Application challenges for the social Life Cycle Assessment of fertilizers within life cycle sustainability assessment*. *J Clean Prod* 2014;69:34–48. doi:10.1016/j.jclepro.2014.01.044.
- [551] Quantis, Ageco, Ciraig, Uqam. *Environmental and Socioeconomic Life Cycle Assessment Of Canadian Milk*. Montreal: 2012.
- [552] Petti L, Sanchez Ramirez PK, Traverso M, Ugaya CML. *An Italian tomato “Cuore di Bue” case study: challenges and benefits using subcategory assessment method for social life cycle assessment*. *Int J Life Cycle Assess* 2016. doi:10.1007/s11367-016-1175-9.
- [553] Franze J, Ciroth A. *A comparison of cut roses from Ecuador and the Netherlands*. *Int J Life Cycle Assess* 2011;16:366–79. doi:10.1007/s11367-011-0266-x.
- [554] ILO. *International Labour Organization. NORMLEX - Inf Syst Int Labour Stand* 2017. <http://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:20060:0::NO:::> (accessed April 27, 2017).

- [555] UNICEF. UNICEF Data: Monitoring the Situation of Children and Women. Child Labour 2017. <http://data.unicef.org/topic/child-protection/child-labour/> (accessed December 17, 2017).
- [556] The U.S Department of Labor. List of Goods Produced by Child Labor or Forced Labor. Washington, D.C: 2016.
- [557] The Walk Free Foundation. The Global Slavery Index 2016. 2017.
- [558] World Economic Forum. The Global Gender Gap Report. Geneva: 2017.
- [559] The International Trade Union Confederation. The 2017 ITUC Global Rights Index. Brussels: 2017.
- [560] ILO. ILOSTAT. Key Indic Labour Mark 2017. <http://www.ilo.org/ilostat/> (accessed November 17, 2017).
- [561] ILO. World Social Protection Report 2017-19: Universal social protection to achieve the Sustainable Development Goals. Geneva: International Labour Office; 2017.
- [562] KPMG. The road ahead: The KPMG Survey of Corporate Responsibility Reporting 2017. Amstelveen: 2017. doi:10.1038/nnano.2013.238.
- [563] UNCTAD. United Nations Conference on Trade And Development. Glob Cyberlaw Tracker 2017. [http://unctad.org/en/Pages/DTL/STI\\_and\\_ICTs/ICT4D-Legislation/eCom-Global-Legislation.aspx](http://unctad.org/en/Pages/DTL/STI_and_ICTs/ICT4D-Legislation/eCom-Global-Legislation.aspx) (accessed December 17, 2017).
- [564] WEF. The Global Competitiveness Report 2016-2017. vol. 5. Geneva: 2016. doi:92-95044-35-5.
- [565] IDMC. Global Report on Internal Displacement. 2017.
- [566] Pew Research Center. Global restrictions on religion rise modestly in 2015, reversing downward trend. Washington, D.C: 2017.
- [567] Amnesty International. The state of the world's human rights. London: Amnesty International Ltd; 2017.
- [568] U.S Government. U.S Department of State. Ctry Reports Hum Rights Pract 2017. <https://www.state.gov/j/drl/rls/hrrpt/humanrightsreport/#wrapper> (accessed December 17, 2017).
- [569] WJP. Open Government Index™ 2015 Report. Washington, D.C: World Justice Project; 2015.
- [570] World Health Organization. Ambient Air Pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. WHO; 2016. doi:9789241511353.
- [571] Hsu A et al. 2016 Environmental Performance Index. New Heaven; 2017. doi:10.13140/RG.2.2.19868.90249.
- [572] Freedom House. Press Freedom's Dark Horizon. Washington, D.C: 2017.
- [573] HIIK. Conflict Barometer 2016. vol. 25. Heidelberg: 2017.
- [574] Cornell University, INSEAD, WIPO. The Global Innovation Index 2017: Innovation Feeding the World. Tenth edit. Ithaca, Fontainebleau, and Geneva: 2017.
- [575] Transparency International. Corruption Perceptions Index 2016. Berlin: 2017. doi:978-3-943497-18-2.
- [576] CPI. Competition Policy International 2017. [www.competitionpolicyinternational.com](http://www.competitionpolicyinternational.com) (accessed February 8, 2018).
- [577] Ramirez PKS, Petti L, Haberland NT, Ugaya CML. Subcategory assessment method for social life cycle assessment. Part 2: application in Natura's cocoa soap. *Int J Life Cycle Assess* 2014;19:1515–23. doi:10.1007/s11367-014-0761-y.
- [578] Umair S, Björklund A, Petersen EE. Social impact assessment of informal recycling of electronic ICT waste in Pakistan using UNEP SETAC guidelines. *Resour Conserv Recycl* 2015;95:46–57. doi:10.1016/j.resconrec.2014.11.008.
- [579] Benoît C, Parent J, Kuenzi I, Revéret J-P. Developing a Methodology for Social Life Cycle Assessment: The North American Tomato's CSR case. 3rd Int. Conf. Life cycle Manag., Zürich, Switzerland: 2007.
- [580] Weidema BP. Social impact categories, indicators, characterisation and damage modelling. Present. 29th Swiss LCA Discuss. Forum, 2006.
- [581] Wu R, Yang D, Chen J, Wu Yang, Dan, Chen, Jiquan, R, Wu R, Yang D, et al. Social Life Cycle Assessment Revisited. *Sustainability* 2014;6:4200–26. doi:10.3390/su6074200.
- [582] Feschet P, MacOmbe C, Garrabé M, Loeillet D, Saez AR, Benhmad F. Social impact assessment in LCA using the Preston pathway: The case of banana industry in Cameroon. *Int J Life Cycle Assess* 2013;18:490–503. doi:10.1007/s11367-012-0490-z.
- [583] Ecopetrol S.A. Reporte integrado de gestión sostenible 2016. Bogotá: 2017.
- [584] Refinería de Cartagena. Refinería de Cartagena un proyecto en sólida expansión. 2014.

- [585] Revista Semana. Semana. Despierta La Refinería Cart 2015.
- [586] Ecopetrol S.A. Ecopetrol. Nueva Refinería Cart 2015.  
<http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/lo-que-hacemos/refinacion/refineria-cartagena> (accessed November 17, 2017).
- [587] Brelsfod R. Oil & Gas Journal. Ecopetrol Adv Cart Refin Expans 2015.  
<http://www.ogj.com/articles/2015/10/ecopetrol-advances-cartagena-refinery-expansion.html> (accessed November 17, 2017).
- [588] H-T. Hydrocarbons Technology. Refineria Cart Refin Expans n.d. <https://www.hydrocarbons-technology.com/projects/refineria-de-cartagena-reficar-refinery-expansion/> (accessed November 17, 2017).
- [589] Revista Portafolio. Portafolio. La Refinería Barrancabermeja Cumple 95 Años Operaciones 2017.
- [590] Almarío M. Vanguardia. “Sin Mod En 10 Años Refinería Será Obs 2015.
- [591] Redaccion El Tiempo. El Tiempo. Sigue Detenida La Mod Refinería En Barrancabermeja 2016.
- [592] Almarío M. La Vanguardia. Denuncian Emisión Catalizadores En Refinería 2016.
- [593] Russo Garrido S, Parent J, Beaulieu L, Revéret JP. A literature review of type I SLCA—making the logic underlying methodological choices explicit. *Int J Life Cycle Assess* 2016;1–13.  
doi:10.1007/s11367-016-1067-z.
- [594] Ramirez PKS, Petti L, Haberland NT, Ugaya CML. Subcategory assessment method for social life cycle assessment. Part 1: Methodological framework. *Int J Life Cycle Assess* 2014;19:1515–23.  
doi:10.1007/s11367-014-0761-y.
- [595] Petti L, Serreli M, Di Cesare S. Systematic literature review in social life cycle assessment. *Int J Life Cycle Assess* 2016;1–10. doi:10.1007/s11367-016-1135-4.
- [596] Google Earth. Colombia. 3°55'04.29" N and 73°28'57.73" O (sin escala) 2015.
- [597] Chester A, Harrison R. Vehicle operating cost: evidence from Developing Countries. Washington, D.C: 1987.
- [598] Transport Appraisal and Strategic Modelling (TASM) Division. Values of Time and Operating Costs TAG Unit 3.5.6. London: 2014.
- [599] Bennett CR, Greenwood ID. Volume 5: HDM-4 Calibration Reference Manual, International Study of Highway Development and Management Tools. 2003.
- [600] Posada-Henao JJ. Efecto de la cantidad de carga en el consumo de combustible en camiones. Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- [601] Cañadas J. Costes de operación del tráfico en la carretera. Univesidad Politécnica de Cataluña, 2007.
- [602] Google Earth. Colombia. 5°07'12.37" N and 75°58'14.82" O (sin escala) 2015.
- [603] Ministerio de Transporte Instituto Nacional de Vías Universidad del Cauca. Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles. Segunda ve. Popayá, Colombia: 1996.
- [604] Transportation Research Board. Highway capacity manual. Washington, D.C: 2000.  
doi:10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000746.
- [605] Naranjo VH. Análisis de la capacidad y nivel de servicio de las vías principales y secundarias de acceso a la ciudad de Manizales. Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, 2008.
- [606] Benjumea P, Agudelo J, Agudelo A. Effect of altitude and palm oil biodiesel fuelling on the performance and combustion characteristics of a HSDI diesel engine. *Fuel* 2009;88:725–31.  
doi:10.1016/j.fuel.2008.10.011.
- [607] Ministerio de Transporte Colombia. Transporte en cifras 2016. Bogotá: 2017.
- [608] Barbero JA, Guerrero P. El transporte automotor de carga en América Latina: Soporte logístico de la producción y el comercio. 2017.
- [609] Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Fedepalma. La Palma Aceite En Colomb 2016. <http://web.fedepalma.org/la-palma-de-aceite-en-colombia-departamentos> (accessed April 28, 2018).
- [610] Ecopetrol S.A. Ecopetrol. Red Transp 2017.  
[https://www.ecopetrol.com.co/especiales/mapa\\_infraestructura.htm](https://www.ecopetrol.com.co/especiales/mapa_infraestructura.htm) (accessed April 28, 2018).
- [611] Roda P, Perdomo F, Sánchez J. Impacto de la infraestructura de transporte en el desempeño económico. 2015.
- [612] Correal JF, Reyes JC, Sanchez-Silva M, Castro D, Sequera D. Calibración del Camión de Diseño CC-14. Present. la Norma Colomb. Diseño Puentes LRFD CCP 14, Cali: 2015.
- [613] Ministerio de Transporte Colombia. Resolución No. 4100 de 2004 por la cual se adoptan los límites de pesos y dimensiones en los vehículos de transporte automotor de carga por carretera.

- Colombia: 2004.
- [614] International Road Federation. IRF World Road Statistics. Geneva: 2009.
- [615] CAN. Parque vehicular en la comunidad andina 2003-2012. 2016.
- [616] UPME. Proyección de Demanda de Combustibles en el Sector Transporte en Colombia. 2015.
- [617] Revista Dinero. Dinero. Solo El 15% Las Carreteras Colomb Están Paviment 2014.
- [618] Economía y Negocios- Redacción El Tiempo. El Tiempo. Solo 25 Por Ciento Vías Terciarias Del País Están En Buen Estado 2017.
- [619] Fonseca H. Plantations are not forests. 2003.
- [620] Grainger M. One World News. IPCC Underestimating Palm Oil Pollution, Say Campaign 2013.
- [621] EFE. 20 minutos. Reemplazar Bosque Trop Por Aceite Palma, Cacao o Caucho Aumenta Las Emisiones CO2 2015.
- [622] Moreno Ruiz E, Lérová T, Bourgault G, Wernet G. Documentation of changes implemented in ecoinvent database v.3.3. Zürich: 2016.
- [623] Toupet S. The Shift Project. Break Electr Gener by Energy Source 2018. <http://www.tsp-data-portal.org/Breakdown-of-Electricity-Generation-by-Energy-Source#tspQvChart> (accessed April 25, 2018).
- [624] Minister of Science Technology and the Environment of Malaysia. Environmental Quality Act 1974. Malaysia: Federal subsidiary legislation; 1974.
- [625] ACFA. Asian clean fuels association. Malaysia to Implement Euro 4M 2015 2012. [www.acfa.org.sg/newsletterinfocus08\\_01.php](http://www.acfa.org.sg/newsletterinfocus08_01.php) (accessed March 26, 2018).
- [626] Petron Malaysia. Petron Diesel Max. Prod Data Sheet 2017. [https://www.petron.com.my/web/Media/uploads/PDS\\_Petron\\_B7\\_Diesel\\_Max\\_-\\_with\\_additive\\_-\\_Dec\\_8\\_20141.pdf](https://www.petron.com.my/web/Media/uploads/PDS_Petron_B7_Diesel_Max_-_with_additive_-_Dec_8_20141.pdf) (accessed May 4, 2018).
- [627] Taib NM, Mansor MRA, Mahmood WMFW, Shah FA, Abdullah NRN. Investigation of diesel-ethanol blended fuel properties with palm methyl ester as co-solvent and blends enhancer. MATEC Web Conf 2017;90. doi:10.1051/mateconf/20179001080.
- [628] Google Inc. Google Earth Pro 2018.
- [629] Abdul Manan MM, Várhelyi A. Motorcycle fatalities in Malaysia. IATSS Res 2012;36:30–9. doi:10.1016/j.iatssr.2012.02.005.
- [630] Bin Azmi M. Policy Planning and Environmental Burden Estimation for Passenger Vehicle Ownership in Malaysia using System Dynamics Modeling Method. Osaka University, 2017.
- [631] Hoh KS. The Sundaily. ELV Likely to Be Re-Introduced 2013.
- [632] Zainal Abidin A, Mansor H, Radin Ahmad RD, Abdullah R, Chunf I. The Estimation of Carbon Dioxide Emissions from the Transport Sector in Malaysia (2000 - 2020) 2009:23. [http://www-iam.nies.go.jp/aim/aim\\_workshop/aimws\\_09/presentation/s06\\_abidin\\_mansor\\_ppt.pdf](http://www-iam.nies.go.jp/aim/aim_workshop/aimws_09/presentation/s06_abidin_mansor_ppt.pdf) (accessed April 23, 2018).
- [633] Petron Corp. Petron Corporation - Final Prospectus. Mandaluyong City: 2016.
- [634] Subramaniam V, Ngan MA, May CY. Environmental Performance of the Production of Crude Palm Kernel Oil Using the Life Cycle Assessment Approach. Malaysian Palm Oil Boardil Board 2014:6–12.
- [635] Tan YA, Muhammad H, Hashim Z, Subramaniam V, Wei PC, Let CC, et al. Life cycle assessment of refined palm oil production and fractionation (part 4). J Oil Palm Res 2010;22:913–26.
- [636] Punte S, Barton-Dock MA, Dayao DL, Diaz EP, de Guzman DR, Patdu MK. Air Pollution and Greenhouse Gas Emissions Indicators for Road Transport and Electricity. 2012.
- [637] Malaysian Institute of Road Safety Research. Miros. Road Accid Stat - Testfact 2017. <https://www.miros.gov.my/1/page.php?id=365&k=vkt> (accessed May 4, 2018).
- [638] Chiu Chuen O, Karim MR, Yusoff S. Mode choice between private and public transport in Klang Valley, Malaysia. Sci World J 2014;2014:7–9. doi:10.1155/2014/394587.
- [639] CIA. The World Factbook. Malaysia 2018. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/my.html> (accessed May 29, 2018).
- [640] Ministry of Works Malaysia. Road traffic volume Malaysia. Summ Road Mileage Malaysia 2017. [http://rtvm.kkr.gov.my/app/summary\\_list](http://rtvm.kkr.gov.my/app/summary_list) (accessed May 29, 2018).
- [641] Lapuerta M, Rodríguez-Fernández J, Fernández-Rodríguez D, Patino-Camino R. Modeling viscosity of butanol and ethanol blends with diesel and biodiesel fuels. Fuel 2017;199:332–8. doi:10.1016/j.fuel.2017.02.101.
- [642] AOP. Memoria 2016. Madrid: 2017.
- [643] D.G.C. Ministerio de Fomento. Longitudes Prov Todas Las Redes 2017.

- [https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG\\_CASTELLANO/DIRECCIONES\\_GENERALES/CARRETERAS/CATYEVO\\_RED\\_CARRETERAS/Long\\_prov\\_2011\\_2012/](https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/CARRETERAS/CATYEVO_RED_CARRETERAS/Long_prov_2011_2012/) (accessed June 5, 2018).
- [644] Ministerio de Fomento. Evolución de los indicadores económicos y sociales del transporte terrestre. Madrid: 2017.
- [645] Ministerio de Industria Turismo y Comercio. Real Decreto 1088/2010. España: BOE» núm. 215, de 4 de septiembre de 2010; 2010.
- [646] Ministerio de Industria Energía y Turismo. Real Decreto 1085/2015,. España: BOE» núm. 291; 2015.
- [647] Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. CNMC. Estad Biocarburantes 2017. [www.cnmc.es/index.php/estadistica/estadistica-de-biocarburantes](http://www.cnmc.es/index.php/estadistica/estadistica-de-biocarburantes) (accessed November 2, 2017).
- [648] CORES. Informe estadístico anual 2015. 2016.
- [649] Bosch W, Crociani G, Lyde C, Veij W De. Impact of a 10 ppm sulphur specification for transport fuels on the EU refining industry. Brussels: 2000.
- [650] Ministerio de Fomento. Los Transportes y Las Infraestructuras: Informe Anual 2016. 2018.
- [651] Valin H, Peters D, van den Berg M, Frank S, Havlik P, Forsell N, et al. The land use change impact of biofuels in the EU: Quantification of area and greenhouse gas impacts. 2015.
- [652] Malaysian Palm Oil Certification Council. MPOCC 2018. [www.mpocc.org.my](http://www.mpocc.org.my) (accessed June 15, 2018).
- [653] DANE. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Cuentas Nac Trimest 2017. <http://www.dane.gov.co> (accessed February 20, 2018).
- [654] Shadowxfox. Mapa de localización del departamento de Chocó - Colombia. CC BY-SA 30 2012.
- [655] Terpel. Informe de sostenibilidad 2016. 2017.
- [656] Ecopetrol S.A. Ecopetrol. Lo Que Hacemos Inf 2014. <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/lo-que-hacemos/lo-que-hacemos-informacion> (accessed April 20, 2017).
- [657] Grupo Editorial Producto. Petroguía. Prod Ecopetrol Cayó 5,6% Durante 2016 2016. <http://www.petroguia.com/pub/article/producción-de-ecopetrol-cayó-56-durante-2016> (accessed April 20, 2017).
- [658] UPME. Boletín Estadístico: Minas y energía 2012 – 2016. Bogotá: Nuevas Ediciones S.A.; 2016.
- [659] Colmotores G. Innovando en los caminos hacia la sostenibilidad 2013-2014. 2015.
- [660] Vargas A. El Diario. Vía La Virginia-Quibdó, Una Real 2015.
- [661] Instituto Nacional de Vías. Invias. Adjudicado Contrato Para La Vía La Virginia-Quibdó 2015. <https://www.invias.gov.co/index.php/mas/sala/noticias/2350-adjudicado-contrato-para-la-via-la-virginia-quistado> (accessed April 20, 2017).
- [662] Cámara Colombiana de la Infraestructura. Seguimiento a proyectos de infraestructura: Corredores prioritarios para la prosperidad. Bogotá: 2013.
- [663] Instituto Nacional de Vías. INVIAS. Chat Ciudad Tema Corredor Transversal Del Pacífico Fase II 2016:15. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/servicios-al-ciudadano/4738-chat-ciudadano-corredor-transversal-central-del-pacifico-fase-ii/file> (accessed January 18, 2018).
- [664] Alvarez CA, Betancur AF. Estudio de factibilidad para la creación de una empresa de reciclaje de aceite lubricante usado de motor en el Eje Cafetero. Universidad Tecnológica de Pereira, 2015.
- [665] CODECHOCO. Resolución 0426 de 2017 por medio de la cual se concede una Autorización de aprovechamiento forestal único al Consorcio Vías Equidad 050. Colombia: 2017.
- [666] Revista Semana. Semana. La Suerte H H En Colomb y Sus Probl En Panamá 2015.
- [667] DANE. GEIH. Merc Labor - Empl Informal y Segur Soc 2017. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/mercado-laboral/empleo-informal-y-seguridad-social> (accessed February 15, 2018).
- [668] WPR. World Population Review. Kuala Lumpur Popul 2017 n.d. <http://worldpopulationreview.com/world-cities/kuala-lumpur-population/> (accessed March 1, 2018).
- [669] Department of statistics Malaysia. Economic Planning Unit. Gross Domestic Prod by State 2017. <http://epu.gov.my/en> (accessed March 2, 2018).
- [670] Department of statistics Malaysia. Population and housing census of Malaysia 2010. Putrajaya: 2011.
- [671] Department of statistics Malaysia. Economic Planning Unit. Gross Domestic Prod by State 2017.

- [672] Hellerick. Mapa de Malasia. CC BY-SA 40 n.d.
- [673] UD Trucks. Going the extra mile. Ageo: 2018. doi:10.1097/01.NURSE.0000459805.56076.b9.
- [674] UD Trucks Corporation. UD Trucks 2018. [www.udtrucks.com/en-my/dealer-and-importers](http://www.udtrucks.com/en-my/dealer-and-importers) (accessed March 3, 2018).
- [675] Petron Corp. Petron Malaysia. Our Profile 2018. [www.petron.com.my](http://www.petron.com.my) (accessed March 4, 2018).
- [676] UNESCAP. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. Asian Highw Database 2010 AH Netw Memb Ctries 2010. [https://web.archive.org/web/20130125061637/http://www.unescap.org/ttdw/common/tis/ah/Member countries.asp](https://web.archive.org/web/20130125061637/http://www.unescap.org/ttdw/common/tis/ah/Member%20countries.asp) (accessed March 5, 2018).
- [677] PLUS Malaysia Berhad. PLUS. Background 2018. [www.plus.com.my](http://www.plus.com.my) (accessed March 4, 2018).
- [678] UEM Group Berhad. Sustainability report 2015-2016: 50 Years of Sustainable Value & Uniting Lives. Kuala Lumpur: 2016.
- [679] Ipsos Business Consulting. Market Review of Building Materials in the Construction Industry. Kuala Lumpur: 2017.
- [680] Raja Khairul Anuar Bin Raja Abd Karim. Malaysia's BOT method implementation for highway development projects. Ritsumeikan Asia Pacific University, 2012.
- [681] Instituto Nacional de Estadística. INE 2017. [www.ine.es](http://www.ine.es) (accessed June 6, 2018).
- [682] NordNordWest. Mapa de España. CC BY-SA 40 2008.
- [683] Scania AB. Scania. Prod Logist 207AD. [www.scania.com/scaniasodertalje/sv/home/var-verksamhet/produktion-och-logistik.html](http://www.scania.com/scaniasodertalje/sv/home/var-verksamhet/produktion-och-logistik.html) (accessed February 12, 2018).
- [684] Actualidad Media S.L. Aragon digital. Dieciocho Años Después, La Autovía Mudéjar Une Zaragoza y Teruel 2008.
- [685] Oficina de Informacion. Ministerio de Fomento. Nota Prensa Fom Adjudica Las Obras Del Tramo Paniza-Torrubia La Autovía Mudéjar, A-23, En Zaragoza 2004.
- [686] Fundación Ciudadana Civio. Quien cobra la obra. Adjudicaciones Por El Minist Fom 2017. [quiencobraobra.es/administraciones/ministerio-de-fomento](http://quiencobraobra.es/administraciones/ministerio-de-fomento) (accessed January 10, 2018).
- [687] Oficina de Informacion. Ministerio de Fomento. Nota Prensa Fom Final La Autovía A-7 Del Mediterráneo 2015:3.
- [688] OFICEMEN. Anuario del sector cementero español. 2016.
- [689] Asociación Española de Desguazadores y Reciclaje del Automotovil. AEDRA. List Asoc En Zaragoza 2018. [www.aedra.org/Socios/BuscadordeSocios/Zaragoza.aspx](http://www.aedra.org/Socios/BuscadordeSocios/Zaragoza.aspx) (accessed June 18, 2018).
- [690] Sistema de Gestión de Aceites industriales Usados en España. SIGAUS. Gestores Autorizados 2018. [www.sigaus.es/gestores-autorizados](http://www.sigaus.es/gestores-autorizados) (accessed May 2, 2018).
- [691] Sistema Integrado de Gestion de Neumaticos Usados. SIGNUS. Instal Gest 2018. [www.signus.es/instalaciones-de-gestion/](http://www.signus.es/instalaciones-de-gestion/) (accessed June 12, 2018).
- [692] Jaffe AM, Dominguez-Faus R, Lee A, Medlock K, Parker N, Scheitrum D, et al. NextSTEPS White Paper: Exploring the Role of Natural Gas in U.S. Trucking 2015. <http://steps.ucdavis.edu/files/02-18-2015-NextSTEPS-White-Paper-Natural-Gas-in-US-Trucking-18Feb2015-Public-Release.pdf> (accessed March 13, 2015).
- [693] Dodgson JS, Spackman M, Pearman A, Phillips LD. Multi-criteria analysis : a manual. London: 2009.
- [694] Wang JJ, Jing YY, Zhang CF, Zhao JH. Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renew Sustain Energy Rev* 2009;13:2263–78. doi:10.1016/j.rser.2009.06.021.
- [695] Pohekar SD, Ramachandran M. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - A review. *Renew Sustain Energy Rev* 2004;8:365–81. doi:10.1016/j.rser.2003.12.007.
- [696] Wang J, Yang Y, Sui J, Jin H. Multi-objective energy planning for regional natural gas distributed energy: A case study. *J Nat Gas Sci Eng* 2016;28:418–33. doi:10.1016/j.jngse.2015.12.008.
- [697] Deveci M, Demirel NC, John R, Ozcan E. Fuzzy multi-criteria decision making for carbon dioxide geological storage in Turkey. *J Nat Gas Sci Eng* 2015;27:692–705. doi:10.1016/j.jngse.2015.09.004.
- [698] Tudela A, Akiki N, Cisternas R. Comparing the output of cost benefit and multi-criteria analysis: An application to urban transport investment. *Transp Res Part A Policy Pract* 2006;40:414–23. doi:10.1016/j.tra.2005.08.002.
- [699] Yedla S, Shrestha R. Multi-criteria approach for the selection of alternative options for

- environmentally sustainable transport system in Delhi. *Transp Res Part A Policy Pract* 2003;37:717–29. doi:10.1016/S0965-8564(03)00027-2.
- [700] Awasthi A, Chauhan SS. Using AHP and Dempster-Shafer theory for evaluating sustainable transport solutions. *Environ Model Softw* 2011;26:787–96. doi:10.1016/j.envsoft.2010.11.010.
- [701] Beria P, Maltese I, Mariotti I. Multicriteria versus Cost Benefit Analysis: A comparative perspective in the assessment of sustainable mobility. *Eur Transp Res Rev* 2012;4:137–52. doi:10.1007/s12544-012-0074-9.
- [702] Tsita KG, Pilavachi PA. Evaluation of next generation biomass derived fuels for the transport sector. *Energy Policy* 2013;62:443–55. doi:10.1016/j.enpol.2013.07.114.
- [703] Tzeng GH, Lin CW, Opricovic S. Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation. *Energy Policy* 2005;33:1373–83. doi:10.1016/j.enpol.2003.12.014.
- [704] Lanjewar PB, Rao R V., Kale A V. Assessment of alternative fuels for transportation using a hybrid graph theory and analytic hierarchy process method. *Fuel* 2015;154:9–16. doi:10.1016/j.fuel.2015.03.062.
- [705] Levine J, Underwood SE. A multiattribute analysis of goals for Intelligent Transportation System planning. *Transp Res Part C Emerg Technol* 1996;4:97–111. doi:10.1016/0968-090X(96)00004-6.
- [706] Klungboonkrong P, Taylor MAP. A microcomputer-based system for multicriteria environmental impacts evaluation of urban road networks. *Comput Environ Urban Syst* 1998;22:425–46. doi:10.1016/S0198-9715(98)00038-6.
- [707] Poh KL, Ang BW. Transportation fuels and policy for Singapore: An AHP planning approach. *Comput Ind Eng* 1999;37:507–25. doi:10.1016/S0360-8352(00)00020-6.
- [708] Tsamboulas D, Yiotis G., Panou K. Use of multicriteria methods for assessment of transport projects. *J Transp Eng* 1999;125:407–14. doi:10.1061/(ASCE)0733-947X(1999)125:5(407).
- [709] Ferrari P. A method for choosing from among alternative transportation projects. *Eur J Oper Res* 2003;150:194–203. doi:10.1016/S0377-2217(02)00463-0.
- [710] Macharis C, Verbeke A, De Brucker K. the Strategic Evaluation of New Technologies Through Multicriteria Analysis: the Advisors Case. *Res Transp Econ* 2004;8:443–62. doi:10.1016/S0739-8859(04)08019-9.
- [711] Caliskan N. A decision support approach for the evaluation of transport investment alternatives. *Eur J Oper Res* 2006;175:1696–704. doi:10.1016/j.ejor.2005.02.035.
- [712] Liu KFR, Lai J-H. Decision-support for environmental impact assessment: A hybrid approach using fuzzy logic and fuzzy analytic network process. *Expert Syst Appl* 2009;36:5119–36. doi:10.1016/j.eswa.2008.06.045.
- [713] Tuzkaya UR. Evaluating the environmental effects of transportation modes using an integrated methodology and an application. *Int J Environ Sci Technol* 2009;6:277–90. doi:10.1007/BF03327632.
- [714] Kayikci Y. A conceptual model for intermodal freight logistics centre location decisions. *Procedia - Soc Behav Sci* 2010;2:6297–311. doi:10.1016/j.sbspro.2010.04.039.
- [715] Mohajeri N, Amin GR. Railway station site selection using analytical hierarchy process and data envelopment analysis. *Comput Ind Eng* 2010;59:107–14. doi:10.1016/j.cie.2010.03.006.
- [716] Barfod MB, Salling KB, Leleur S. Composite decision support by combining cost-benefit and multi-criteria decision analysis. *Decis Support Syst* 2011;51:167–75. doi:10.1016/j.dss.2010.12.005.
- [717] Portugal L da S, Morgado AV, Júnior OL. Location of cargo terminals in metropolitan areas of developing countries: the Brazilian case. *J Transp Geogr* 2011;19:900–10. doi:10.1016/j.jtrangeo.2010.11.005.
- [718] Turcksin L, Bernardini A, Macharis C. A combined AHP-PROMETHEE approach for selecting the most appropriate policy scenario to stimulate a clean vehicle fleet. *Procedia - Soc Behav Sci* 2011;20:954–65. doi:10.1016/j.sbspro.2011.08.104.
- [719] Duleba S, Mishina T, Shimazaki Y. A Dynamic Analysis on Public Bus Transport's Supply Quality by Using Ahp. *Transport* 2012;27:268–75. doi:10.3846/16484142.2012.719838.
- [720] Haddad M, Fawaz Z. Evaluation of microalgal alternative jet fuel using the AHP method with an emphasis on the environmental and economic criteria. *Environ Prog Sustain Energy* 2012;32:721–33. doi:10.1002/ep.11638.
- [721] Tsita KG, Pilavachi PA. Evaluation of alternative fuels for the Greek road transport sector using the analytic hierarchy process. *Energy Policy* 2012;48:677–86. doi:10.1016/j.enpol.2012.05.079.
- [722] Zubaryeva A, Thiel C, Barbone E, Mercier A. Assessing factors for the identification of potential

- lead markets for electrified vehicles in Europe: Expert opinion elicitation. *Technol Forecast Soc Change* 2012;79:1622–37. doi:10.1016/j.techfore.2012.06.004.
- [723] Jones S, Tefe M, Appiah-Opoku S. Proposed framework for sustainability screening of urban transport projects in developing countries: A case study of Accra, Ghana. *Transp Res Part A Policy Pract* 2013;49:21–34. doi:10.1016/j.tra.2013.01.003.
- [724] Rossi R, Gastaldi M, Gecchele G. Comparison of fuzzy-based and AHP methods in sustainability evaluation: A case of traffic pollution-reducing policies. *Eur Transp Res Rev* 2013;5:11–26. doi:10.1007/s12544-012-0086-5.
- [725] Shiau TA, Liu JS. Developing an indicator system for local governments to evaluate transport sustainability strategies. *Ecol Indic* 2013;34:361–71. doi:10.1016/j.ecolind.2013.06.001.
- [726] Vermote L, Macharis C, Putman K. A road network for freight transport in flanders: Multi-actor multi-criteria assessment of alternative ring ways. *Sustain* 2013;5:4222–46. doi:10.3390/su5104222.
- [727] De Luca S. Public engagement in strategic transportation planning: An analytic hierarchy process based approach. *Transp Policy* 2014;33:110–24. doi:10.1016/j.tranpol.2014.03.002.
- [728] Gardziejczyk W, Zabicki P. The influence of the scenario and assessment method on the choice of road alignment variants. *Transp Policy* 2014;36:294–305. doi:10.1016/j.tranpol.2014.10.001.
- [729] Gogas M, Papoutsis K, Nathanail E. Optimization of Decision-Making in Port Logistics Terminals: Using Analytic Hierarchy Process for the Case of Port of Thessaloniki. *Transp Telecommun J* 2014;15:255–68. doi:10.2478/ttj-2014-0022.
- [730] J. Javid R, Nejat A, Hayhoe K. Selection of CO2 mitigation strategies for road transportation in the United States using a multi-criteria approach. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;38:960–72. doi:10.1016/j.rser.2014.07.005.
- [731] Kengpol A, Tuammee S, Tuominen M. The development of a framework for route selection in multimodal transportation. *Int J Logist Manag* 2014;25:581–610. doi:10.1108/IJLM-05-2013-0064.
- [732] Nosal K, Solecka K. Application of AHP method for multi-criteria evaluation of variants of the integration of Urban public transport. *Transp Res Procedia* 2014;3:269–78. doi:10.1016/j.trpro.2014.10.006.
- [733] Verma A, Rahul TM, Dixit M. Sustainability impact assessment of transportation policies - A case study for Bangalore city. *Case Stud Transp Policy* 2014;3:321–30. doi:10.1016/j.cstp.2014.06.001.
- [734] Macharis C, Meers D, van Lier T. Modal choice in freight transport: combining multi-criteria decision analysis and geographic information systems. *Int J Multicriteria Decis Mak* 2015;5:355–71. doi:10.1504/IJMCDM.2015.074087.
- [735] Ren J, Lützen M. Fuzzy multi-criteria decision-making method for technology selection for emissions reduction from shipping under uncertainties. *Transp Res Part D* 2015;40:43–60. doi:10.1016/j.trd.2015.07.012.
- [736] Buwana E, Hasibuan HS, Abdini C. Alternatives Selection for Sustainable Transportation System in Kasongan City. *Procedia - Soc Behav Sci* 2016;227:11–8. doi:10.1016/j.sbspro.2016.06.037.
- [737] Curiel-Esparza J, Mazario-Diez JL, Canto-Perello J, Martin-Utrillas M. Prioritization by consensus of enhancements for sustainable mobility in urban areas. *Environ Sci Policy* 2016;55:248–57. doi:10.1016/j.envsci.2015.10.015.
- [738] Saaty T, Vargas L. *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*. vol. 175. New York: Springer Science+Business Media; 2001.
- [739] APPA. *Asociacion de empresas de energias renovables. Biocarburantes Energía Renov Para Una Movil Sosten En España* 2015. <http://www.appa.es> (accessed September 28, 2016).
- [740] GASNAM. *Estrategia de Impulso del vehículo con energías alternativas (VEA) en España (2014-2020). Propuesta y comentarios de GASNAM* 2015. <http://www.minetad.gob.es/industria/es-ES/Servicios/estrategia-impulso-vehiculo-energias-alternativas/JornadaJulio2015/presentacion-GASNAM.pdf> (accessed March 15, 2017).
- [741] Macharis C. The importance of stakeholder analysis in freight transport: the MAMCA methodology. *Eur Transp* 2005;25–26:114–26.
- [742] DTTL. *Desarrollo del gas natural vehicular en España : análisis de beneficios y potencial contribución a la economía nacional*. 2014.
- [743] Chandler K. *Norcal prototype LNG truck fleet: Final Results*. 2004.
- [744] Spanish Government. *Real Decreto 1078/2015, de 27 de noviembre, por el que se regula la*

- concesión directa de ayudas para la adquisición de vehículos de energías alternativas, y para la implantación de puntos de recarga de vehículos eléctricos en 2016, MOVEA. Spain: BOE; 2015.
- [745] Spanish Government. Geoportál 2016. [www.geoportalgasolineras.es](http://www.geoportalgasolineras.es) (accessed September 27, 2016).
- [746] European Commission. Taxation and Customs Union. Excise Duty Tables 2016. [http://ec.europa.eu/taxation\\_customs/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/taxation_customs/index_en.htm) (accessed April 5, 2016).
- [747] Spanish Government. Environmental labels. Official State Gazette Num 96, Sec. I. Page 26896. Spain: 2016.
- [748] Mercedes-Benz España. Mercedes-Benz entrega la primera tractora Econic GNL a Acotral 2009. <http://www.mercedes.es/actualidad/noticias/news3.asp?NoNews=1718> (accessed March 18, 2015).
- [749] Fernandez A. Gas natural vehicular. Mercedes-Benz y Allison Hacen Posible Una Distrib Urbana Más Limpia 2015. <http://www.gasvehicular.es/mercedes-benz-y-allison-hacen-posible-una-distribucion-urbana-mas-limpia/> (accessed June 6, 2016).
- [750] NGVA Europe. Statistical Report 2017. 2017.
- [751] GIE. GIE LNG Map 2015. <http://www.gie.eu/index.php/maps-data/lng-map> (accessed August 8, 2015).
- [752] Richter PM, Holz F. All quiet on the eastern front? Disruption scenarios of Russian natural gas supply to Europe. *Energy Policy* 2015;80:177–89. doi:10.1016/j.enpol.2015.01.024.
- [753] Flouri M, Karakosta C, Kladouchou C, Psarras J. How does a natural gas supply interruption affect the EU gas security? A Monte Carlo simulation. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;44:785–96. doi:10.1016/j.rser.2014.12.029.
- [754] Hecking H, John C, Weiser F. An Embargo of Russian Gas and Security of Supply in Europe. *Zeitschrift Für Energiewirtschaft* 2015;39:63–73. doi:10.1007/s12398-014-0145-9.
- [755] Lochner S. Modeling the European natural gas market during the 2009 Russian-Ukrainian gas conflict: Ex-post simulation and analysis. *J Nat Gas Sci Eng* 2011;3:341–8. doi:10.1016/j.jngse.2011.01.003.
- [756] CNMC. Comisión nacional de los mercados y la competencia. Estad Del Merc Hidrocarburos Liq 2016. <https://www.cnmc.es/es-es/energ%25C3%25ADa/hidrocarburos%25C3%25ADquidos/biocarburantes.aspx> (accessed September 28, 2016).
- [757] Stickley DC. Expanding Best Practice: The Conundrum of Hydraulic Fracturing. *Wyoming Law Rev* 2012;12.
- [758] Bilgen S, Sarıkaya İ. New horizon in energy: Shale gas. *J Nat Gas Sci Eng* 2016;35:637–45. doi:10.1016/j.jngse.2016.09.014.
- [759] Ebegbulem JC, Ekpe D, Adejumo TO. Oil Exploration and Poverty in the Niger Delta Region of Nigeria: A Critical Analysis. *Int J Bus Soc Sci* 2013;4:279–87.
- [760] Nwankwo BO. The Politics of Conflict over Oil in the Niger Delta Region of Nigeria: A Review of the Corporate Social Responsibility Strategies of the Oil Companies. *Am J Educ Res* 2015;3:383–92. doi:10.12691/education-3-4-1.
- [761] Marcogaz. The Natural Gas Industry in Europe: key factors for a successful sustainable energy future. MARCOGAZ Sustain Rep 2008. <http://www.marcogaz.org/index.php/environment-health-a-safety> (accessed March 11, 2016).
- [762] Fargione J, Hill J, Tilman D, Polasky S, Hawthorne P. Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science* 2008;319:1235–8. doi:10.1126/science.1152747.
- [763] Wicke B, Dornburg V, Junginger M, Faaij A. Different palm oil production systems for energy purposes and their greenhouse gas implications. *Biomass and Bioenergy* 2008;32:1322–37. doi:10.1016/j.biombioe.2008.04.001.
- [764] Gibbs HK, Johnston M, Foley J a, Holloway T, Monfreda C, Ramankutty N, et al. Carbon payback times for crop-based biofuel expansion in the tropics: the effects of changing yield and technology. *Environ Res Lett* 2008;3:034001. doi:10.1088/1748-9326/3/3/034001.
- [765] Rolande LCNNG. Battle of the trucks 2015. <http://www.battleofthetrucks.nl/> (accessed August 23, 2015).
- [766] Neste. Neste Renewable Diesel. Espoo: 2016.
- [767] Center for Sociological Research. Barómetro de julio 2016. 2016.
- [768] Consorcio energético Corpoema. Diagnostico Plan de desarrollo para las Fuentes no Convencionales de energía en Colombia (PDFNCE). 2010.

- [769] Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial. Resolución 910 de 2008 por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes de fuentes móviles terretres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones. Colombia: 2008.
- [770] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Resolución 1111 de 2013 por la cual se modifica parcialmente la Resolución 910 de 2008. Colombia: 2013.
- [771] Colfecar. La crisis del transporte. *El Contain* 2015;136:4. doi:2145-7956.
- [772] Ministerio del Medio Ambiente. Decreto 948 de 1995, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. Colombia: 1995.
- [773] SAE Heavy-Duty In-Use Emission Standards Committee. SAE J1667 Recommended Practice. 1996.
- [774] Icontec International. Norma técnica colombiana 4231. Colombia: 2012.
- [775] Minister of Science Technology and the Environment of Malaysia. Environmental quality (control of emission from diesel engines) regulations. Malaysia: 1996.
- [776] Yusoff MHM, Abdullah AZ, Sultana S, Ahmad M. Prospects and current status of B5 biodiesel implementation in Malaysia. *Energy Policy* 2013;62:456–62. doi:10.1016/j.enpol.2013.08.009.
- [777] Yusoff MHM, Abdullah AZ, Sultana S, Ahmad M. Prospects and current status of B5 biodiesel implementation in Malaysia. *Energy Policy* 2013;62:456–62. doi:10.1016/j.enpol.2013.08.009.
- [778] Wahab AG. Malaysia Biofuels Annual. Kuala Lumpur: 2017. doi:MY6004.
- [779] Begum RA. Scientific Malaysian. Tackling Clim Chang Malaysia'2 Emiss Reduct Target 2017.
- [780] Lian T. The Implications of the Paris Climate Agreement for Malaysia. *Int J Sci Arts Commer* 2018;3:27–39.
- [781] Ramalingam M, Fuad AA. Short Communication : Sulphur Levels and Fuel Quality in Peninsular Malaysia. *ASEAN J Sci Technol Dev* 2017;32:52–9.
- [782] Anker R, Chernyshev I, Egger P, Mehran F, Ritter J a. Measuring decent work with statistical indicators. *Internatinal Labor Rev* 2003;142. doi:10.1111/j.1564-913X.2003.tb00257.x.
- [783] UNHCR. The UN Refugee Agency 2018. <http://www.unhcr.org> (accessed March 10, 2018).
- [784] The Risk Advisory Group. Risk Advisory. Corrupt Challenges Index 2017. <http://www2.riskadvisory.net/l/135291/2017-01-23/vw8s2> (accessed February 19, 2018).
- [785] DANE. Bolentín Técnico Trabajo Infantil octubre-diciembre 2016. Bogota: 2017.
- [786] Gonzalez Valencia D. La contratación laboral en el sector de la construcción en Colombia : ¿ventajas para quién? *Escenarios Empres y Territ* 2017;6:57–72.
- [787] Arrieta L, Espejo Y, Perez C. Analisis del impacto social proyecto de infraestructura vial Ruta del Sol sector 2. Corporacion Universitaria Uniminuto, 2016.
- [788] Cuervo X. Riesgo Social Ante El Desplazamiento Involuntario Por La Construcción De Proyectos De Infraestructura Vial, Estudio De Caso S.I.T. Metroplus. Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- [789] Farah Q. MA, Garrido E, Maya V. DL, Ortiz G C, Ramos P. D2.1: Stakeholder vision on Social-Ecological System situation in Colombia case study. Bogotá: 2012.
- [790] Redwood J. Managing the Environmental and Social Impacts of a Major IDB- Financed Road Improvement Project in Colombia: The Case of the Pasto-Mocoa Highway. Washington, D.C: 2012.
- [791] Oviedo D. Gestion de riesgos en la construccion de una via en la localidad de San Cristobal Sur, Bogota D.C. Universidad Militar Nueva Granada, 2016.
- [792] Martinez G. Impactos de la construccion de las vias de cuarta generacion sobre la biodiversidad y sus servicios ecosistemicos. Universidad Militar Nueva Granada, 2017.
- [793] Monitor Ciudadano de la Corrupción. Monitor Ciudadano. Sect Más Afect Por La Corrupción 2017. <http://www.monitorciudadano.co/es/blog/post/sectores-mas-afectados-por-la-corrupcion> (accessed February 20, 2018).
- [794] Revista Semana. Semana. Las 1000 Empresas Mas Gd Colomb 2017. <http://digital.semana.com/2017/x1000/index.html> (accessed March 12, 2018).
- [795] Constructora Concreto. Construimos futuro con sentido humano. 2017.
- [796] Grupo Convalvias. Contenido Comunicación de Progreso 2015-2016. 2017.
- [797] DANE. Encuesta Anual Manufacturera. Bogotá: 2017.
- [798] Amnesty International. Amnesty International. Colomb Paramilitary Gr Threat Indig Protesters with 'Social Cleansing' 2013. <https://www.amnesty.org/en/latest/news/2013/10/colombia-paramilitary-group-threatens-indigenous-protesters-social-cleansing/> (accessed January 18,

- 2018).
- [799] El Colombiano S.A & CIA. S.C.A. El Colombiano. Proy Pet Colomb Energy Contaminó El Ambient En Putumayo Corte 2017.
- [800] Tenthoff M. Carbon Trade Watch. La Cem ARGOS En Los Montes María, Colomb 2011. <http://www.carbontradewatch.org/monocultures/la-cementera-argos-en-los-montes-de-maria-colombia.html> (accessed January 18, 2018).
- [801] Verdadabierta.com. Verdad Abierta. Argos No Probó Buena Fe Exenta Culpa En Compra Tierras 2016. <http://www.verdadabierta.com/lucha-por-la-tierra/6233-argos-no-probo-buena-fe-exenta-de-culpa-en-compra-de-tierras> (accessed January 18, 2018).
- [802] Revista Dinero. Dinero. Argos, Cemex y Holcim Pagarán \$200000 Millones Por Cart 2017.
- [803] Alzate M. Guia Academica. Mujeres Ganan Terreno En El Sect Automotriz 2015.
- [804] GM Colmotores. Informe de sostenibilidad 2011-2012. 2013.
- [805] Relatoría. Corte Constitucional de Colombia. Sentenc T-947/13 n.d. <http://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2013/T-947-13.htm> (accessed October 17, 2017).
- [806] Parra J. Asotrecol. Las Maniobras Del Minist Trab Colomb Con Gen Mot Colmotores Indican El Fracaso Del Llamado “Plan Acción Laboral” Del TLC Con Estados Unidos 2014:2. <http://www.asotrecol.org/wp-content/uploads/2013/09/Maniobras-del-MinTrabajo-colombiano-con-GM-Colmotores-indican-fracaso-del-“Plan-de-Acción-Laboral”>.pdf (accessed October 17, 2017).
- [807] Hammer F. Labornotes. US Colomb Auto Work Keep GM Spotlight 2013. <http://www.labornotes.org/blogs/2013/06/us-and-colombian-auto-workers-keep-gm-spotlight> (accessed November 17, 2017).
- [808] SINTRAGM COL Y SINTRAIME. CEDESIP. Despidos Masivos y Vulneración Los Derechos Los Trab En Gen Mot – Colmotores 2016:1. <http://www.cedesip.org/despidos-masivos-y-vulneracion-de-los-derechos-de-los-trabajadores-en-general-motors-colmotores/> (accessed October 17, 2017).
- [809] BBVA Research. Situación Automotriz Colombia. 2017.
- [810] Restrepo-Hoyos MF. Determinates de los salarios en Colombia: ¿Quién gana más que el Salario Mínimo? Universidad de Alcalá, 2016.
- [811] Indeed Inc. Indeed. Evaluaciones GM Colmotores 2017. <https://co.indeed.com/cmp/GM-Colmotores/reviews> (accessed October 14, 2017).
- [812] CSA. Huelga en Colmotores. Américas Info 2012;15:2.
- [813] Valenzuela S. El Espectador. La Huelga Los 1000 Días 2014.
- [814] AIL. Agencia de Información Laboral. Por Despedir Trab Enfermos, Juez Ordena 3 Días Arresto Al Pres Colmotores 2017. <http://ail.ens.org.co/mundo-laboral/despedir-trabajadores-enfermos-juez-ordena-3-dias-arresto-al-presidente-colmotores/>.
- [815] Secretaría Distrital de Ambiente. Observatorio Ambiental de Bogotá. Por Enterrar Residuos Peligrosos En Ronda Del Tunjuelo, Secr Ambient Formula Pliego Cargos a Gen Mot Colmotores SA 2011.
- [816] Avila T. Principios, derechos y pasivos ambientales: Un estudio de caso sobre contaminación por residuos peligrosos en Bogotá D.C. (Colombia). Universidad Nacional de Colombia, 2014.
- [817] GM Colmotores. Chevrolet. Polit Privacidad 2017. <http://www.chevrolet.com.co/politicas-de-privacidad.html> (accessed October 16, 2017).
- [818] CEC. Conferencia Episcopal de Colombia. El Papamóvil Que Usará El Papa En Colomb Será Una Chevrolet Travers 2017. <https://www.cec.org.co/sistema-informativo/destacados/el-papamovil-que-usará-el-papa-en-colombia-será-una-chevrolet> (accessed October 17, 2017).
- [819] Quiceno JC. El Mundo. Gob Nac e Iglesia Católica Cubrirán Gastos Visit Papal 2017.
- [820] Parra J, Hammer F, Shell-Spurling P. Solidarity. Union Situat GM Colmotores 2013. <https://solidarity-us.org/node/3830> (accessed October 18, 2017).
- [821] SIC. Superintendencia de Industria y Comercio. Superindustria Formula Pliego Cargos Contra Gen Mot COLMOTORES 2015. <http://www.sic.gov.co/node/12044> (accessed October 14, 2017).
- [822] Terpel. Informe de Sostenibilidad 2015. 2016.
- [823] Terpel. Informe de Sostenibilidad 2014. 2015.
- [824] Terpel. Reporte de Sostenibilidad 2009. 2010.
- [825] Orjuela T. Terpel. Postura Derechos Humanos 2015:4. <https://www.terpel.com/Global/Sostenibilidad/CO-P-11-Postura-de-derechos-humanos.pdf?id=1057&epslanguage=en>.

- [826] Restrepo-Hoyos MF. Determinates de los salarios en Colombia: ¿Quién gana más que el Salario Mínimo? Universidad de Alcalá, 2016.
- [827] Inc I. Indeed. Eval Terpel 2017. <https://co.indeed.com/cmp/Terpel/reviews>.
- [828] Salgado J. Terpel. Man Proveedores y Contratistas 2014. <https://www.terpel.com/Global/Proveedores/manual-de-proveedores-y-contratistas.pdf> (accessed October 23, 2017).
- [829] RobecoSAM. Corporate Sustainability Assessment. Yearbook 2017. <https://yearbook.robecosam.com/companies/> (accessed October 26, 2017).
- [830] Redacción Vanguardia Liberal. Vanguardia. Planta Terpel Habría Afect Finca Portaña 2017.
- [831] Méndez S. El Espectador. Proceso Sancionatorio a Terpel Por Vertimientos En Caño Barrancabermeja 2017.
- [832] Radio Cadena Nacional S.A.S. La FM. Barrancabermeja Cierran Planta Terpel Por Contam Ambient 2017. <http://www.lafm.com.co/nacional/barrancabermeja-cierran-planta-terpel-contaminacion-ambiental/> (accessed October 17, 2017).
- [833] Diario La Opinion. La Opinion. 2017.
- [834] Organización Terpel S.A. Terpel. Manejo Datos Pers 2013. [https://www.terpel.com/en/Manejo\\_de\\_datos\\_personales/](https://www.terpel.com/en/Manejo_de_datos_personales/) (accessed October 27, 2017).
- [835] Diario La Opinion. La Opinion. Corponor y Terpel, Enfrentados Por Cierre Planta 2017.
- [836] Quiroga C. Inteligencia Petrolera. Fendipetróleo Ataca a Los “peces Gd 2015. <http://inteligenciapetrolera.com.co/inicio/fendipetroleo-ataca-a-los-peces-grandes-las-estaciones-de-gasolina-minoristas-estan-pasando-aceite-por-cristina-quiroya-r/> (accessed October 23, 2017).
- [837] Redacción Economía. El Nuevo Siglo. Bombeo Acusaciones Por Precio Gasolina 2016.
- [838] Morales M. El Tiempo. Minor Piden Igual Ante Mayoristas Para Competir En Gasolina 2015.
- [839] Gossain J. El Tiempo. La Silenc Batalla Que Se Libr En Las Bombas Gasolina 2016.
- [840] Revista Dinero. Dinero. SIC Objetó Compra Combust Exxonmob Colomb Por Parte Terpel 2017.
- [841] Redacción Economía. El Espectador. Rechazan La Compra Terpel a Exxon Mob Por Afect La Libr Competencia 2017.
- [842] CPI. Competition Policy International. Colomb SIC Blocks Terpel’s Acquis Exxonmob Colomb n.d. <https://www.competitionpolicyinternational.com/colombia-sic-stops-acquisition-of-exxonmobil-colombia-by-terpel/> (accessed February 8, 2018).
- [843] Corrillos web. Corrillos. Histórico Fallo MinTrabajo Contra Ecopetrol Por Actos Discrim Antisindical 2017. <http://corrillos.com.co/2017/02/14/historico-fallo-de-mintrabajo-contra-ecopetrol-por-actos-de-discriminacion-antisindical/> (accessed November 17, 2017).
- [844] Junta Directiva Nacional USO. Uso frente obrero. Mintrabajo Sanciona a Ecopetrol SA Por La Exist Del Acuerdo 01 1977 2017. <http://www.usofrenteobrero.org/index.php/actualidad/boletin-de-junta/5960-mintrabajo-sanciona-a-ecopetrol-s-a-por-la-existencia-del-acuerdo-01-de-1977#> (accessed November 17, 2017).
- [845] Almarío M. Vanguardia. Ecopetrol Sancionado Por Bloquear Ingr Sindicalistas a La Refinería 2015.
- [846] AIL. Agencia de Información Laboral. Ecopetrol Le Está Dando Trat “Guerra” a La Protesta Laboral, Denuncia La USO 2017. <http://ail.ens.org.co/informe-especial/ecopetrol-le-esta-dando-tratamiento-guerra-la-protesta-laboral-denuncia-la-uso/> (accessed November 17, 2017).
- [847] Palma E. Las 2 Orillas. La Explot Labor En Reficar 2016. <https://www.las2orillas.co/la-explotacion-laboral-en-reficar/> (accessed November 17, 2017).
- [848] Gonzalez S. El Espectador. Ecopetrol vs La USO 2015.
- [849] Refinería de Cartagena S.A. Informe de gestión 2016. Cartagena de Indias: 2017.
- [850] Asuntos jurídicos USO. Uso frente obrero. MinTrabajo Prohíbe Turnos 12 Horas En Las Refinerías 2016. <http://www.usofrenteobrero.org/index.php/secretarias/asuntos-juridicos-y-laborales/5029-mintrabajo-prohibe-turnos-de-12-horas-en-las-refinerias> (accessed November 17, 2017).
- [851] Almarío M. Vanguardia. Investig a Ecopetrol Por Jornadas 12 Hora 2016.
- [852] Almarío M. Vanguardia. Sancionan a Ecopetrol Por Jornadas 12 Horas 2013.
- [853] Ernesto Taborda. El Universal. El Incend En Ecopetrol Le Apagó La Vida a Tobías Fr 2013.
- [854] Indeed Inc. Indeed. Evaluaciones de Ecopetrol 2017. <https://co.indeed.com/cmp/Ecopetrol/reviews> (accessed November 10, 2017).

- [855] Gobierno de Colombia. Ministerio de Educacion. Unimagdalena y Ecopetrol Se Unen Para Preserv El Patrim Cult La Guajira 2012. <http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/w3-article-315286.html> (accessed November 17, 2017).
- [856] Gobierno de Colombia. Corte Suprema de Justicia. STP10616-2016 Radicación No 86512 2016. [https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=14&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjmxLyL\\_73XAhVPC-wKHbgID4EQFgh3MA0&url=http%3A%2F%2Fwww.cortesuprema.gov.co%2Fcorte%2Fwp-content%2Fuploads%2Frelatorias%2Futelas%2FB%2520OCT2016%2FSTP10616-2016.doc&](https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=14&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjmxLyL_73XAhVPC-wKHbgID4EQFgh3MA0&url=http%3A%2F%2Fwww.cortesuprema.gov.co%2Fcorte%2Fwp-content%2Fuploads%2Frelatorias%2Futelas%2FB%2520OCT2016%2FSTP10616-2016.doc&) (accessed November 17, 2017).
- [857] Gaviria L. El Diario. La Tragedia Un Mes Después 2012.
- [858] Denuncias Semana. Semana. Ecopetrol, En La Mira Por Tragedia En Dosquebradas 2012.
- [859] Arevalo H. Periodico Universidad Nacional. Met Pesados Contam Pastos 2016.
- [860] Peláez-Peláez M-J, Bustamante-Cano J-J, Gómez-López E-D. Presencia de cadmio y plomo en suelos y su bioacumulación en tejidos vegetales en especies de brachiaria en el Magdalena Medio colombiano. *Luna Azul* 2016;43:82–101. doi:10.17151/luaz.2016.43.5.
- [861] Corporacion Aldea Global. Reconversión de sistemas productivos en la cuenca del río san francisco, departamentos de Caldas y Risaralda. *Manizales*: 2014.
- [862] Ecopetrol S.A. Ecopetrol. Ecopetrol Apoya La Soberanía Aliment En Ortega, Tolima 2015. [http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/sala-de-prensa/boletines-de-prensa/Boletines 2015/Boletines 2015/ecopetrol-apoya-la-soberania-alimentaria-en-ortega-tolima!/ut/p/z0/IY4xb8lwEIX\\_SjtkOykCRJjyBkHRi6UC\\_oAkfqYu6MfS3k39d](http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/sala-de-prensa/boletines-de-prensa/Boletines 2015/Boletines 2015/ecopetrol-apoya-la-soberania-alimentaria-en-ortega-tolima!/ut/p/z0/IY4xb8lwEIX_SjtkOykCRJjyBkHRi6UC_oAkfqYu6MfS3k39d) (accessed November 17, 2017).
- [863] Moreno O. El Pais. Huertas Sirven Sustento a 131 Fam Cart 2015.
- [864] Ecopetrol S.A. Ecopetrol. Unidades Product Gall Ponedoras Generan Ingresos a 70 Fam En Orito 2015. [http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/sala-de-prensa/noticias/Noticias-2015/Noticias-2015/unidades-productivas-de-gallinas-ponedoras-generan-ingresos-a-70-familias-en-orito!/ut/p/z0/tY\\_BTsMwDlafhUOPUbJKDDhWCA2xjgkBUslMo3](http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/sala-de-prensa/noticias/Noticias-2015/Noticias-2015/unidades-productivas-de-gallinas-ponedoras-generan-ingresos-a-70-familias-en-orito!/ut/p/z0/tY_BTsMwDlafhUOPUbJKDDhWCA2xjgkBUslMo3) (accessed November 17, 2017).
- [865] Lopez F. La Nacion. 4000 Alevinos Bocachico Sembró Ecopetrol En Río Baché 2017.
- [866] UDI. Universidad de Investigacion y Desarrollo. Visit Ind a Ecopetrol-Barrancabermeja 2017. <http://www.udi.edu.co/8-destacadas-principal/805-noticia-destacada-192> (accessed November 17, 2017).
- [867] RT en Español. Actualidad RT. Decenas Empres Acusadas Financ El Confl Armado En Colomb 2016. <https://actualidad.rt.com/actualidad/218399-colombia-empresas-investigan-guerra-colombia> (accessed November 17, 2017).
- [868] TeleSUR. Business & Human Rights Resource Centre. Colomb Co Charg Crimes Against Humanit 2017. <https://business-humanrights.org/en/colombian-companies-charged-for-crimes-against-humanity> (accessed November 17, 2017).
- [869] Alsema A. Colombia Reports. Chief Prosec Announc Indictments Colomb Biggest Corrupt Scandal Ever 2017. <https://colombiareports.com/colombias-prosecution-announces-indictments-colombias-biggest-corruption-scandal-ever/> (accessed November 17, 2017).
- [870] Reuters Staff. Reuters. Colomb Off Probed Overspending Reficar Refin 2017. <https://af.reuters.com/article/commoditiesNews/idAFL2N1GQ1QQ> (accessed November 17, 2017).
- [871] EFE/El Pais. El Pais. Fisc Imputó Cargos Por Actos Corrupción a Siete Empresas Reficar 2017.
- [872] Redacción Nacional. El Nuevo Siglo. Procur Imputa Peculado a Cúpulas Ecopetrol y Reficar 2017.
- [873] Contraloria delegada intersectorial 11. Contraloria. Proceso Ordin Responsab Fisc Número PRF-2017-00309 UCC-PRF-005-2017 2017. [http://www.contraloria.gov.co/documents/20181/730377/20170310\\_Auto+382+Avoca+conocimiento+y+ordena+apertura+PRF+005-2017+Reficar+Y+Ecopetrol\\_1.PDF/ddd86f6a-69cb-4e7d-a18a-323a1a33dd33?version=1.0](http://www.contraloria.gov.co/documents/20181/730377/20170310_Auto+382+Avoca+conocimiento+y+ordena+apertura+PRF+005-2017+Reficar+Y+Ecopetrol_1.PDF/ddd86f6a-69cb-4e7d-a18a-323a1a33dd33?version=1.0) (accessed November 17, 2017).
- [874] Radio Cadena Nacional S.A.S. La FM. Caso Reficar Juez Impone Medida Asegur a Todos Los Investig 2018. <https://www.lafm.com.co/judicial/caso-reficar-juez-impone-medida-de-aseguramiento-todos-los-investigados/> (accessed January 23, 2018).
- [875] Ecopetrol S.A. Ecopetrol. Código de Ética 2017. [http://www.ecopetrol.com.co/especiales/codigoEtica\\_/index.html](http://www.ecopetrol.com.co/especiales/codigoEtica_/index.html) (accessed November 17,

- 2017).
- [876] Ecopetrol S.A. Reporte integrado de gestion sostenible 2013. 2014.
- [877] Redacción El Tiempo. El Tiempo. Contral Pide Lib Precios La Gasolina 2017.
- [878] Revista Portafolio. Portafolio. Así Se Definen El Precio La Gasolina En Colomb 2015.
- [879] Gerdau S.A. Gerdau Code of Ethics. Porto Alegre: 2017.
- [880] Axioma Comunicaciones. Fierros. Gerdau Diaco Ina Ludoteca Para 299 Niños 2014. <http://fierros.com.co/news/1452/443/Gerdau-Diaco-inaugura-ludoteca-para-299-niños.htm> (accessed November 17, 2017).
- [881] Gerdau S.A. Gerdau Code of Ethics for Third Parties. Porto Alegre: 2017.
- [882] Gerdau. Integrated Report 2016. Porto Alegre: 2017.
- [883] Sinrametal-Cota. Colectivo de Abogados. Gerdau Diaco SA Violenta Derechos Trab Terc 2015. <https://www.colectivodeabogados.org/?Gerdau-Diaco-S-A-violenta-derechos-de-trabajadores-tercerizados> (accessed November 17, 2017).
- [884] Sinrametal-Cota. Colectivo de Abogados. La Multinac Gerdau Diaco, En La Planta Cota, Desmejora Condiciones Para Sus Empleados y Ataca Al Sind 2012. <https://www.colectivodeabogados.org/La-multinacional-Gerdau-Diaco-en> (accessed November 17, 2017).
- [885] Caicedo L, Martinez R, Villalobos S, Murgas I. Análisis del conflicto laboral colectivo y sus mecanismos de solución. Universidad Sergio Arboleda, 2013.
- [886] ACRIP. 40a Investigación Nacional de Salarios y Beneficios. 2015.
- [887] Gobierno de Colombia. Ley No. 1846 por medio de la cual se modifican los artículos 160 y 161 del código sustantivo del trabajo y se dictan otras disposiciones. Colombia: 2017.
- [888] Corresponsables Colombia. Corresponsables. Gerdau Diaco Se Compromete Con La Segur En El Trab 2015. <http://colombia.corresponsables.com/actualidad/gerdau-diacose-compromete-con-la-seguridad-en-el-trabajo> (accessed November 17, 2017).
- [889] Redacción Boyacá 7 Días. El Tiempo. Cris En La Siderúrgica Sinrametal 2013.
- [890] Indeed Inc. Indeed. Evaluaciones de Gerdau Diaco 2017. <https://co.indeed.com/cmp/Gerdau-Diaco/reviews> (accessed November 17, 2017).
- [891] Indeed Inc. Indeed. Evaluaciones de ACEROS DIACO 2017. <https://co.indeed.com/cmp/Aceros-Diaco/reviews> (accessed November 17, 2017).
- [892] Indeed Inc. Indeed. Evaluaciones de DIACO 2017. <https://co.indeed.com/cmp/Diaco/reviews> (accessed November 17, 2017).
- [893] Press IndustriALL. Industriall-union. Sind Gerdau En Colomb Marchan Por El Respeto a Sus Trab 2013. <http://www.industriall-union.org/es/sindicatos-de-gerdau-en-colombia-marchan-por-el-respeto-a-sus-trabajadores> (accessed November 17, 2017).
- [894] Press IndustriALL. Industriall-Union. Trab Gerdau Colomb En Huelga Sufren Represión Polic 2017. <http://www.industriall-union.org/es/trabajadores-de-gerdau-colombia-en-huelga-sufren-represion-policia> (accessed November 17, 2017).
- [895] Gerdau Diaco S.A. Gerdau. Sist Gestión Ambient 2017. <https://www.gerdau.com.co/MEDIOAMBIENTEYSOCIEDAD/Medioambiente/SistemadeGestionAmbient.aspx> (accessed February 9, 2018).
- [896] Diaco S.A. Gerdau. Ley Prot Datos 2013:1. [https://www.gerdau.com.co/Portals/0/Política de Tratamiento.pdf](https://www.gerdau.com.co/Portals/0/Política%20de%20Tratamiento.pdf) (accessed November 17, 2017).
- [897] HSB Noticias. Extra Boyacá. Campeonato Tejo En Boyacá 2015.
- [898] Procolombia. Marca Colombia. ¿SabesCuál Es El Deport Nac Colomb 2017. <http://www.colombia.co/esta-es-colombia/cultura/folclor/sabes-cual-es-el-deporte-nacional-de-colombia/> (accessed November 17, 2017).
- [899] Corporación Grupo Red Andina. Boyacá Radio. Gerdau Diaco Promueve La Protección Las Microcuencas Su Jurisdicción 2017. <http://boyacaradio.com/noticia.php?id=13731> (accessed November 17, 2017).
- [900] Corresponsables Colombia. Corresponsables. Gerdau Diaco Benef a 34925 Con Proy 2017. <http://colombia.corresponsables.com/actualidad/gerdau-diacobeneficia-proyectos> (accessed November 17, 2017).
- [901] Corporación Grupo Red Andina. Boyacá Radio. Más 300 Fam Se Verán Benef Por El Nuevo Parq Recreat Ina En Tuta 2015. <http://boyacaradio.com/noticia.php?id=6007> (accessed November 17, 2017).
- [902] Colprensa. Vanguardia. La Ind Del Acero Se Renueva Por El Medio Ambient 2015.

- [903] Gerdau Diaco S.A. Gerdau. 2016, Un Año En El Que Gerdau Diaco Fortaleció Su Aporte a Colomb 2017. <https://www.gerdau.com.co/MEDIACENTER/NoticiasColombia/NoticiaCol4.aspx> (accessed November 17, 2017).
- [904] Gerdau Diaco S.A. Gerdau. El Cuid Ambient Una Responsab Para Gerdau Diaco 2016. <https://www.gerdau.com.co/MEDIACENTER/NoticiasColombia/NoticiaCol3.aspx> (accessed November 17, 2017).
- [905] Rojas A. Implementación de acciones en el humedal Platanares, corregimiento de Mulalo, municipio de Yumbo, para su conservación y protección por parte de la alcaldía de Yumbo y la empresa Gerdau Diaco. Universidad Santo Tomás, 2017.
- [906] Gerdau. Social responsibility report 2012. Porto Alegre: 2013.
- [907] A la obra Maestros. Maestros. Gerdau Diaco Clausura El Programa "Mujeres Emprend En Yumbo 2015. <https://maestros.com.co/agenda/gerdau-diacoclausura-el-programa-de-mujeres-emprendedoras-en-yumbo/> (accessed November 17, 2017).
- [908] Gerdau Diaco S.A. Gerdau. Gerdau Diaco Comprometida Con La Educ Esc 2013. <https://www.gerdau.com/es/media-center/noticias/gerdau-diacocomprometida-con-la-educacion-escolar> (accessed November 17, 2017).
- [909] Talò P. Periodico El Sol. Gerdau Diaco Ej Segur Ind 2017.
- [910] Pais Minero. Pais Mineor. Gerdau Diaco Fomenta El Conoc Siderúrgico En Tuta 2017. <http://paisminero.com/rse-colombiana/rse-mineria/17846-gerdau-diacofomenta-el-desarrollo-social-y-comunitario> (accessed November 17, 2017).
- [911] Corporación Grupo Red Andina. Boyaca Radio. Gerdau Diaco, Una Apuesta Compromiso Al Desarro Empres En Colomb 2016. <http://boyacaradio.com/noticia.php?id=8342> (accessed November 17, 2017).
- [912] Gerdau Diaco S.A. Gerdau. Man Del Sist Autocontrol y Gest Del Riesgo Lavado Act y Financ Del Terror 2017. [https://www.gerdau.com.co/Portals/0/MANUAL\\_LAVADO\\_DE\\_ACTIVOS.pdf](https://www.gerdau.com.co/Portals/0/MANUAL_LAVADO_DE_ACTIVOS.pdf) (accessed November 17, 2017).
- [913] Gerdau S.A. Gerdau. Emiss Effluents 2017. <https://www.gerdau.com/br/en/environment-and-social-responsibility/environment/emissions-and-effluents> (accessed November 17, 2017).
- [914] Camara Colombiana del Acero. InfoAcero. La Cris Gerdau y Sus Planes Para Salir Ella 2016.
- [915] A la obra Maestros. Maestros. Gerdau Diaco Le Hizo Un Reconoc a 485 Fam Recicladoras 2015. <https://maestros.com.co/agenda/gerdau-diacole-reconocimiento-a-485-familias-recicladoras/> (accessed November 17, 2017).
- [916] UNHCR. The UN Refugee Agency. Contrib to UNHCR - 2017 2018:5. <http://www.unhcr.org/5954c4257.html>.
- [917] Ministry of Internal Affairs and Communications. Japan Statistical Yearbook 2017. Tokyo: 2017.
- [918] CPI. Competition Policy International. Japan Parts Supplier to Settle Antitrust Claims \$212 Million 2017. <https://www.competitionpolicyinternational.com/japan-parts-supplier-to-settle-antitrust-claims-for-212-million/> (accessed March 19, 2018).
- [919] CPI. Competition Policy International. South Korea FTC Slaps Japanese Auto Parts Makers Fine 2017. <https://www.competitionpolicyinternational.com/south-korea-ftc-slaps-japanese-auto-parts-makers-fine/> (accessed March 19, 2018).
- [920] CPI. Competition Policy International. US Japanese Auto Parts Exec Indicted Price-Fixing 2015. [www.competitionpolicyinternational.com/us-japanese-auto-parts-exec-indicted-for-price-fixing/](http://www.competitionpolicyinternational.com/us-japanese-auto-parts-exec-indicted-for-price-fixing/) (accessed March 19, 2018).
- [921] CPI. Competition Policy International. US/Japan DOJ Nabs yet Another Auto Parts Settl 2014. [www.competitionpolicyinternational.com/usjapan-doj-nabs-yet-another-auto-parts-settlement/](http://www.competitionpolicyinternational.com/usjapan-doj-nabs-yet-another-auto-parts-settlement/) (accessed March 19, 2018).
- [922] CPI. Competition Policy International. US/Japan Hitachi next to Pay Auto Parts Price-Fixing 2014. [www.competitionpolicyinternational.com/usjapan-hitachi-next-to-pay-for-auto-parts-price-fixing/](http://www.competitionpolicyinternational.com/usjapan-hitachi-next-to-pay-for-auto-parts-price-fixing/) (accessed March 19, 2018).
- [923] CPI. Competition Policy International. Japan Yazaki Settles Car Parts Price-Fixing Suit \$76M 2014. [www.competitionpolicyinternational.com/japan-yazaki-settles-car-parts-price-fixing-suit-for-76m/](http://www.competitionpolicyinternational.com/japan-yazaki-settles-car-parts-price-fixing-suit-for-76m/) (accessed March 19, 2018).
- [924] CPI. Competition Policy International. Japan China's Hist Fines Showed Leniency Auto Parts Price-Fixers 2014. [www.competitionpolicyinternational.com/japan-chinas-historic-fines-showed-leniency-for-auto-parts-price-fixers/](http://www.competitionpolicyinternational.com/japan-chinas-historic-fines-showed-leniency-for-auto-parts-price-fixers/).
- [925] UNHCR. Global Trends: Forced Displacement in 2016. 2016.

- [926] Department of Statistics Malaysia. Economic census 2016. Putrajaya: 2016.
- [927] UD Trucks Corporation. CSR Report. Ageo: 2017.
- [928] Volvo Group. Code of Conduct. 2012.
- [929] Volvo Group. Annual and Sustainability Report 2016. 2017.
- [930] The Volvo Group. Key Elements Procedure 6 Corporate Social Responsibility. 2016.
- [931] Mike Rutherford. Autoexpress. Glob Car Manuf Wage Gap What Do Car Fact Work Earn? 2017.
- [932] Ministry of Health Labour and Welfare. MHLW. Labour Stat 2017.  
<http://www.mhlw.go.jp/english/database/db-l/index.html> (accessed March 8, 2018).
- [933] UD Trucks Corporation. CSR Report. Ageo: 2016.
- [934] CPI. Competition Policy International. EU Comm Slaps Rec Cart Fine \$324 Billion Truck Firms 2016. <https://www.competitionpolicyinternational.com/eu-commission-slaps-record-cartel-fine-of-3-24-billion-on-truck-firms/> (accessed March 8, 2018).
- [935] Petron Malaysia. A more rewarding journey: 2016 Annual Report & Accounts. Kuala Lumpur: 2017.
- [936] Petron Malaysia. Bringing great moments together: 2015 Annual Report & Accounts. Kuala Lumpur: 2016.
- [937] Petron Corp. Petron 2012 Sustainability Report. Mandaluyong City: 2012.
- [938] Petron Malaysia. Standards of business conduct. Kuala Lumpur: 2013.
- [939] Department of statistics Malaysia. Salaries & Wages Survey report 2016. Putrajaya: 2017. doi:2289-3083.
- [940] ILO. NATLEX. Malaysia Employ Act 1955 2017.  
<https://www.ilo.org/dyn/natlex/docs/WEBTEXT/48055/66265/E55mys01.htm> (accessed March 14, 2018).
- [941] Petron Corp. Going full speed: 2015 Annual Report. Mandaluyong City: 2016. doi:10.1016/B978-0-444-63489-4.09001-8.
- [942] TMR Media Sdn Bhd. The Malaysian Reserve. Petron Aims High 2017 Mark Share 2017.
- [943] The Star Newspaper. The Star Online. Petron Malaysia Expans Drive to Grow Mark Share 2016.
- [944] UEM Group Berhad. Synergistic Growth: Sustainability Report 2013/2014. Petaling Jaya: 2015.
- [945] UEM Group Berhad. Harmonising people, planet and profit: Sustainability Report 2012. Petaling Jaya: 2013.
- [946] Department of statistics Malaysia. Economic census 2016 - Construction. Putrajaya: 2017.
- [947] UEM Group Berhad. UEM. Corp Responsib 2018. <http://www.uem.com.my/cr.aspx> (accessed March 13, 2018).
- [948] Chong OB, Izhar S, Yamada C. Passive air sampling of nitrogen dioxide within serdang area. J Built Environ Technol Eng 2017;2:191-7.
- [949] U.S. EPA. EPA. Air Qual Guid Nitrogen Dioxide 2011:2. <https://www3.epa.gov/airnow/no2.pdf> (accessed March 16, 2018).
- [950] Bernama. Malaysiakini. Court Orders Plus to Pay RM158,961 to EC Off Wife 2017.  
<https://www.malaysiakini.com/news/385816> (accessed March 15, 2018).
- [951] CCOO. Construcción y servicios. Edif y Obra Civ 2017.  
[construccionyservicios.ccoo.es/fcs/Sectores:Edificacion\\_y\\_Obra\\_Civil](http://construccionyservicios.ccoo.es/fcs/Sectores:Edificacion_y_Obra_Civil) (accessed February 1, 2018).
- [952] Quílez R, Hernandez V. El Mundo. Empl Sumergido 2017. [www.elmundo.es/especiales/vivir-en-negro/empleo-sumergido.html](http://www.elmundo.es/especiales/vivir-en-negro/empleo-sumergido.html) (accessed May 3, 2018).
- [953] Sanchez G, Sanchez R. El diario. España, Entre Los Estados Que Más Han Incumplido Su Cuota Refug Junto a Los Países Del Este 2017.
- [954] INECO. Anejo nº 16. Estudio de impacto ambiental. Madrid: 2017.
- [955] Servicio de Empleo Público Estatal (SEPE). Informe del Mercado de Trabajo de los Extranjeros Estatal. 2016.
- [956] Servicio de Empleo Público Estatal (SEPE). Observatorio de las Ocupaciones 2017 Informe del Mercado de Trabajo Estatal. Madrid: 2016.
- [957] Minetad. Informe Anual 2016. Madrid: 2017.
- [958] Informa D&B. El Economista. Rank Empres Españolas Por Facturación 2017. [ranking-empresas.eleconomista.es/](http://ranking-empresas.eleconomista.es/) (accessed April 15, 2018).
- [959] Fundación Ciudadana Civio. Quien cobra la obra. Grup Constr 2017.  
[quiencobralaobra.es/grupos-constructores](http://quiencobralaobra.es/grupos-constructores) (accessed March 2, 2018).
- [960] Actividades de Construcción y Servicios -ACS. Grupo ACS. Plan 20-20 2018.

- /www.grupoacs.com/responsabilidad-corporativa/estrategia-de-rsc/plan-20-20/ (accessed May 17, 2018).
- [961] ACCIONA. Informe integrado. Madrid: 2017.
- [962] FCC Construcción. Comunicación Medioambiental. Barcelona: 2017.
- [963] Ferrovial. Informe Anual Integrado 2017. Madrid: 2017.
- [964] Sacyr. Informe integrado. Madrid: 2016.
- [965] Navas J. El Confidencial. La CNMC Desmonta El 'Cártel La Basura' Formado Por ACS, FCC, Ferrov y Sacyr 2015.
- [966] El País. Cinco Días. La CNMC Reabre El Exped Contra El "cártel La Basura" Tras Anular La Audiencia Las Multas 2018.
- [967] CPI. Competition Policy International. España Investig CNMC Contratación Obra Pública En El País 2017.
- [968] Statistics Sweden. SCB 2017. <http://www.statistikdatabasen.scb.se> (accessed March 3, 2018).
- [969] CPI. Competition Policy International. EU Car Parts Cart Hit with \$13B Fine 2014.
- [970] Salary Explorer. Salary Explorer. Aver Salary Surv 2016 Niger 2017. [www.salaryexplorer.com/salary-survey.php?loc=158&loctype=1&sty=2016](http://www.salaryexplorer.com/salary-survey.php?loc=158&loctype=1&sty=2016) (accessed May 4, 2018).
- [971] Amnesty International. Another Flawed Oil Spill Investigation in the Niger Delta. London: 2012.
- [972] Amnesty International. Amnesty. Niger Int Civ Soc Call Clean-up Oil Pollut Niger Delta to Final Begin 2017. [www.amnesty.org/en/documents/afr44/6411/2017/en/](http://www.amnesty.org/en/documents/afr44/6411/2017/en/) (accessed April 15, 2018).
- [973] Amnesty International. Negligende in the Niger Delta. London: 2018.
- [974] Amnesty International. Amnesty. Investig Shell Complicity Murd Rape Torture 2017. [www.amnesty.org/en/latest/news/2017/11/investigate-shell-for-complicity-in-murder-rape-and-torture/](http://www.amnesty.org/en/latest/news/2017/11/investigate-shell-for-complicity-in-murder-rape-and-torture/) (accessed March 26, 2018).
- [975] The World Bank Group. World Bank. Employ Ind (% Total Employment) 2017. [data.worldbank.org/indicator/SL.IND.EMPL.ZS?locations=NG](http://data.worldbank.org/indicator/SL.IND.EMPL.ZS?locations=NG) (accessed May 25, 2018).
- [976] National Bureau of Statistics. Formal and Informal Sector Split of Gross Domestic Product. 2016.
- [977] CPI. Competition Policy International. Spain Regul Dismantels Astur Cem Cart 2017.
- [978] CPI. Competition Policy International. España Destapa CNMC a Cártel En Cem – 29 Millones En Multas 2016.
- [979] Scania AB. Code of Conduct. Södertälje: 2017.
- [980] Scania AB. The Scania Report 2016: Annual and Sustainability Report. Södertälje: 2016.
- [981] Scania AB. Supplier Code of Conduct. Södertälje: 2017.
- [982] Scania AB. Annual and Sustainability report 2015. Södertälje: 2015.
- [983] Eurostat. Eurostat. Labour Cost, Wages Salaries (Including Apprent by NACE Rev 2 Act - LCS Surv 2008 2012 2016. [appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do) (accessed April 3, 2018).
- [984] EUROFOUND Fondazione europea per il miglioramento delle condizioni di vita e di lavoro. Sixth European Working Conditions Survey - Overview report (2017 update). 2017. doi:10.2806/422172.
- [985] Scania AB. Scania. Priv Statement 2017. [www.scania.com/group/en/privacy-statement/](http://www.scania.com/group/en/privacy-statement/) (accessed April 3, 2018).
- [986] Sveriges Radio AB. Sveriges Radio. Swedish Factories Cut Lang Requir as Prod Booms 2017.
- [987] Manfredini S. European Movement International. UNITEE Harnessing Ski Migr Work Sweden 2017.
- [988] European Commission. Press release database. Dly News 27 / 09 / 2017 2017.
- [989] CPI. Competition Policy International. UE Com Golpea a Fabr Scania Con Multa Por Cártel \$1,000 Millones 2017. [www.competitionpolicyinternational.com/ue-comision-golpea-a-fabricante-scania-con-multa-por-cartel-de-1000-millones/](http://www.competitionpolicyinternational.com/ue-comision-golpea-a-fabricante-scania-con-multa-por-cartel-de-1000-millones/) (accessed April 3, 2018).
- [990] Scania AB. Scania Year-end Report January–December 2016. Södertälje: 2017.
- [991] SKF AB. SKF. SKF Technol Sel by Scania New Gener Truck 2016. [www.skf.com/group/news-and-media/news-search/2016-09-08-SKF-technologies-selected-by-Scania-for-new-generation-of-trucks-2297926.html](http://www.skf.com/group/news-and-media/news-search/2016-09-08-SKF-technologies-selected-by-Scania-for-new-generation-of-trucks-2297926.html) (accessed April 15, 2018).
- [992] Repsol S.A. Informe de Sostenibilidad. Madrid: 2015.
- [993] Grupo Repsol. Informe de Sostebinilidad Indicadores de detalles 2016. Madrid: 2016.
- [994] Repsol S.A. Informe de Sostenibilidad 2016. Madrid: 2016.
- [995] STR. XI Convenio colectivo Repsol Petróleo S.A. España: 2016.

- [996] Ministerio de Industria Energía y Turismo. Refino de Petróleo. 2016.
- [997] INE. Encuesta de Estructura Salarial 2014. 2016.
- [998] Ministerio de Empleo y Seguridad Social. Ley del Estatuto de los Trabajadores. España: 2015.
- [999] Grupo Repsol. Repsol 2018. [www.repsol.com](http://www.repsol.com) (accessed June 8, 2018).
- [1000] Repsol S.A. Repsol Global. Satisf Del Cliente 2017. [www.repsol.com/es/conocenos/que-hacemos/downstream/clientes/index.cshtml](http://www.repsol.com/es/conocenos/que-hacemos/downstream/clientes/index.cshtml) (accessed November 5, 2017).
- [1001] Repsol S.A. Fundacion Repsol. Volunt Repsol 2017. [www.voluntariado.fundacionrepsol.com/](http://www.voluntariado.fundacionrepsol.com/) (accessed December 2, 2017).
- [1002] Reps. Complejo Industrial Tarragona. Entorno y Comunidad 2017.
- [1003] Repsol S.A. Complejo Industrial Puertollano. Entorno y Comunidad 2017. [puertollano.repsol.es/es/entorno-comunidad/nuestro-entorno/proyectos-sociales/index.cshtml](http://puertollano.repsol.es/es/entorno-comunidad/nuestro-entorno/proyectos-sociales/index.cshtml) (accessed December 5, 2017).
- [1004] Repsol S.A. Código de ética y conducta. Madrid: 2016.
- [1005] Repsol S.A. Código de ética y conducta de Proveedores. Madrid: 2016.
- [1006] El Diario del Norte. El Diario. Medio Ambient Multa a Petronor Por Un Escape Del Que No Informó "Inmediatamente" 2015.
- [1007] EM. Ekologistak Martxan. La Sanción a Petronor Posit Pero Insufic 2015. [www.ekologistakmartxan.org/2015/11/05/la-sancion-a-petronor-positiva-pero-insuficiente/#](http://www.ekologistakmartxan.org/2015/11/05/la-sancion-a-petronor-positiva-pero-insuficiente/#) (accessed December 2, 2017).
- [1008] Europa Press. 20 minutos. Arco Iris Denuncia Que La Avería En La Refinería A Coruña Provocó "Picos Ilegales" Dióxido Azufre.
- [1009] Gimenez L. Radio Murcia. "REPSOL Está Fallando" 2016.
- [1010] La Voz. La Voz de Galicia. La Contam y Los Ruidos La Refinería Generan Malestar Vecin 2015.
- [1011] Europa Press. EP Castilla-La Mancha. Piden La Paraliz Prev Del Complejo Petroquímico Puertollano En Casos Contam Por Ozono 2017.
- [1012] Elorduy P. Diagonal. Algo Huele a Azufre En La Ind Más Contam 2014.
- [1013] Carrión J, Sales A, Martí J, Marco I, Sánchez R, Serra M. Las cajas de ahorros vascas: análisis de impactos sociales y medioambientales. Euskadi: 2012.
- [1014] Petróleos del Norte S.A. Petronor 2015:8. [petronor.eus/wp-content/uploads/2015/05/petronor-el-correo.pdf](http://petronor.eus/wp-content/uploads/2015/05/petronor-el-correo.pdf) (accessed December 15, 2017).
- [1015] Ribelles E. La Verdad. Repsol Instal Un Sist Para Reducir Las Columnas Humo En Escombreras 2016.
- [1016] Eiroa E. La Voz de Galicia. El Análisis Riesgos Para La Refinería No Modif El PGOM 2014.
- [1017] D. Moreno. ABC. La Fábrica Diesel Más Mod Eur 2013.
- [1018] Repsol S.A. Plan Global de Sostenibilidad a 2020. Madrid: 2018.
- [1019] Repsol S.A. Informe de responsabilidad corporativa. Madrid: 2014.
- [1020] Noceda M, Jimenez M. El País. Competencia Multa Con 32,4 Millones a Cinco Pet Por Pactar Precios 2015.
- [1021] Mendez R. El Confidencial. La Audiencia Anula La Multa Competencia a Repsol 22 Millones Por Un Error Form 2017.
- [1022] Repsol S.A. Actualización de la estrategia: Crecimiento y valor en cualquier escenario 2018.
- [1023] INE. Instituto Nacional de Estadística. Encuesta Anu Estruct Salarial 2018:11.
- [1024] Ministerio de Fomento. Observatorio Transporte. El Transp y Sus Indicadores 2017. [observatoriotransporte.fomento.es/BDOTLE/indicadores.aspx?c=33](http://observatoriotransporte.fomento.es/BDOTLE/indicadores.aspx?c=33) (accessed April 3, 2018).

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura I.1. Demanda energética global por fuentes en el sector del transporte.....   | 1   |
| Figura I.2. Evolución del consumo de energía final por sector en EU-28.....  | 2   |
| Figura I.3. Evolución de las emisiones de GEI por sector en la UE.....   | 3   |
| Figura I.4. Distribución del total de emisiones de GEI al interior de la UE por modos en 1990 y 2015.....                  | 3   |
| Figura I.5. Consumo de energía final en el sector del transporte por tipo de combustible en la UE.....                     | 4   |
| Figura I.6. Consumo energético por el transporte interior en la UE.....  | 5   |
| Figura I.7. Distribución de tkm de mercancía transportada en el interior de la UE, por modos y por países, 2015.....       | 6   |
| Figura I.8. Evolución del consumo final de energía por el transporte respecto al PIB en la UE.....                         | 7   |
| Figura I.9. Evolución emisiones de MP y NOx en el sector del transporte en la UE.....                                      | 9   |
| Figura I.10. Contribución de las diferentes categorías en los costos externos asociados a los camiones.                    | 14  |
| Figura II.1. Límites del sistema de procesos del transporte.....   | 29  |
| Figura II.2. Distribución de emisiones asociadas al transporte de mercancías por procesos del sistema.....                 | 45  |
| Figura II.3. Consumo energético y emisiones por tkm de mercancías transportadas en California.....                         | 46  |
| Figura III.1. Componentes del sistema de transporte.....   | 66  |
| Figura III.2. Procesos centrales del sistema de transporte.....  | 67  |
| Figura III.3. Límites del sistema de transporte simplificado.....  | 69  |
| Figura III.4. Esquema de evaluación de impactos de un ACV.....   | 71  |
| Figura III.5. Delimitación del sistema del ASCV por actividades y nivel de análisis.....                                   | 98  |
| Figura III.6. Características de los tipos de modelos de caracterización de impactos sociales.....                         | 115 |
| Figura III.7. Ejemplo de frecuencia relativa de respuestas.....  | 121 |
| Figura III.8. Frecuencia relativa respuestas a la pregunta en etiquetas lingüísticas.....                                  | 121 |
| Figura IV.1. Situación geográfica de la ruta Pereira-Quibdó en Colombia (sin escala).....                                  | 133 |
| Figura IV.2. Ruta Pereira-Quibdó (vista satelital inclinada, sin escala). Adaptada de.....                                 | 136 |
| Figura IV.3. Perfil de elevación recorrido interurbano Pereira-Quibdó.....   | 136 |
| Figura IV.4. Contribución procesos en resultados de caracterización método ReCiPe 2008 <i>midpoints</i> caso Colombia..... | 150 |
| Figura IV.5. Contribución procesos en resultados de caracterización método ReCiPe 2016 <i>midpoints</i> caso Colombia..... | 150 |
| Figura IV.6. Resultados de caracterización normalizados método ReCiPe 2008 <i>midpoints</i> caso Colombia.....             | 151 |
| Figura IV.7. Contribución procesos en resultados agregados método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso Colombia.....          | 152 |
| Figura IV.8. Contribución procesos en resultados agregados método ReCiPe 2016 <i>endpoints</i> caso Colombia.....          | 153 |
| Figura IV.9. Normalización resultados agregados método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso Colombia.....                     | 153 |
| Figura IV.10. Resultados de la ponderación método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso Colombia.....                          | 154 |
| Figura IV.11. Contribución por proceso a los daños finales método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso Colombia.....          | 154 |
| Figura IV.12. Contribución por proceso al impacto medioambiental total del sistema caso Colombia.....                      | 155 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura IV.13. Resultados de caracterización normalizados Proceso Tráfico, ReCiPe 2008 <i>midpoints</i> caso Colombia .....   | 156 |
| Figura IV.14. Proceso de producción y distribución de 1 kg de diésel B10 en estación Pereira. Contribución de actividades, caracterización método ReCiPe 2008 .....                | 157 |
| Figura IV.15. Proceso de producción y distribución de 1 kg de diésel B10 en estación Pereira. Contribución de actividades, caracterización método ReCiPe 2016 .....                | 158 |
| Figura IV.16. Contribución por proceso al impacto medioambiental total del sistema caso Colombia (ajustado) .....  | 160 |
| Figura IV.17. Contribución por proceso al impacto medioambiental total del sistema caso Colombia (ajustado), perspectiva jerárquica .....  | 160 |
| Figura IV.18. Situación geográfica de la ruta Kuala Lumpur-Kulim en Malasia (sin escala) .....   | 163 |
| Figura IV.19. Perfil de elevación recorrido Kuala Lumpur – Kulim [627] .....   | 165 |
| Figura IV.20. Tramos de mayor elevación de la ruta Kuala Lumpur – Kulim (vista inclinada, sin escala) .....  | 165 |
| Figura IV.21. Contribución procesos en resultados de caracterización método ReCiPe 2008 <i>midpoints</i> caso Malasia .....  | 176 |
| Figura IV.22. Contribución procesos en resultados de caracterización método ReCiPe 2016 <i>midpoints</i> caso Malasia .....  | 176 |
| Figura IV.23. Resultados de caracterización normalizados método ReCiPe 2008 <i>midpoints</i> caso Malasia .....  | 177 |
| Figura IV.24. Contribución procesos en resultados agregados método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso Malasia .....   | 178 |
| Figura IV.25. Contribución procesos en resultados agregados método ReCiPe 2016 <i>endpoints</i> caso Malasia .....   | 178 |
| Figura IV.26. Normalización resultados agregados método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso Malasia .....  | 179 |
| Figura IV.27. Resultados de la ponderación método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso Malasia .....  | 180 |
| Figura IV.28. Contribución por proceso a los daños finales método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso Malasia .....  | 180 |
| Figura IV.29. Contribución por proceso al impacto medioambiental total del sistema caso Malasia .....  | 180 |
| Figura IV.30. Resultados de caracterización normalizados Proceso producción combustible (167 kg diésel B7), ReCiPe 2008 <i>midpoints</i> caso Malasia .....                        | 182 |
| Figura IV.31. Situación geográfica de la ruta Zaragoza-Almusafes en España (sin escala) .....  | 185 |
| Figura IV.32. Perfil de elevación recorrido Zaragoza-Almusafes .....   | 187 |
| Figura IV.33. Contribución procesos en resultados de caracterización método ReCiPe 2008 <i>midpoints</i> caso España .....   | 197 |
| Figura IV.34. Contribución procesos en resultados de caracterización método ReCiPe 2016 <i>midpoints</i> caso España .....   | 197 |
| Figura IV.35. Resultados de caracterización normalizados método ReCiPe 2008 <i>midpoints</i> caso España .....   | 198 |
| Figura IV.36. Contribución procesos en resultados agregados método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso España .....  | 199 |
| Figura IV.37. Contribución procesos en resultados agregados método ReCiPe 2016 <i>endpoints</i> caso España .....  | 199 |
| Figura IV.38. Normalización resultados agregados método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso España .....   | 200 |
| Figura IV.39. Resultados de la ponderación método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso España .....   | 200 |
| Figura IV.40. Contribución por proceso a los daños finales método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso España .....   | 201 |
| Figura IV.41. Contribución por proceso al impacto medioambiental total del sistema caso España .....   | 201 |
| Figura IV.42. Contribución de actividades en resultados de caracterización para el proceso Producción combustible (1 kg diésel B5), ReCiPe 2008 <i>midpoints</i> caso España ..... | 202 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura IV.43. Contribución de cada proceso del sistema al impacto medioambiental global para cada caso estudiado.....    | 206 |
| Figura IV.44. Ubicación departamento de Chocó (en rojo) y Risaralda (en azul). .....                                     | 209 |
| Figura IV.45. Delimitación sistema de transporte para el caso Colombia .....   | 210 |
| Figura IV.46. Redelimitación sistema de transporte para el caso a estudio en Colombia .....                              | 215 |
| Figura IV.47. Índices de impacto social de los procesos del sistema por categoría caso Colombia .....                    | 220 |
| Figura IV.48. Índices de impacto social de los procesos del sistema por <i>stakeholder</i> caso Colombia .....           | 220 |
| Figura IV.49. Índices de impacto social del sistema por categoría caso Colombia .....                                    | 222 |
| Figura IV.50. Índices de impacto social del sistema por stakeholder caso Colombia .....                                  | 222 |
| Figura IV.51. Índices de prioridad de las categorías de impacto social .....   | 222 |
| Figura IV.52. Índices de desempeño social por cada eslabón del sistema de transporte caso Colombia .....                 | 223 |
| Figura IV.53. Índices de impacto social del sistema por categorías en diferentes escenarios caso Colombia .....          | 227 |
| Figura IV.54. Índices de impacto social del sistema por <i>stakeholders</i> en diferentes escenarios caso Colombia ..... | 227 |
| Figura IV.55. Área metropolitana de Kuala Lumpur (en azul) y Penang (en rojo) en Malasia peninsular. ....                | 232 |
| Figura IV.56. Delimitación sistema de transporte para el caso Malasia .....  | 233 |
| Figura IV.57. Índices de impacto social de los procesos del sistema por categoría caso Malasia .....                     | 240 |
| Figura IV.58. Índices de impacto social de los procesos del sistema por <i>stakeholder</i> caso Malasia .....            | 240 |
| Figura IV.59. Índices de impacto social del sistema por categoría caso Malasia .....                                     | 241 |
| Figura IV.60. Índices de impacto social del sistema por <i>stakeholder</i> caso Malasia.....                             | 242 |
| Figura IV.61. Índices de prioridad de las categorías de impacto social caso Malasia.....                                 | 242 |
| Figura IV.62. Índices de desempeño social por cada eslabón del sistema de transporte caso Malasia ..                     | 243 |
| Figura IV.63. Índices de impacto social del sistema por categorías en diferentes escenarios caso Malasia .....           | 246 |
| Figura IV.64. Índices de impacto social del sistema por <i>stakeholders</i> en diferentes escenarios caso Malasia .....  | 246 |
| Figura IV.65. Provincia de Zaragoza (en naranja) y provincia de Valencia (en azul) en España. ....                       | 251 |
| Figura IV.66. Delimitación sistema de transporte para el caso a estudio en España .....                                  | 252 |
| Figura IV.67. Índices de impacto social de los procesos del sistema por categoría caso España .....                      | 258 |
| Figura IV.68. Índices de impacto social de los procesos secundarios por <i>stakeholder</i> caso España .....             | 258 |
| Figura IV.69. Índices de impacto social del sistema por categoría caso España .....                                      | 259 |
| Figura IV.70. Índices de impacto social del sistema por <i>stakeholder</i> caso España.....                              | 260 |
| Figura IV.71. Índices de prioridad de las categorías de impacto social caso España.....                                  | 260 |
| Figura IV.72. Índices de desempeño social por cada eslabón del sistema de transporte caso España ...                     | 261 |
| Figura IV.73. Índices de impacto social del sistema por categorías en diferentes escenarios caso España .....            | 263 |
| Figura IV.74. Índices de impacto social del sistema por <i>stakeholders</i> en diferentes escenarios caso España .....   | 263 |
| Figura IV.75. Índices de prioridad de categorías de impacto social por caso estudiado. ....                              | 268 |
| Figura V.1. Guía para la evaluación de la sostenibilidad del transporte .....  | 276 |
| Figura V.2. Vectores de prioridad global .....   | 288 |
| Figura V.3. Índices de sostenibilidad por escenario .....  | 289 |
| Figura V.4. Índices de sostenibilidad por escenario utilizando subcriterios tradicionales .....                          | 290 |
| Figura V.5. Índices de sostenibilidad por escenario (casos hipotéticos) .....  | 291 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabla II.1. Normativa para el control de emisiones procedentes de vehículos pesados de motor diésel.  | 22  |
| Tabla II.2. Normativa sobre emisiones de vehículos diésel pesados en los Estados Unidos y la Unión Europea .....  | 22  |
| Tabla II.3. Límites de opacidad para vehículos diésel permisibles en Europa .....   | 23  |
| Tabla II.4. Clasificación de subcategorías de impacto por <i>Stakeholder</i> para el ASCV, UNEP/SETAC.....  | 35  |
| Tabla II.5. Casos de estudio de ACV en carreteras .....   | 43  |
| Tabla II.6. Definiciones de Responsabilidad Social Corporativa- RSC.....  | 48  |
| Tabla II.7. Diferencias entre ASCV y RSC.....   | 48  |
| Tabla II.8. Estructura de la base de datos SHDB .....   | 50  |
| Tabla III.1. Factores de emisión de CH <sub>4</sub> para vehículos pesados (mg/km) .....  | 78  |
| Tabla III.2. Factores de reducción de emisiones de CH <sub>4</sub> por tecnología Euro para vehículos pesados (%)   | 78  |
| Tabla III.3. Factores de emisión de N <sub>2</sub> O para vehículos pesados (mg/km).....  | 78  |
| Tabla III.4. Factores de emisión de NH <sub>3</sub> para vehículos pesados (mg/km).....   | 79  |
| Tabla III.5. Fracción de NO <sub>2</sub> en las emisiones de NO <sub>x</sub> en vehículos pesados (%) .....   | 79  |
| Tabla III.6. Tasas de variación en las emisiones para vehículos pesados diésel con mezclas de biodiésel   | 79  |
| Tabla III.7. Factores de emisión de metales pesados en el diésel en ppm .....   | 80  |
| Tabla III.8. Factores de emisión de metales pesados en el aceite de motor en ppm.....   | 80  |
| Tabla III.9. Factores de emisión de HAPs y COPs (µg/km) .....   | 81  |
| Tabla III.10. Factores de emisión de DDPCs, DFPCs y BPCs (pg/km) .....  | 81  |
| Tabla III.11. Fracción de alcanos, cicloalcanos, alquenos y alquinos del total de emisiones de COVDM  | 81  |
| Tabla III.12. Fracción de aldehídos y aromáticos del total de emisiones de COVDM.....   | 82  |
| Tabla III.13. Fracción de MP <sub>&gt;10</sub> , MP <sub>2.5-10</sub> y MP <sub>&lt;2.5</sub> contenido en el TMP por origen .....                              | 83  |
| Tabla III.14. Contenido de elementos químicos en ppm del TMP de la abrasión de neumáticos y frenos  | 84  |
| Tabla III.15. Contenido de HAPs en ppm del TMP de la abrasión de neumáticos y frenos .....  | 84  |
| Tabla III.16. Categorías de impacto en ReCiPe 2008 vs. ReCiPe 2016 .....  | 90  |
| Tabla III.17. Factores para el cálculo del Potencial de Calentamiento Global (kg CO <sub>2</sub> -eq/kg) para las tres perspectivas temporales, IPCC 2013 ..... | 91  |
| Tabla III.18. Factores de normalización <i>midpoints</i> ReCiPe 2008 versión 1.11 (2014) .....  | 92  |
| Tabla III.19. Factores de conversión ( <i>midpoint to endpoint</i> ) ReCiPe 2016 .....  | 93  |
| Tabla III.20. Factores de conversión ( <i>midpoint to endpoint</i> ) ReCiPe 2008 versión 1.11 (2014).....   | 93  |
| Tabla III.21. Factores de normalización <i>endpoints</i> ReCiPe 2008 versión 1.11 (2014) .....  | 94  |
| Tabla III.22. Factores de ponderación ReCiPe 2008 versión 1.11 (2014) .....   | 94  |
| Tabla III.23. Clasificación de subcategorías de impacto social por <i>stakeholder</i> .....   | 100 |
| Tabla III.24. Definición de subcategorías de impacto social para el <i>stakeholder</i> Trabajadores .....   | 101 |
| Tabla III.25. Definición de subcategorías de impacto social para el <i>stakeholder</i> Clientes .....   | 101 |
| Tabla III.26. Definición de subcategorías de impacto social para el <i>stakeholder</i> Comunidad local .....  | 102 |
| Tabla III.27. Definición de subcategorías de impacto social para el <i>stakeholder</i> Sociedad.....  | 102 |
| Tabla III.28. Definición de subcategorías de impacto social para el <i>stakeholder</i> Otros actores .....  | 103 |
| Tabla III.29. Indicadores de análisis genérico para el <i>stakeholder</i> Trabajadores .....  | 107 |
| Tabla III.30. Indicadores de análisis genérico para el <i>stakeholder</i> Clientes.....   | 107 |
| Tabla III.31. Indicadores de análisis genérico para el <i>stakeholder</i> Comunidad local .....   | 108 |
| Tabla III.32. Indicadores de análisis genérico para el <i>stakeholder</i> Sociedad .....  | 108 |
| Tabla III.33. Indicadores de análisis genérico para el <i>stakeholder</i> Otros actores.....  | 108 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla III.34. Indicadores de análisis específico para el <i>stakeholder</i> Trabajadores .....   | 110 |
| Tabla III.35. Indicadores de análisis específico para el <i>stakeholder</i> Clientes .....   | 110 |
| Tabla III.36. Indicadores de análisis específico para el <i>stakeholder</i> Comunidad local .....  | 111 |
| Tabla III.37. Indicadores de análisis específico para el <i>stakeholder</i> Sociedad.....  | 111 |
| Tabla III.38. Indicadores de análisis específico para el <i>stakeholder</i> Otros actores .....  | 111 |
| Tabla III.39. Potenciales perfiles de los expertos y su relación con los <i>stakeholders</i> .....   | 113 |
| Tabla III.40. Clasificaciones de las subcategorías seleccionadas en categorías de impacto social.....  | 116 |
| Tabla III.41. Escala de valoración análisis Nivel 1 en la subcategoría Trabajo infantil .....  | 117 |
| Tabla III.42. Sistema de puntuación de indicadores de análisis específico, subcategoría <i>Desarrollo Tecnológico</i> .....  | 119 |
| Tabla III.43. Ejemplo de evaluación de indicadores de análisis específico en la subcategoría <i>Desarrollo Tecnológico</i> para una refinería de petróleo. ....                                | 119 |
| Tabla III.44. Agrupación etiquetas escala original de 0 a 10 en variables lingüísticas, continuas y discretas de 1 a 5 .....   | 121 |
| Tabla III.45. Ponderación de actividades del sistema de transporte .....   | 123 |
| Tabla III.46. Variables y ecuaciones motor de cálculo del método de evaluación del ASCV .....  | 124 |
| Tabla IV.1. Caracterización de la flota propia.....  | 132 |
| Tabla IV.2. Descripción servicio de transporte de 10 t de mercancías desde Pereira a Quibdó. ....  | 134 |
| Tabla IV.3. Coeficientes <i>Tier 3</i> para el cálculo de consumo energético para camión rígido diésel (14-20 t) convencional con factor de carga del 100% para gradientes de 4% y de -4%..... | 137 |
| Tabla IV.4. Velocidades en km/h por nivel de servicio y gradiente de la carretera [603] .....  | 138 |
| Tabla IV.5. Consumo energético total TTW caso Colombia.....  | 139 |
| Tabla IV.6. Emisiones contaminantes del Grupo 1 por la combustión de diésel B10 caso Colombia .....  | 139 |
| Tabla IV.7. Emisiones contaminantes del Grupo 2 por la combustión de diésel B10 caso Colombia .....  | 139 |
| Tabla IV.8. Emisiones contaminantes del Grupo 3 por la combustión de diésel B10 caso Colombia .....  | 140 |
| Tabla IV.9. Emisiones contaminantes del Grupo 4 por la combustión de diésel B10 caso Colombia .....  | 140 |
| Tabla IV.10. Emisiones contaminantes por el consumo de aceite lubricante de motor caso Colombia ..   | 140 |
| Tabla IV.11. Emisiones por la abrasión de neumáticos, frenos y superficie de carretera caso Colombia   | 140 |
| Tabla IV.12. Inventario del ciclo de vida para el mantenimiento anual del camión de 16 t caso Colombia .....   | 141 |
| Tabla IV.13. Inventario de ciclo de vida para la operación y mantenimiento de carreteras por metro-año en Colombia.....  | 142 |
| Tabla IV.14. Inventario de ciclo de vida para la producción, almacenamiento y transporte de un kg diésel B10 a la estación de servicio en Pereira, Colombia .....                              | 143 |
| Tabla IV.15. Tráfico promedio por tipo de camión en Colombia.....  | 145 |
| Tabla IV.16. Estimación del total de Gtkm y vkm anual en Colombia por vehículos de transporte de mercancías y de pasajeros (estimación para el 2016).....                                      | 146 |
| Tabla IV.17. Distribución de la red vial en Colombia por tipo de carretera .....   | 146 |
| Tabla IV.18. Inventario de ciclo de vida para la construcción y reconstrucción de carreteras por metro-año, incluyendo túneles y puentes caso Colombia .....                                   | 147 |
| Tabla IV.19. Inventario de ciclo de vida para el desmantelamiento del camión de 16 t caso Colombia ..  | 148 |
| Tabla IV.20. Inventario de ciclo de vida para el desmantelamiento de carreteras por metro-año caso Colombia .....  | 148 |
| Tabla IV.21. Resultados de caracterización método ReCiPe 2008 <i>midpoints</i> caso Colombia .....   | 149 |
| Tabla IV.22. Resultados de caracterización método ReCiPe 2016 <i>midpoints</i> caso Colombia .....   | 149 |
| Tabla IV.23. Resultados de caracterización normalizados método ReCiPe 2008 <i>midpoints</i> caso Colombia .....  | 151 |
| Tabla IV.24. Resultados agregados método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso Colombia .....  | 152 |
| Tabla IV.25. Resultados agregados método ReCiPe 2016 <i>endpoints</i> caso Colombia .....  | 152 |
| Tabla IV.26. Normalización resultados agregados método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso Colombia.....   | 153 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla IV.27. Resultados de la ponderación método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso Colombia.....  | 154 |
| Tabla IV.28. Resultados de caracterización método ReCiPe 2016 <i>midpoints</i> por tkm caso Colombia.....   | 161 |
| Tabla IV.29. Caracterización de la flota propia.....  | 163 |
| Tabla IV.30. Descripción servicio de transporte de 2,5 t de mercancías desde Kuala Lumpur a Kulim. ...  | 164 |
| Tabla IV.31. Consumo energético total TTW caso Malasia .....  | 167 |
| Tabla IV.32. Emisiones contaminantes del Grupo 1 por la combustión de diésel B7 caso Malasia .....  | 167 |
| Tabla IV.33. Emisiones contaminantes del Grupo 2 por la combustión de diésel B7 caso Malasia .....  | 167 |
| Tabla IV.34. Emisiones contaminantes del Grupo 3 por la combustión de diésel B7 caso Malasia .....  | 167 |
| Tabla IV.35. Emisiones contaminantes del Grupo 4 por la combustión de diésel B7 caso Malasia .....  | 168 |
| Tabla IV.36. Emisiones contaminantes por el consumo de aceite lubricante de motor caso Malasia .....  | 168 |
| Tabla IV.37. Emisiones por la abrasión de neumáticos, frenos y superficie de carretera caso Malasia ..  | 168 |
| Tabla IV.38. Inventario del ciclo de vida para el mantenimiento anual del camión de 16 t caso Malasia .....   | 169 |
| Tabla IV.39. Inventario de ciclo de vida para la operación y mantenimiento de carreteras por metro-año en Malasia .....                                     | 169 |
| Tabla IV.40. Inventario de ciclo de vida para producción, almacenamiento y transporte de un kg de diésel B7 a la estación de servicio caso Malasia.....     | 171 |
| Tabla IV.41. Estimación del total de Gtkm y vkm anual en Malasia por vehículos de transporte de mercancías y de pasajeros (estimación para el 2010).....    | 172 |
| Tabla IV.42. Distribución de la red vial en Malasia por tipo de carretera .....   | 173 |
| Tabla IV.43. Inventario de ciclo de vida para la construcción y reconstrucción de carreteras por metro-año, incluyendo túneles y puentes caso Malasia ..... | 173 |
| Tabla IV.44. Inventario de ciclo de vida para el desmantelamiento del camión de 16 t caso Malasia ....  | 174 |
| Tabla IV.45. Inventario de ciclo de vida para el desmantelamiento de carreteras por metro-año caso Malasia .....  | 174 |
| Tabla IV.46. Resultados de caracterización método ReCiPe 2008 <i>midpoints</i> caso Malasia .....   | 175 |
| Tabla IV.47. Resultados de caracterización método ReCiPe 2016 <i>midpoints</i> caso Malasia .....   | 175 |
| Tabla IV.48. Resultados agregados método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso Malasia.....   | 177 |
| Tabla IV.49. Resultados agregados método ReCiPe 2016 <i>endpoints</i> caso Malasia.....   | 178 |
| Tabla IV.50. Normalización resultados agregados método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso Malasia.....   | 179 |
| Tabla IV.51. Resultados de la ponderación método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso Malasia .....  | 179 |
| Tabla IV.52. Resultados de caracterización método ReCiPe 2016 <i>midpoints</i> por tkm caso Malasia .....   | 184 |
| Tabla IV.53. Descripción servicio de transporte de 10 t de mercancías desde Zaragoza a Almusafes .....  | 186 |
| Tabla IV.54. Consumo energético total TTW caso España .....   | 188 |
| Tabla IV.55. Emisiones contaminantes del Grupo 1 por la combustión de diésel B5 caso España .....   | 188 |
| Tabla IV.56. Emisiones contaminantes del Grupo 2 por la combustión de diésel B5 caso España .....   | 188 |
| Tabla IV.57. Emisiones contaminantes del Grupo 3 por la combustión de diésel B5 caso España .....   | 189 |
| Tabla IV.58. Emisiones contaminantes del Grupo 4 por la combustión de diésel B5 caso España .....   | 189 |
| Tabla IV.59. Emisiones contaminantes por el consumo de aceite lubricante de motor y urea caso España .....  | 189 |
| Tabla IV.60. Emisiones por la abrasión de neumáticos, frenos y superficie de carretera caso España ...  | 189 |
| Tabla IV.61. Material y energía utilizados para el mantenimiento anual del camión de 40 t caso España .....   | 190 |
| Tabla IV.62. Inventario de ciclo de vida para la operación y mantenimiento de carreteras por metro-año en España .....                                      | 190 |
| Tabla IV.63. Inventario de ciclo de vida para producción, almacenamiento y transporte de un kg de diésel B5 a la estación de servicio caso España.....      | 192 |
| Tabla IV.64. Estimación del total de Gtkm y vkm anual en España* por vehículos de transporte de mercancías y de pasajeros (estimación para el 2016).....    | 193 |
| Tabla IV.65. Distribución de la red vial de España por tipo de carretera [643].....   | 194 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla IV.66. Inventario de ciclo de vida para la construcción y reconstrucción de carreteras por metro-año, incluyendo túneles y puentes caso España ..... | 194 |
| Tabla IV.67. Inventario de ciclo de vida para el desmantelamiento del camión de 40 t caso España .....   | 195 |
| Tabla IV.68. Inventario de ciclo de vida para el desmantelamiento de carreteras por metro-año caso España .....  | 195 |
| Tabla IV.69. Resultados de caracterización método ReCiPe 2008 <i>midpoints</i> caso España .....   | 196 |
| Tabla IV.70. Resultados de caracterización método ReCiPe 2016 <i>midpoints</i> caso España .....   | 196 |
| Tabla IV.71. Resultados agregados método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso España .....  | 198 |
| Tabla IV.72. Resultados agregados método ReCiPe 2016 <i>endpoints</i> caso España .....  | 199 |
| Tabla IV.73. Normalización resultados agregados método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso España .....  | 200 |
| Tabla IV.74. Resultados de la ponderación método ReCiPe 2008 <i>endpoints</i> caso España .....  | 200 |
| Tabla IV.75. Resultados de caracterización método ReCiPe 2016 <i>midpoints</i> por tkm caso España .....   | 204 |
| Tabla IV.76. Representantes de grupos de interés ( <i>stakeholders</i> ) entrevistados en Colombia .....   | 214 |
| Tabla IV.77. Caracterización análisis de inventario Nivel 1 para el caso Colombia .....  | 217 |
| Tabla IV.78. Caracterización análisis de inventario Nivel 2 y 3 para el caso Colombia .....  | 218 |
| Tabla IV.79. Índices de prioridad de subcategorías agrupadas por categorías de impacto social caso Colombia .....  | 219 |
| Tabla IV.80. Índices de prioridad de subcategorías agrupadas por <i>stakeholders</i> caso Colombia .....   | 219 |
| Tabla IV.81. Factores de ponderación de actividades del sistema de transporte caso Colombia .....  | 221 |
| Tabla IV.82. Índices de desempeño social del sistema en los diferentes escenarios caso Colombia .....  | 229 |
| Tabla IV.83. Representantes de grupos de interés ( <i>stakeholders</i> ) entrevistados en Malasia .....  | 236 |
| Tabla IV.84. Caracterización análisis de inventario Nivel 1 para el caso Malasia .....   | 237 |
| Tabla IV.85. Caracterización análisis de inventario Nivel 2 y 3 para el caso Malasia .....   | 238 |
| Tabla IV.86. Índices de prioridad de subcategorías agrupadas por categorías de impacto social caso Malasia .....   | 239 |
| Tabla IV.87. Índices de prioridad de subcategorías agrupadas por <i>stakeholders</i> caso Malasia .....  | 239 |
| Tabla IV.88. Factores de ponderación de actividades del sistema de transporte caso Malasia .....   | 241 |
| Tabla IV.89. Índices de desempeño social del sistema en los diferentes escenarios caso Malasia .....   | 248 |
| Tabla IV.90. Representantes de grupos de interés ( <i>stakeholders</i> ) entrevistados en España .....   | 254 |
| Tabla IV.91. Caracterización análisis de inventario Nivel 1 para el caso España .....  | 255 |
| Tabla IV.92. Caracterización análisis de inventario Nivel 2 y 3 para el caso España .....  | 256 |
| Tabla IV.93. Índices de prioridad de subcategorías agrupadas por categorías de impacto social caso España .....  | 257 |
| Tabla IV.94. Índices de prioridad de subcategorías agrupadas por <i>Stakeholders</i> caso España .....   | 257 |
| Tabla IV.95. Factores de ponderación de actividades del sistema de transporte caso España .....  | 259 |
| Tabla IV.96. Índices de desempeño social del sistema en los diferentes escenarios caso España .....  | 264 |
| Tabla V.1. Criterios utilizados en estudios basados en AHP para la evaluación de la sostenibilidad de alternativas en proyectos de transporte .....        | 275 |
| Tabla V.2. Cobertura de modos de transporte y rangos de viaje por los principales combustibles alternativos .....  | 281 |
| Tabla V.3. Subcriterios e indicadores por criterio para cada factor .....  | 282 |
| Tabla V.4. Valoraciones de las MCP por subcriterios .....  | 286 |
| Tabla V.5. Vectores de prioridad de la comparación por pares de subcriterios .....   | 286 |
| Tabla V.6. Vectores de prioridad global .....  | 287 |
| Tabla V.7. Escenarios ponderados por criterios .....   | 288 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|  |     |
|--|-----|
| Anexo A.1. Legislación relativa al control de emisiones en Colombia.....   | 364 |
| Anexo A.2. Legislación relativa al control de emisiones en Malasia .....   | 368 |
| Anexo B.2. Formato de entrevista semi-estructurada a expertos .....  | 374 |
| Anexo C.1. Datos para cada tramo del trayecto Pereira-Quibdó caso Colombia .....   | 391 |
| Anexo C.2. Emisión partículas de la abrasión de neumáticos y frenos caso Colombia (kg) .....                                     | 392 |
| Anexo C.3. Inventario de ciclo de vida para fabricación camión rígido de 16 t caso Colombia .....                                | 393 |
| Anexo D.1. Datos para cada tramo del trayecto de ida Kuala Lumpur- Kulim caso Malasia .....                                      | 394 |
| Anexo D.2. Emisión de partículas de la abrasión de neumáticos y frenos caso Malasia (kg).....                                    | 395 |
| Anexo D.3. Inventario de ciclo de vida para fabricación camión rígido de 16 t caso Malasia .....                                 | 396 |
| Anexo E.1. Datos para cada tramo del trayecto de ida Zaragoza - Almusafes caso España.....                                       | 397 |
| Anexo E.2. Emisión de partículas de la abrasión de neumáticos y frenos caso España (kg) .....                                    | 398 |
| Anexo E.3. Inventarios del ciclo de vida para el FAME y el diésel ULSD en España .....   | 399 |
| Anexo F.1. Inventario de análisis genérico (Nivel 1+) subsector construcción de carreteras en Colombia .....                     | 400 |
| Anexo F.2. Inventario de análisis genérico para el subsector de fabricación de autopartes en Colombia .....                      | 401 |
| Anexo F.3. Inventario de análisis genérico para el subsector de la producción de petróleo en Colombia .....                      | 403 |
| Anexo F.4. Inventario de análisis genérico para el subsector de la producción de materiales para pavimentación en Colombia ..... | 404 |
| Anexo F.5. Inventario de análisis específico para la empresa Colmotores S.A .....  | 405 |
| Anexo F.6. Inventario de análisis específico para la distribución de combustibles.....   | 408 |
| Anexo F.7. Inventario de análisis específico para la empresa Ecopetrol S.A.....  | 411 |
| Anexo F.8. Inventario de análisis específico para la empresa Gerdau Diaco S.A .....  | 416 |
| Anexo F.9. Inventario de análisis específico para la empresa Operador Logístico TCL .....  | 418 |
| Anexo F.10. Indicadores complementarios y método de evaluación de subcategorías para el análisis de inventario Nivel 1+.....     | 420 |
| Anexo G.1. Inventario de análisis genérico para el subsector de fabricación de autopartes en Japón ...                           | 421 |
| Anexo G.2. Inventario de análisis genérico para el subsector de la producción de petróleo en Malasia                             | 422 |
| Anexo G.3. Inventario de análisis genérico para el subsector de la producción de materiales para pavimentación en Malasia .....  | 424 |
| Anexo G.4. Inventario de análisis específico para el fabricante de camiones caso Malasia .....                                   | 425 |
| Anexo G.5. Inventario de análisis específico para la refinación y distribución de combustibles en Malasia .....                  | 428 |
| Anexo G.6. Inventario de análisis específico para el constructor de las carreteras caso Malasia.....                             | 431 |
| Anexo G.7. Inventario de análisis específico para la empresa de transporte caso Malasia .....                                    | 435 |
| Anexo H.1. Inventario de análisis genérico (Nivel 1+) para el subsector de la construcción de carreteras en España.....          | 437 |
| Anexo H.2. Inventario de análisis genérico para el subsector de fabricación de autopartes en Suecia ..                           | 438 |
| Anexo H.3. Inventario de análisis genérico para el subsector de la producción de petróleo en Nigeria .                           | 439 |
| Anexo H.4. Inventario de análisis genérico para el subsector de la producción de materiales para pavimentación en España .....   | 441 |

---

|  |     |
|--|-----|
| Anexo H.5. Inventario de análisis específico para el fabricante de vehículos caso España .....         | 442 |
| Anexo H.6. Inventario de análisis específico para el refino y distribución de combustibles caso España | 444 |
| Anexo H.7. Inventario de análisis específico para la empresa de transporte caso España .....           | 448 |
| Anexo F.11. Resultados evaluación de impactos agrupados por categorías caso Colombia .....             | 451 |
| Anexo F.12. Resultados evaluación de impactos agrupados por stakeholders caso Colombia .....           | 452 |
| Anexo G.8. Resultados evaluación de impactos agrupados por categorías caso Malasia.....                | 453 |
| Anexo G.9. Resultados evaluación de impactos agrupados por stakeholders caso Malasia .....             | 454 |
| Anexo H.8. Resultados evaluación de impactos agrupados por categorías caso España.....                 | 455 |
| Anexo H.9. Resultados evaluación de impactos agrupados por stakeholders caso España.....               | 456 |
| Anexo I.1. Abreviaturas y acrónimos.....   | 457 |

## ANEXOS

### **Anexos A. Legislación relativa al control de emisiones en países en vías de desarrollo**

#### **Anexo A.1. Legislación relativa al control de emisiones en Colombia**

Los primeros pasos dados por el gobierno de Colombia para promover la protección del medioambiente se dan en el desarrollo del Plan Energético Nacional (PEN) 1997- 2010, en el capítulo de Gestión Ambiental y Energética. Los autores de este capítulo afirmaron que *“Dado que no se dispone de un conocimiento cualitativo y cuantitativo suficiente de los impactos ambientales actuales y potenciales de los desarrollos energéticos del país, ni de las acciones y las inversiones ambientales requeridas para crear las condiciones de sostenibilidad ambiental del desarrollo energético del país, se hace necesario definir una estrategia que oriente la gestión ambiental pública y privada a este objetivo superior del PEN”* [36].

A partir del desarrollo del PEN, el principal aporte a la política medioambiental se da mediante La Ley 629 de diciembre de 2000, la cual aprobó el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1997, permitiéndole así a Colombia hacer uso del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) previsto en dicho protocolo.

Bajo el esquema del MDL definido en el Artículo 12 del Protocolo, las partes no incluidas, es decir los países no industrializados, podrían alojar proyectos de reducción o captura de gases de efecto invernadero, que generen reducciones de emisiones certificadas. Dichas reducciones certificadas podrán ser adquiridas por aquellas partes que cuentan con compromisos de reducción de emisiones y ser contabilizadas con el fin de contribuir al logro de sus metas [768]. Esto con el fin de conseguir financiamiento para los proyectos relacionados con fuentes no convencionales de energía (FNCE) que a la vez que reduzcan emisiones al medioambiente en Colombia, generen desarrollo económico y social en el país.

Solo hasta el año 2013, el gobierno colombiano decidió establecer normativa más estricta para controlar las emisiones del sector del transporte a nivel nacional a partir de 2015, para el cual regía una normativa equivalente a la Euro II desde el año 2010. Las administraciones distritales de medioambiente, como la de la ciudad de Bogotá, ya habían emitido resoluciones con las que establecían los niveles máximos de emisión y los requisitos ambientales a los que estaban sujetas las fuentes móviles del sector de servicio público de transporte terrestre de pasajeros en los sistemas colectivo, masivo e integrado que circulaban en el distrito capital; siendo la primera ciudad en Colombia que obligó al transporte público a usar diésel con máximo 50 partes por millón (ppm) de azufre desde enero de 2010. Esto como consecuencia del deterioro de la calidad del aire, incidiendo en la aparición y exacerbación de enfermedades de tipo respiratorio y cardiovascular.

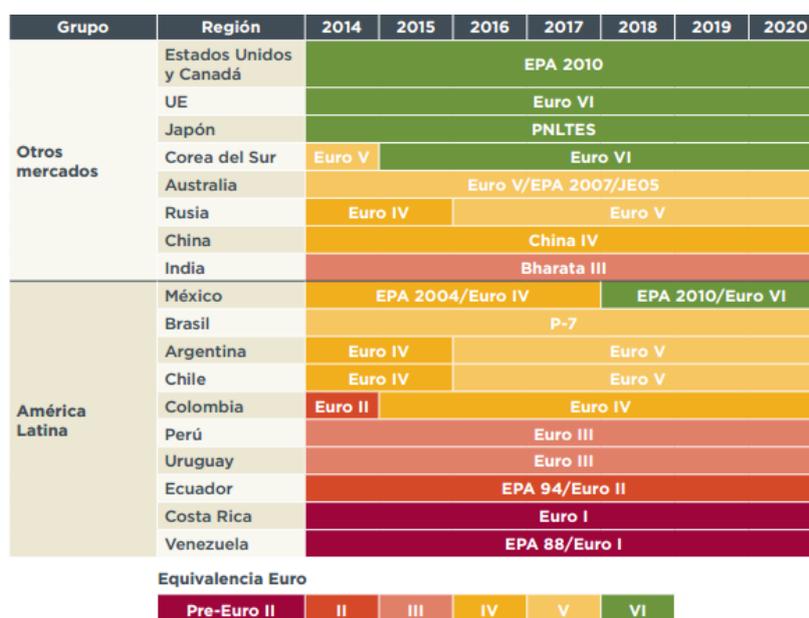
A partir de este diagnóstico y medidas tomadas por la administración del distrito capital, se modificó la Resolución 910 de 2008 [769] mediante la Resolución 1111 de 2013 [770] para

reglamentar los niveles permisibles de azufre en el diésel de máximo 50 ppm y de emisión de contaminantes de fuentes móviles terrestres bajo parámetros equivalentes a la norma Euro IV a partir de 01 de enero de 2015 a nivel nacional. En Colombia, la clasificación de las fuentes móviles para la medición de emisiones, es decir la categorización de los camiones por su peso bruto vehicular con base a la clasificación para los ciclos de prueba de la UE es presentada en la Tabla A.1.

**Tabla A.1. Clasificación de las fuentes móviles en Colombia para la medición de emisiones conforme a los ciclos de prueba de la UE [769,770]**

| Categoría | Subcategoría | Capacidad     | Peso bruto (kg) | ALVW                 | LVW                    |
|-----------|--------------|---------------|-----------------|----------------------|------------------------|
|           |              |               |                 | Vehículos ciclo Otto | Vehículos ciclo diésel |
| M         | M1           | ≤ 8 pasajeros |                 |                      |                        |
|           | M2           | > 8 pasajeros | ≤ 5000          |                      |                        |
|           | M3           |               | > 5000          |                      |                        |
| N         | N1           | Clase I       |                 | < 1250               | ≤ 1305                 |
|           |              | Clase II      | ≤ 3500          | ≥ 1250               | > 1305                 |
|           | Clase II     |               | ≤ 1700          | ≤ 1760               |                        |
|           |              |               | > 1700          | > 1760               |                        |
|           | N2           |               | > 3500          |                      |                        |
|           |              |               | ≤ 12 000        |                      |                        |
|           |              | > 12 000      |                 |                      |                        |

Los límites máximos de emisión permisibles adoptados por la legislación colombiana se han basado normativas de la Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA) y en sus últimas versiones en las normas Euro de la UE. Sin embargo, todas estas se han implementado con varios años de retraso respecto a su aplicación en Europa, Estados Unidos y otros países latinoamericanos, Figura A.1. La última norma que entró en vigor en Colombia el 01 de enero de 2015 fue la equivalente a la Euro IV mediante la Resolución 1111 de 2013 [770], con el fin de modernizar el parque automotor, en donde el 41% del parque de camiones ligeros y pesados tiene más de 20 años [771].



**Figura A.1. Normativa de control de emisiones de vehículos pesados en diferentes países [68]**

El gobierno colombiano, además de establecer la legislación para el control de las emisiones en vehículos con varios años de retraso respecto a la UE, la actualización de esta normativa se ha realizado después de largos periodos. La normatividad equivalente a la Euro II que estuvo vigente hasta el 31 de diciembre de 2014, fue establecida en la Resolución 910 de 2008 [769] y entrando en vigor en el año 2010. Sin embargo, antes de dicha resolución, la última actuación había sido el Decreto 948 de 1995 [772] que contenía el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire, pero sin establecer límites claros para tipo de emisión. Es por esto, que con la resolución 910 de 2008, se publicaron las tablas con los límites específicos para el control de las emisiones de los vehículos que ya circulaban en Colombia mediante la exigencia de un certificado expedido en la ITV en prueba estática, en donde solo controlaban las emisiones de CO y COV para vehículos a gasolina, gas natural (GN) o gas licuado de petróleo (GLP) (Tabla A.2) y la opacidad para vehículos diésel (Tabla A.3).

**Tabla A.2. Límites de emisión permisibles en Colombia para vehículos a gasolina o vehículos convertidos a GN o GLP en prueba estática [769]**

| Año modelo       | CO (%) | COV (ppm) |
|------------------|--------|-----------|
| 1970 y anterior  | 5,0    | 800       |
| 1971 - 1984      | 4,0    | 650       |
| 1985 - 1997      | 3,0    | 400       |
| 1998 y posterior | 1,0    | 200       |

**Tabla A.3. Límites de opacidad permisibles para vehículos accionados con diésel en aceleración libre [769]**

| Año modelo       | Opacidad (%) |
|------------------|--------------|
| 1970 y anterior  | 50           |
| 1971 - 1984      | 45           |
| 1985 - 1997      | 40           |
| 1998 y posterior | 35           |

Mediante la mencionada resolución 910 de 2008, se estableció también que los vehículos a partir de los modelos 2010, los importadores, fabricantes o ensambladores debían garantizar una emisión máxima permisible equivalente al 80% del valor establecido en la Tablas A.2 y A.3 para los vehículos del año 1998 y posterior. Sin embargo, en la actualidad, los centros de diagnóstico automotor, los cuales realizan ITV en Colombia siguen aprobando la inspección de cualquier vehículo del año 2010 y posterior si este no supera el 35% de opacidad, cuando el límite debería ser 28%.

Para la entrada de vehículos importados o ensamblados en el país a partir del 2010 se establecieron límites para las emisiones de CO, COV, NOx y MP mediante prueba dinámica según los ciclos estadounidenses o europeos certificados por el fabricante o ensamblador, equivalentes a límites de la norma Euro II. Sin embargo, la vigilancia y control de estos vehículos a partir de su puesta en circulación se seguía realizando bajo los parámetros de las Tablas A.2 y A.3

La normatividad en vigor para Colombia es la Resolución 1111 de 2013, la cual es equivalente a la Euro IV y que entró en vigencia a partir de 01 de enero de 2015 modificando la Resolución 910 de 2008.

Para los vehículos diésel pesados, se aceptan los certificados realizados mediante los ciclos europeos ESC<sup>15</sup>, ETC<sup>16</sup> y ELR<sup>17</sup> de la Tabla A.4.

**Tabla A.4. Límites de emisión permisibles para vehículos diésel, evaluados mediante el ciclo ESC, ETC y ELR [770]**

| Subcategoría   | CO       |     | COV  |     | COVDM |      | NOx |     | MP   |      | Opacidad           |
|----------------|----------|-----|------|-----|-------|------|-----|-----|------|------|--------------------|
|                | (g/kW-h) |     |      |     |       |      |     |     |      |      | (m <sup>-1</sup> ) |
|                | ESC      | ETC | ESC  | ETC | ESC   | ETC  | ESC | ETC | ESC  | ETC  | ELR                |
| N2, N3, M2, M3 | 1,5      | 4,0 | 0,46 | -   | -     | 0,55 | 3,5 | 3,5 | 0,02 | 0,03 | 0,5                |

A pesar de que en Colombia desde el 2015 solo se permite la entrada de vehículos que cumplan los límites de emisión equivalentes a la norma Euro IV o superior mediante pruebas dinámicas. Desde el momento que entran en circulación, la vigilancia y control mediante las pruebas estáticas en la ITV se siguen realizando con base en los límites poco exigentes de Tablas A.2 y A.3.

La medición de la opacidad o del humo publicada en la reglamentación colombiana es basada en las normas estadounidenses EPA, en donde se expresan en unidades de opacidad (N) que indican el porcentaje de luz que se impide llegar al receptor del instrumento observador de opacímetro, mientras que en las normas Euro (a partir de la Euro III) se mide en unidades de densidad de humo (K) o “coeficiente de absorción de luz” expresados en (m<sup>-1</sup>). El coeficiente de absorción (K), de acuerdo a la ley de Beer-Lambert se define como:

$$K = -(1/L) \ln(1 - N/100)$$

En donde L es la longitud de trayectoria óptica efectiva (expresada en metros) del instrumento de medición; si L no es conocida se asume un valor de 0,127 m [773].

$$N (\%) = 100 * (1 - T)$$

T: Transmitancia

$$T = e^{-KL}$$

La obtención del coeficiente de absorción K a partir de la opacidad (N) depende de otros factores ambientales como la humedad y temperatura, de la longitud de onda del generador de luz del opacímetro y también del diseño y longitud de la celda de medida del instrumento y sistema de purga de aire, por lo que la longitud de trayectoria óptica efectiva medida (L<sub>m</sub>) debe ser proporcionada por el fabricante. Adicionalmente, este valor de L depende también del diámetro externo real del tubo de escape, por lo que se tiene otro factor, la longitud de trayectoria óptica efectiva estándar (L<sub>s</sub>), la cual puede variar dependiendo de la potencia del motor. Por todo esto se deben aplicar factores de corrección adicionales que son descritos en la norma técnica colombiana 4231 [774], basada en la guía SAE J1667:1996 [773].

Debido a que la legislación colombiana exige solamente expresar la medida de opacidad (N) sin discriminar el tamaño del vehículo, se aplica la conversión a las unidades expresadas en Europa

<sup>15</sup> Ciclo ESC: ciclo europeo de estado continuo. Ciclo de prueba dinámico establecido por la UE con el fin de certificar emisiones de vehículos pesados

<sup>16</sup> Ciclo ETC: ciclo europeo de transición. Ciclo de prueba dinámico establecido por la UE con el fin de certificar emisiones de vehículos pesados

<sup>17</sup> Ciclo ELR: prueba europea de respuesta baja carga. Ciclo de prueba dinámico establecido por la UE con el fin de medir opacidad.

usando el valor medio de  $L=0,127m$ . De esta manera la equivalencia de estos límites es presentada en la Tabla A.5.

**Tabla A.5. Límites de opacidad permisibles en Colombia y su equivalencia en coeficiente de absorción para vehículos accionados con diésel en aceleración libre**

| Año modelo          | Opacidad (%) | Coefficiente de absorción ( $m^{-1}$ ) |
|---------------------|--------------|--|
| 1970 y anterior     | 50           | 5,5                                    |
| 1971-1984           | 45           | 4,7                                    |
| 1985-1997           | 40           | 4                                      |
| 1998-2009           | 35           | 3,4                                    |
| 2010 y posteriores* | 28           | 2,6                                    |

Estos límites para los vehículos en circulación para vehículos anteriores a 2010, que en términos de densidad de humo estarían entre  $3,4$  y  $5,5 m^{-1}$ , son claramente límites más flexibles que la normativa europea, los cuales están entre  $0,7$  y  $3,0 m^{-1}$  según el Ministerio de Industria Energía y Turismo (2016).

#### **Anexo A.2. Legislación relativa al control de emisiones en Malasia**

La Federación de Malasia, conformada oficialmente en 1963 como un Estado independiente de las colonias británicas, estableció entre sus primeras acciones por la protección de medioambiente el *Environmental Quality Act 127* de 1974 [624], el cual contiene las disposiciones para la prevención, la reducción, el control de la contaminación y la mejora del medioambiente.

Posteriormente, en 1996, el país establecía regulación temprana con relación al control de emisiones de fuentes vehiculares, obligando el cumplimiento de los límites de emisiones equivalentes a la norma Euro I para los nuevos vehículos a partir del 01 de enero de 1997 [775]; solo unos años después de que la norma Euro I fuera impuesta en Europa en 1992.

El acto legislativo No.127 de 1974 ha sido modificado y actualizado en varias ocasiones con diferentes enmiendas para garantizar la protección del medioambiente en las diferentes áreas consideradas. Sin embargo, a pesar de establecerse la obligatoriedad del cumplimiento de la norma Euro I de manera temprana, el país tardó varios años en actualizar esta regulación, requiriendo el cumplimiento de la norma Euro II a partir del año 2013 [625], casi 17 años después de haber sido implementada esta norma en Europa.

En el caso de los vehículos ligeros propulsados por gasolina, los vehículos nuevos a partir del 2013 debían cumplir los límites equivalentes a la norma Euro 3, mientras que a partir de 2015 tanto los vehículos diésel como a gasolina debían cumplir los límites de la norma Euro 4 [625].

En cuanto a la legislación establecida para reducir el impacto medioambiental del diésel, a pesar de que Malasia es uno de los mayores productores de aceite de palma a nivel mundial, el país ha tardado en establecer mecanismos para introducir las mezclas obligatorias de biodiésel en el diésel fósil utilizado por los vehículos de transporte por carretera, a diferencia de otros países productores como Indonesia y Colombia en donde la proporción volumétrica de biodiésel es de 10% (diésel B10) desde hace varios años.

De manera concreta, la política de introducción del biodiésel en el sector de transporte en Malasia surgió en 2006, estableciendo un porcentaje de mezcla del 5% de biodiésel del aceite de palma en el diésel convencional, introducción que se realizó por etapas hasta convertirse en mezcla obligatoria para las principales ciudades del país en el año 2011 y en el resto del país a finales de 2014 [776], legislación retrasada por principalmente por la negativa de las asociaciones de fabricantes de automóviles presentes en Malasia, quienes afirmaban que estas mezclas de biodiésel pueden causar daños en los motores. Estos fabricantes finalmente han aceptado el uso de diésel B5 y B7 siempre que estos combustibles cumplan con los requisitos de calidad establecidos por normas internacionales como la EN14214 [777]. Por esta razón, el mandato para el uso de diésel B7 en Malasia pudo establecerse rápidamente en enero de 2015, mandato que sigue rigiendo en la actualidad.

Para seguir promoviendo el consumo doméstico de aceite de palma, el gobierno malayo propuso en el *Eleventh Malaysia Plan (2016-2020)* la introducción de una mezcla obligatoria del 15% de biodiésel para el año 2020. Sin embargo, la negativa de los fabricantes persiste para el uso de mezclas superiores al 7%. Por esto, el mandato planeado sobre el uso obligatorio de diésel B10 en Malasia, el cual esperaba ser establecido para julio de 2016, fue pospuesto para enero de 2017 y, posteriormente, pospuesto indefinidamente [778].

En cuando al accionar de Malasia frente al Protocolo de Kioto, este país ha sido proactivo con su firma en 1999, ratificación en 2002 y la aceptación de la enmienda de Doha 2012 en abril de 2017. Malasia se encuentra en la lista de países sin objetivos vinculantes como la mayoría de países en vías de desarrollo. Sin embargo, en la conferencia COP15 en Copenhague en 2009, el gobierno de Malasia se comprometió voluntariamente a reducir hasta el 40% de las emisiones de GEI por unidad del PIB para el año 2020 frente a los niveles del 2005, condicionado al apoyo tecnológico y financiero de países industrializados para cumplir este objetivo [779].

Recientemente, el gobierno de Malasia ha aceptado el acuerdo de París presentado en la COP21 de 2015, en donde entre otros compromisos se encuentra el de crear un sistema de recopilación de información y de reporte de las emisiones de GEI de manera transparente, el cual permitirá realizar la verificación y seguimiento a las metas propuestas en la reducción de las emisiones [780]. Adicionalmente, el gobierno se comprometió a reducir el 45% de estas emisiones por unidad del PIB para el 2030 frente a los niveles del 2005, consistiendo en una reducción incondicional del 35% y el restante 10% sujeto al apoyo financiero y tecnológico de los países industrializados [780].

Entre otra legislación establecida como actualización al Acto 127 de 1974 relacionada con las fuentes de emisión móviles, se encuentra la 296/1985 para el control de la concentración de plomo en la gasolina y la 244/1987 para el control de ruido de los motores de los vehículos.

Para el año 2007, el gobierno de Malasia publicó la regulación para el control de las propiedades de la gasolina y el diésel como actualización al acto 127 de 1974, el cual comenzó a regir en el año 2009. El principal objetivo de esta regulación fue el de reducir el contenido máximo de azufre a 500 ppm, concentración que estaba con un límite de 3000 ppm para el diésel y de 1500 ppm para la gasolina.



**Fabricante de vehículos**

| Tipo de vehículo | Fabricante | ¿Conoce la procedencia del capital del fabricante? (público, privado, nacional, extranjero...) |                             | Criterios de selección del vehículo (ordenar de 1 a 5, donde 1 sería el de mayor importancia)* |            |         |             |        |
|------------------|------------|--|-----------------------------|--|------------|---------|-------------|--------|
|                  |            | Sí <input type="checkbox"/>  | No <input type="checkbox"/> | Precio   | Fiabilidad | Calidad | Procedencia | Imagen |
|                  |            | Sí <input type="checkbox"/>  | No <input type="checkbox"/> |  |            |         |             |        |
|                  |            | Sí <input type="checkbox"/>  | No <input type="checkbox"/> |  |            |         |             |        |
|                  |            | Sí <input type="checkbox"/>  | No <input type="checkbox"/> |  |            |         |             |        |
|                  |            | Sí <input type="checkbox"/>  | No <input type="checkbox"/> |  |            |         |             |        |

\*Solo marcar los criterios tenidos en cuenta (puede ser solo uno de ellos)

Indique de manera general los motivos o criterios adicionales, utilizados para decidir la compra de los vehículos:

¿Se tienen en cuenta criterios medioambientales en la compra de los vehículos y sus repuestos? Sí\_\_ No\_\_

¿Se tienen en cuenta códigos de conducta en la selección de proveedores de vehículos y sus repuestos? Sí\_\_ No\_\_

¿El mantenimiento de sus vehículos se realiza al interior de la empresa o por un tercero?

¿Se sigue un protocolo de manejo de residuos del mantenimiento de vehículos al interior de la empresa o conoce si el taller externo sigue tales protocolos? Sí\_\_ No\_\_

¿Quiénes son los proveedores de aceites y neumáticos?

¿Qué se hace con los residuos de aceites y neumáticos?

**C) INFRAESTRUCTURA**

¿Utilizan centros logísticos (bodegas de carga y descarga) propios, de terceros o ambos?

¿Estos centros logísticos donde se encuentran ubicados?

¿Tienen estación de servicio de recarga de combustible propia o de terceros con algún contrato especial?

¿Para la selección de rutas o carreteras, tienen en cuenta criterios como el tipo de vía (nacional o regional), tipo de pavimento (asfalto, concreto), el estado del pavimento, cantidad y precio de peajes, seguridad (riesgo de accidentes, robos, secuestros, daños de vehículos), tráfico, etc.?

**D) OPERACIÓN**

Toneladas totales de productos transportados mensualmente:

Factor de carga promedio:

Kilómetros totales recorridos por camiones mensualmente:

Kilometraje promedio por camión y mes:

Consumo mensual de combustible, electricidad y agua:

Cuota de mercado en la ruta principal:

Cobertura de seguros:

Frecuencia de cambio de aceite de motor:

Frecuencia de cambio baterías:

Frecuencia de cambio de neumáticos:

**A) ADMINISTRACIÓN**

|   |   |
|---|---|
| Presencia de sindicatos en la empresa:                              | Salario mensual de conductores:   |
| Salario más bajo y más alto en la empresa:                          | Horas de trabajo de los conductores por semana:                             |
| Horas continuas máximas de trabajo de los conductores:              | Flexibilidad horaria:   |
| Día libre por semana:   | Capacitación en conducción y carga segura y eficiente                       |
| Empleados menores de 18 y 15 años:                                  | Empleados jóvenes que asisten a la escuela:                                 |
| Tasa de accidentes no fatales:                                      | Informes de responsabilidad social y sostenibilidad:                        |
| Beneficios extra legales para empleados:                            | Proporción de mujeres en la nómina:   |
| Certificaciones ambientales/sociales:                               | Políticas de privacidad/protección de datos personales:                     |
| Canales de comunicación para los clientes:                          | Contratos de trabajo claros y con la libertad para renunciar:               |
| Trabajadores con contratos legales y beneficios sociales:           | Iniciativas para mejorar los derechos humanos:                              |
| Programas para integrar los trabajadores migrantes en la comunidad: | Políticas para proteger los derechos de las comunidades indígenas:          |
| Esfuerzos para mejorar la salud de la comunidad:                    | Inversiones para mejorar los recursos materiales *:                         |
| Promoción de programas de educación o salud a la comunidad *:       | Iniciativas para mejorar aspectos ambientales y sociales:                   |
| Políticas para contratar personal y proveedores locales:            | Participación de trabajadores contratados localmente y proveedores locales: |
| Índice de rotación de personal anual:                               | Programas para la prevención o mitigación de conflictos:                    |
| Inversión en I + D *:   | Políticas para prevenir y controlar la corrupción:                          |
| Políticas o programas para evitar la competencia desleal:           | Políticas relacionadas con participación de la comunidad:                   |
| Colaboración en el desarrollo de proveedores:                       | Antigüedad media de la relación con los proveedores:                        |
| Compromisos públicos en temas de sostenibilidad:                    |   |

*\* Indique la proporción de la utilidad antes de impuestos*

**B) CASO A ESTUDIO**

Para un servicio transporte de \_\_\_\_ toneladas de mercancía desde \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_ :

| 1. Vehículo(s) tipo:        | Capacidad: |        | Modelo (año):          | Tecn. Euro: | Precio servicio:                                       |
|-----------------------------|------------|--------|------------------------|-------------|--|
| Procedimiento               | Km         | Tiempo | Consumo de combustible | Costos*     | Riesgos (para los trabajadores, vehículos o productos) |
| Recarga de combustible      | ---        |        | ---                    |             |  |
| Recorrido urbano en origen  |            |        |                        |             |  |
| Carga de mercancía          | ---        |        | ---                    |             |  |
| Recorrido interurbano       |            |        |                        |             |  |
| Peajes                      | ---        |        | ---                    |             |  |
| Recorrido urbano en destino |            |        |                        |             |  |
| Descarga de mercancía       | ---        |        | ---                    |             |  |
| TOTAL                       |            |        |                        |             |  |

| 2. Vehículo(s) tipo:        | Capacidad: |        | Modelo (año):          | Tecn. Euro: | Precio servicio:                                       |
|-----------------------------|------------|--------|------------------------|-------------|--|
| Procedimiento               | Km         | Tiempo | Consumo de combustible | Costos*     | Riesgos (para los trabajadores, vehículos o productos) |
| Recarga de combustible      | ---        |        | ---                    |             |  |
| Recorrido urbano en origen  |            |        |                        |             |  |
| Carga de mercancía          | ---        |        | ---                    |             |  |
| Recorrido interurbano       |            |        |                        |             |  |
| Peajes                      | ---        |        | ---                    |             |  |
| Recorrido urbano en destino |            |        |                        |             |  |
| Descarga de mercancía       | ---        |        | ---                    |             |  |
| TOTAL                       |            |        |                        |             |  |

\*Agregue el desglose de los costos para este viaje específico calculado por la empresa (Costos fijos más costos variables)

**Cláusulas de confidencialidad**

La información inherente a los datos personales de los entrevistados y a los datos de las personas jurídicas obtenidos a través de las entrevistas realizadas en papel o en formato digital serán empleados exclusivamente con la finalidad de realizar una tesis doctoral de la Universidad de Zaragoza y las publicaciones científicas derivadas de la misma. Las respuestas, opiniones, y otros eventuales comentarios serán tratados de forma confidencial y se emplearán por el estudio de forma agregada sin que puedan asociarse en ningún momento ni con el entrevistado ni con la correspondiente persona jurídica.

De conformidad con lo dispuesto en la normativa vigente en materia de protección de datos, los datos personales y de la persona jurídica obtenidos a través de las entrevistas realizadas en papel o en formato digital pasan a formar parte de un fichero privado de titularidad de la Universidad de Zaragoza – Instituto de Investigación Mixto CIRCE (CIF Q5018001G) domicilio en Campus Río Ebro Universidad de Zaragoza. Edificio CIRCE C/ Mariano Esquillor Gómez, 15. 50018 Zaragoza (España) instituto.circe@unizar.es

## **Anexo B.2. Formato de entrevista semi-estructurada a expertos**

### ***ENTREVISTA SEMI-ESTRUCTURADA A EXPERTOS PARA EL ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD DEL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS POR CARRETERA***

#### **INTRODUCCIÓN**

Al objeto de elaborar una tesis del Programa de doctorado de la Universidad de Zaragoza – Instituto de Investigación CIRCE de Consumos y Recursos Energéticos – (España) en Eficiencia Energética y Energías Renovables, se contempla un trabajo de campo y la recopilación de datos e información para el análisis de sostenibilidad del transporte de mercancías por carretera. A tal fin, se ha diseñado una entrevista “semi-estructurada” que se realiza a numerosos expertos en España y en Colombia en ámbitos directa o indirectamente relacionados con el transporte de mercancías. Se plantea la recopilación y clasificación de la opinión de los expertos en particular sobre el uso de distintos combustibles y otras estrategias para optimizar el transporte de mercancías, sus repercusiones sociales y medioambientales y la percepción regional a través del análisis sectorial y territorial.

#### **METODOLOGÍA**

La entrevista versa sobre temas directa o indirectamente relacionados con los siguientes campos que se consideran relevantes para el tema de investigación en las regiones estudiadas:

- Innovación para la sostenibilidad en el transporte por carretera, especialmente relacionada con tecnologías de combustibles alternativos, servicios o procesos que generen mejora desde el punto de vista medioambiental, económico y social.
- Sostenibilidad, promoción de prácticas respetuosas con el medioambiente, la biodiversidad, la mejora de la calidad de vida, etc.
- Educación, promoción y seguridad, etc.
- Eficiencia energética, energías renovables, uso sostenible de los recursos, etc.
- Desarrollo rural, territorial, empleo y economía, etc.

La estructura de la entrevista se articula en tres apartados, todos ellos diseñados al objeto de obtener información de tipo cualitativo, y se compone de preguntas de tipo abierto que, en su mayoría, contemplan también una valoración de tipo cuantitativo por parte del entrevistado.

Le entrevista de carácter presencial, recoge la información a través de la grabación directa de la conversación y la eventual toma de notas por parte de los entrevistadores. Se realiza a profesionales expertos y tiene una duración aproximada de 90 minutos, habiéndose enviado previamente a los entrevistados para que la puedan valorar con antelación.

#### **CONFIDENCIALIDAD**

De conformidad con lo dispuesto en la normativa vigente en materia de protección de datos, en todo momento se aplicará lo establecido en las cláusulas de confidencialidad descritas al final de la entrevista y debidamente comunicadas a los entrevistados. Los datos personales y de la persona jurídica obtenidos a través de las entrevistas realizadas en papel o en formato digital serán empleados exclusivamente con la finalidad de realizar una tesis doctoral de la Universidad de Zaragoza y las publicaciones científicas derivadas. Las respuestas, opiniones, y otros eventuales comentarios serán tratados siempre de forma confidencial y se emplearán para el estudio de forma agregada sin que puedan asociarse en ningún momento ni con el entrevistado ni con la correspondiente persona jurídica.

## APARTADO A) ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL Y TECNOLÓGICO

### A.1) ¿Qué responsabilidad crees que tiene el sector transporte de mercancías por carretera en el impacto ambiental?

En términos GENERALES de contaminación atmosférica, afección a los ecosistemas, etc. ¿consideras que el sector del transporte de mercancías por carretera tiene un papel relevante, muy relevante, poco relevante?

*Intentar definir la opinión del entrevistado entre 0 y 10 acerca de la responsabilidad sobre el medioambiente que atribuye al transporte de mercancías por carretera en el futuro próximo (3-5 años)*

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

### A.2) ¿En qué grado situarías el impacto medioambiental de las empresas de transporte de mercancías por carretera respecto al transporte de mercancías por ferrocarril?

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

### A.3) ¿En qué grado situarías el impacto medioambiental de las empresas de transporte de mercancías por carretera respecto a las empresas de transporte de viajeros por carretera?

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

### A.4) En términos de **MEJORA MEDIOAMBIENTAL** ¿Consideras que la tecnología de los vehículos puede contribuir de forma relevante a disminuir el impacto ambiental?

¿En tu opinión el cambio de tecnologías (p.ej. pasar de vehículos con motores de combustión interna a vehículos eléctricos) pueden realmente disminuir de forma significativa el impacto medioambiental en tu territorio?

*Intentar definir la opinión del entrevistado entre 0 y 10 acerca de la relevancia que atribuye al cambio de tecnologías en la disminución del impacto ambiental a medio plazo (de 3-5 años)*

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

### A.5) En términos de **MEJORA MEDIOAMBIENTAL** ¿Consideras que la sustitución de combustibles puede contribuir de forma relevante a disminuir el impacto ambiental?

¿En tu opinión el cambio de combustibles (p.ej. sustituir combustibles como la gasolina o el diésel por los llamados alternativos como el gas natural, los biocarburantes o el hidrógeno) pueden realmente disminuir de forma significativa el impacto medioambiental en tu territorio?

*Intentar definir la opinión del entrevistado entre 0 y 10 acerca de la relevancia que atribuye al cambio de combustible en la disminución del impacto ambiental a medio plazo (de 3-5 años)*

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

### A.6) En tu opinión, ¿cuáles son los principales obstáculos que podrían encontrarse las empresas de transporte de mercancías por carretera para implantar las medidas anteriores?

**APARTADO B) ANÁLISIS SOCIAL**

**B.1) ¿En qué grado situarías la concienciación medioambiental de los CONSUMIDORES de tu región respecto a los consumidores del conjunto del país?**

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

**B.2) Y respecto a CONSUMIDORES de otros países del entorno? (europeos o asiáticos/latinoamericanos)**

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

**B.3) ¿En qué grado situarías la concienciación medioambiental de las EMPRESAS de tu región respecto al resto de empresas de tu país?**

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

**B.4) ¿Y respecto a EMPRESAS de otros países del entorno? (europeas o asiáticas/latinoamericanas)**

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

**B.5) ¿En qué grado situarías la concienciación medioambiental de las empresas de transporte de mercancías por carretera respecto a las empresas de transporte de viajeros por carretera?**

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

**B.6) ¿En qué grado situarías la concienciación respecto a los siguientes ítems relacionados con los derechos humanos de las EMPRESAS del sector del transporte de mercancías por carretera?**

| # |   | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
|   | Trabajo infantil                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Explotación /trabajo forzado              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Discriminación/ igualdad de oportunidades |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |

**B.7) ¿En qué grado situarías la concienciación respecto a los siguientes ítems relacionados con los derechos de los trabajadores de las EMPRESAS del sector del transporte de mercancías por carretera?**

| # |                                      | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|--------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
|   | Libre asociación de trabajadores     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Salario justo                        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Horario laboral justo                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Seguridad y salud en el trabajo      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Beneficios sociales/seguridad social |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |

**B.8) ¿En qué grado situarías la concienciación respecto a los siguientes ítems relacionados con la protección del patrimonio cultural y de las comunidades de las EMPRESAS del sector del transporte de mercancías por carretera?**

| # |   | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
|   | Deslocalización y migración                         |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Respeto a las tradiciones locales                   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Respeto a los derechos de las comunidades indígenas |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Participación de la comunidad                       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Condiciones de vida seguras y saludables            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Acceso a recursos materiales                        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Acceso a recursos inmateriales                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Transparencia en temas sociales/medioambientales    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |

**B.9) ¿En qué grado situarías la concienciación respecto a los siguientes ítems relacionados con las repercusiones socioeconómicas de las EMPRESAS del sector del transporte de mercancías por carretera?**

| # |   | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
|   | Creación de empleo local                            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Contribución a la economía nacional                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Prevención y mitigación de conflictos armados       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Desarrollo tecnológico                              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Relaciones con los proveedores                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Confidencialidad con la información de los clientes |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Mecanismos de retroalimentación con los clientes    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |

**B.10) ¿En qué grado situarías la concienciación respecto a los siguientes ítems relacionados con la Gobernanza de las EMPRESAS del sector del transporte de mercancías por carretera?**

| # |   | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
|   | Compromiso público en temas de sostenibilidad |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Corrupción                                    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|   | Competencia desleal                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |

**B.11) Para las preguntas anteriores (B.6 a B.10), por favor indicar el orden de importancia que le daría a cada aspecto en su respectiva categoría de impacto social.**

Enumerar los aspectos llenando las casillas de la columna marcada con el símbolo # en la izquierda de cada tabla, en donde 1 significaría que es el aspecto más importante.

**B.12) De las categorías de impacto social mencionadas (derechos humanos, derechos de los trabajadores, protección del patrimonio cultural...) ¿En qué orden o prioridad consideras que las EMPRESAS del sector del transporte de mercancías por carretera deberían abordar estos temas para tener un buen desempeño social?**

Establecer un orden en donde el número 1 indique la categoría de impacto más importante y el número 5 la menos importante

| Categoría de impacto                                | # |
|---|---|
| Derechos humanos                                    |   |
| Derechos de los trabajadores                        |   |
| Patrimonio cultural y desarrollo de las comunidades |   |
| Repercusiones socioeconómicas                       |   |
| Gobernanza  |   |

**B.13) Por favor indicar el orden de importancia que le daría a cada aspecto relacionado con el impacto social sobre determinado grupo de interés.**

Enumerar llenando las casillas de la columna marcada con el símbolo #, en donde 1 significaría que es el aspecto más importante. Marcar SOLAMENTE los aspectos relacionados con el grupo al que el entrevistado representa.

| # | Trabajadores                             |
|---|--|
|   | Trabajo infantil                         |
|   | Explotación /trabajo forzado             |
|   | Igualdad de oportunidades/discriminación |
|   | Libre asociación de trabajadores         |
|   | Salario justo                            |
|   | Horario laboral justo                    |
|   | Seguridad y salud en el trabajo          |
|   | Beneficios sociales/seguridad social     |

| # | Comunidad Local                                     |
|---|---|
|   | Deslocalización y migración                         |
|   | Respeto a las tradiciones locales                   |
|   | Respeto a los derechos de las comunidades indígenas |
|   | Participación de la comunidad                       |
|   | Condiciones de vida seguras y saludables            |
|   | Acceso a recursos materiales                        |
|   | Acceso a recursos inmateriales                      |
|   | Creación de empleo local                            |

| # | <b>Sociedad</b>                               |
|---|---|
|   | Contribución a la economía nacional           |
|   | Prevención y mitigación de conflictos armados |
|   | Desarrollo tecnológico                        |
|   | Corrupción                                    |

| # | <b>Actores de la cadena de valor</b>          |
|---|---|
|   | Compromiso público en temas de sostenibilidad |
|   | Relaciones con los proveedores                |
|   | Competencia desleal                           |

| # | <b>Cientes</b>                                      |
|---|---|
|   | Transparencia en temas sociales/medioambientales    |
|   | Confidencialidad con la información de los clientes |
|   | Mecanismos de retroalimentación con los clientes    |

**B.14) ¿Cuáles crees que son los impactos más relevantes, tanto positivos como negativos, que genera cada uno de los subsectores relacionados con el transporte de mercancías (el de los vehículos, los combustibles, las carreteras)?**

**B.15) ¿De qué forma consideras que las EMPRESAS del sector del transporte de mercancías por carretera podrían potenciar o favorecer los derechos humanos y de los trabajadores, el patrimonio cultural, desarrollo socioeconómico y la gobernanza?**

## APARTADO C) ANÁLISIS ECONÓMICO Y DE DESARROLLO TERRITORIAL

**C.1) En términos de generación de EMPLEO ¿Consideras que innovar en tecnologías más respetuosas con el medioambiente (eco-innovación) en el sector del transporte por carretera puede estar directamente relacionada con la generación de nuevos empleos?**

¿Consideras que puede aumentar el número de puestos de trabajo o en tu opinión no existe esa relación?

*Intentar definir la opinión del entrevistado entre 0 y 10 acerca de la relevancia que atribuye a la eco-innovación para la generación de nuevos empleos en la región a medio plazo (de 3-5 años)*

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

**C.2) ¿Consideras que la eco-innovación en el sector del transporte por carretera puede contribuir a la vertebración territorial en la región a lo largo de esta década?**

*Intentar definir en qué medida de 0 a 10 el entrevistado considera que la eco-innovación puede contribuir a la vertebración territorial en la región a lo largo de esta década*

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

**C.3) ¿Consideras que la eco-innovación en el sector del transporte por carretera puede contribuir a la transferencia de tecnología en la región a lo largo de esta década?**

*Intentar definir en qué medida de 0 a 10 el entrevistado considera que la eco-innovación puede contribuir a la transferencia de tecnología en la región a lo largo de esta década*

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

**C.4) ¿Crees que el fomento y desarrollo de políticas para el sector del transporte de mercancías podrían contribuir a los anteriores beneficios?**

*Intentar definir en qué medida de 0 a 10 el entrevistado considera que los apoyos públicos pueden contribuir a hacer un sector más sostenible. En caso afirmativo, ¿en qué aspectos concretos deberían centrarse tales esfuerzos?*

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

**C.5) De manera general, ¿opinas que hay claros vínculos o interrelación de algún tipo entre el fomento del transporte sostenible y factores sociales como la educación, la salud, el bienestar, etc.?**

*Intentar definir la opinión del entrevistado entre 0 y 10 acerca de la relación que establece entre el transporte sostenible y factores sociales.*

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

**C.6) ¿Consideras que en la actualidad existe predisposición del tejido empresarial para implantar mejoras en la tecnología y la gestión que aumenten la sostenibilidad del sector del transporte de mercancías por carretera?**

*Intentar definir de 0 a 10 la opinión del entrevistado acerca de la predisposición en términos generales de las empresas ante la eco-innovación*

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

**C.7) ¿Consideras que el grado de comunicación de los actores involucrados en los procesos de eco-innovación (Empresas, Administración/Centros de I+D) en tu región es suficiente para que se implante en las empresas con cierta facilidad?**

*Intentar definir de 0 a 10 la opinión del entrevistado acerca de la comunicación existente en la región entre estos actores*

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|

**C.8) ¿En tu opinión, la promoción de la sostenibilidad debería ser considerada como una de las estrategias prioritarias en los planes de desarrollo de tu región?**

**C.9) Si tuvieras que evaluar la factibilidad y sostenibilidad de un proyecto, ¿cómo ponderarías los siguientes factores sobre el 100%?**

|                                     |     |   |
|-------------------------------------|-----|---|
| Factores de carácter ECONÓMICO      |     | % |
| Factores de carácter SOCIAL         |     | % |
| Factores de carácter MEDIOAMBIENTAL |     | % |
| suma                                | 100 | % |

**C.10) Por último y para acabar, ¿qué pregunta que no te hemos planteado consideras que hubiera sido pertinente o interesante al tema en cuestión?**

**Entrevista “semi-estructurada” a expertos para el análisis de sostenibilidad del transporte de mercancías**

La información inherente a los datos personales de los entrevistados y a los datos de las personas jurídicas obtenidos a través de las entrevistas realizadas en papel o en formato digital serán empleados exclusivamente con la finalidad de realizar una tesis doctoral de la Universidad de Zaragoza y las publicaciones científicas derivadas de la misma. Las respuestas, opiniones, y otros eventuales comentarios serán tratados de forma confidencial y se emplearán por el estudio de forma agregada sin que puedan asociarse en ningún momento ni con el entrevistado ni con la correspondiente persona jurídica.

Si Ud. NO desea que la entrevista sea grabada, por favor marque aquí  o comuníquelo por escrito enviando a: [instituto.circe@unizar.es](mailto:instituto.circe@unizar.es)

**Nombre y Apellidos:** \_\_\_\_\_ **DNI:** \_\_\_\_\_

**Entidad/empresa:** \_\_\_\_\_ **Cargo:**

\_\_\_\_\_

**Correo Electrónico:** \_\_\_\_\_

En \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Declaro haber leído y aceptar las condiciones en las que se realiza la entrevista y las cláusulas de confidencialidad

Firmado:

**CLÁUSULAS DE CONFIDENCIALIDAD**

De conformidad con lo dispuesto en la normativa vigente en materia de protección de datos, los datos personales y de la persona jurídica obtenidos a través de las entrevistas realizadas en papel o en formato digital pasan a formar parte de un fichero privado de titularidad de la Universidad de Zaragoza – Instituto de Investigación Mixto CIRCE (CIF Q5018001G) domicilio en Campus Río Ebro Universidad de Zaragoza. Edificio CIRCE C/ Mariano Esquillor Gómez, 15. 50018 Zaragoza (España) [instituto.circe@unizar.es](mailto:instituto.circe@unizar.es)

**Anexo B.3. Guía de evaluación subcategorías con inventario de análisis genérico**

| Subcategoría                                     | Indicador de análisis genérico   | Fuente del indicador  | Rango variable original | Valoración propuesta  |   | Comentarios |
|--|--|---|-------------------------|---|---|-------------|
|  |  |   |                         | Valor original  | Resultado   |             |
| <b>Trabajo infantil</b>                          | Tasa trabajo infantil en el país   | <i>UNICEF Data: Monitoring the Situation of Children and Women</i> [555]<br><i>+List of Goods Produced by Child Labor or Forced Labor</i> [556] | 0 – 100%                | < 0,5%<br>0,5% – 2%<br>2% – 5%<br>5% – 20%<br>≥ 20% o lista*                |  La fuente muestra el porcentaje de niños entre 5 y 17 años trabajando en el país, de acuerdo con las Convenciones 138 y 182 de la OIT [554].<br><br><br> *Si el producto aparece listado con riesgo de ser producido por trabajo infantil se valora directamente como “muy negativo”<br>  |             |
| <b>Explotación/ trabajo forzado</b>              | Índice de vulnerabilidad del país para trabajo forzado o esclavitud moderna  | <i>Global Slavery Index</i> [557]<br><i>+List of Goods Produced by Child Labor or Forced Labor</i> [556]  | 0 – 100                 | 0 – 20<br>20 – 40<br>40 – 60<br>60 – 80<br>80 – 100 o lista*                |  El índice considera también aspectos positivos del país como la respuesta e iniciativas del gobierno para prevenir esta problemática<br><br><br> *Si el producto aparece listado con riesgo de ser producido por trabajo forzado se valora directamente como “muy negativo”<br>   |             |
| <b>Igualdad de oportunidades/ discriminación</b> | Índice de Participación y oportunidades económicas de las mujeres en el país | <i>Global Gender Gap Report</i> [558]   | 0,00 – 1,00             | 1,00<br>0,750 – 0,999<br>0,500 – 0,749<br>0,250 – 0,499<br>0,00 – 0,249     |  Del reporte, se utiliza el subíndice <i>Economic participation and Opportunity</i> , en donde un valor igual a 0,00 significa que hay una completa desigualdad en el país, mientras que el índice igual 1,00 significa que el país ha logrado la completa igualdad o “paridad”<br><br><br><br>  |             |
| <b>Libre asociación de trabajadores</b>          | Índice de respeto de los derechos de los trabajadores en el país             | <i>ITUC Global Rights Index</i> [559]   | 1 – 5+                  | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 o 5+  |  La valoración de 1 indica que se respetan los derechos de los trabajadores, mientras que 5 significa que es uno de los peores países para los trabajadores, en donde no están garantizados sus derechos.<br><br><br> Adicionalmente, se da la valoración 5+ para los países en donde hay mayores riesgos por los conflictos internos o invasiones militares<br>             |             |
| <b>Salario justo</b>                             | Salario mediano en el sector frente al mediano nacional                      | <i>Key Indicators of the Labour Market, ILOSTAT</i> [560]: <i>Mean nominal monthly earnings of employees</i>                                    | 0 % – ∞                 | ≥ 150%<br>120% – 150%<br>80% – 120%<br>50% – 80%<br>< 50 %                  |  De acuerdo con la OIT, un salario es inadecuado cuando es inferior a la mitad del salario mediano nacional [782]. Un salario justo debe estar al nivel del salario mediano del país.<br><br><br> Las cifras de salario mediano reflejan mejor la realidad social, pero son difíciles de hallar, por lo cual se utilizan las cifras de los salarios promedio.<br>       |             |
| <b>Horario laboral justo</b>                     | Promedio de horas reales trabajadas a la semana por sector                   | <i>Key Indicators of the Labour Market, ILOSTAT</i> [560]: <i>Mean weekly hours actually worked per employee</i>                                | 0 – 167                 | < 40 horas<br>40 – 45 horas<br>45 – 48 horas<br>48 – 52 horas<br>≥ 52 horas |  La OIT utiliza las fuentes más fiables para cada país como Encuestas de fuerza laboral, que se realizan junto con censos generales, las cuales tienen mayor precisión que Encuestas específicas que toman muestras de empresas y solo consideran a los trabajadores formales, excluyendo colaboradores tercerizados o informales<br><br><br><br>                  |             |
| <b>Seguridad y salud en el trabajo</b>           | Tasa de accidentes no fatales por sector frente a la tasa nacional           | <i>Key Indicators of the Labour Market, ILOSTAT</i> [560]: <i>Non-fatal occupational injuries per 100'000 workers by economic activity</i>      | 0 – 100%                | < 50%<br>50% – 80%<br>80% – 120%<br>120% – 150%<br>≥ 150%                   |  La tasa del sector es comparada con el promedio nacional y no con promedios internacionales, ya que la variabilidad en los formatos de reporte de accidentes y la cultura de cada país pueden sub o sobre estimar estas cifras [782], es decir, en cada país hay tipos de lesiones que pueden ser o no ser consideradas como accidentes laborales<br><br><br><br> |             |

|   |  |  |             |   |   |
|---|--|--|-------------|---|---|
| <b>Beneficios sociales/seguridad social</b>                   | Tasa de la población del país cubierta por al menos un beneficio social otorgado a los trabajadores                    | <i>World Social Protection Report</i> [561]  | 0 – 100%    | 80% – 100%<br>60% – 80%<br>40% – 60%<br>20% – 40%<br>0 – 20%  |  Los beneficios básicos que deberían recibir los trabajadores son el seguro de salud, las licencias por maternidad y enfermedad/accidente pagadas, pensión por vejez o invalidez, sustento por desempleo (cesantías) y seguro de salud para sus hijos y/o conyugue<br><br><br><br>   |
| <b>Transparencia en temas sociales/ medioambientales</b>      | Tasa de empresas del país con reportes de responsabilidad social, gestión medioambiental y/o de sostenibilidad         | <i>KPMG Survey of Corporate Responsibility Reporting</i> [562]                               | 0 – 100%    | -----<br>> 89%<br>72% – 89%<br>< 72%<br>-----   |  La tasa promedio de los países incluidos está entre 72% y 89% [562]. No se consideran los extremos de la escala propuesta, ya que los informes solo analizan las 100 empresas más grandes de cada país. Además, el hecho de existir una tasa muy baja o muy alta, no referiría automáticamente que las empresas de ese país sean muy o nada transparentes<br><br><br><br>                           |
| <b>Confidencialidad con la información de los clientes</b>    | Legislación para la protección y privacidad de datos de los consumidores   | <i>UNCTAD Global Cyberlaw Tracker</i> [563]  | 0 – 4 áreas | -----<br>4 áreas<br>3 áreas<br>2 áreas<br>1 o ningún área   |  Se evalúa la existencia de legislación aprobada para una o más de las siguientes 4 áreas: comercio electrónico, delitos cibernéticos, protección del consumidor y privacidad y protección de datos. No se utiliza la etiqueta “muy alta” ya que este reporte no considera la capacidad que pueden tener algunos gobiernos de acceder a estos datos privados de las personas<br><br><br><br>         |
| <b>Mecanismos de retroalimentación con los clientes</b>       | Grado de orientación al cliente en el país   | <i>Global Competitiveness Report</i> [564]: <i>Degree of customer orientation</i>            | 1 – 7       | 5,8 – 7<br>4,6 – 5,8<br>3,4 – 4,6<br>2,2 – 3,4<br>1 – 2,2   |  Se utiliza la valoración dada en los reportes de Competitividad global del WEF [564], para el indicador <i>Degree of customer orientation</i> .<br> “In your country, how well do companies treat customers? [1 = poorly—mostly indifferent to customer satisfaction; 7 = extremely well—highly responsive to customers and seek customer retention]”<br><br><br>                                   |
| <b>Deslocalización y migración</b>                            | Reportes de desalojos forzados, migración o deslocalización de personas que pueden ser atribuidos al sector en el país | <i>Internal Displacement Monitoring Centre</i> [565]   | N/A         | Acciones alto impacto***<br>Acciones moderadas**<br>No hay afectación<br>Por daño a recursos*<br>Forzados/con violencia |  Se utiliza información del IDMC [565] y de otras fuentes oficiales como <i>The UN Refugee Agency</i> [783] para evaluar el impacto del sector /país.<br> *Por daño a recursos materiales o forzados por el gobierno mediante compensaciones poco satisfactorias<br> ***Promoción proactiva... o **Promoción moderada... de proyectos de restitución de tierras o de empleo para refugiados.<br><br> |
| <b>Respeto a las tradiciones locales/ patrimonio cultural</b> | Índice social de hostilidades para la libertad de creencias en el país   | <i>Pew-Templeton Global Religious Futures Project</i> [566]: <i>Social Hostilities Index</i> | ISH         | ----<br>Bajo<br>Moderado<br>Alto<br>Muy alto  |  El índice social de hostilidades (ISH) está basado en el análisis de 13 indicadores para expresar mediante 4 etiquetas lingüísticas el grado de intolerancia o la hostilidad social hacia libertades de creencias en cada país.<br><br><br><br>   |

|  |  |  |             |  |  |
|--|--|--|-------------|--|--|
| <b>Respeto a los derechos de las comunidades indígenas</b> | Reportes de afectación a los derechos humanos en las comunidades indígenas por empresas del sector | <i>Amnesty International</i> [567] and <i>U.S. Department of State</i> [568] <i>human rights reports</i> | N/A         | ----<br>Hay indígenas y no hay incidentes<br>No hay indígenas<br>Incidentes moderados<br>Incidentes graves |  En países en donde no hay comunidades indígenas, no pueden ser evaluados los esfuerzos para garantizar sus derechos. Sin embargo, en  países en donde una actividad económica se realice cerca de territorios  indígenas y que no haya ningún incidente con esas comunidades, se debe  valorar la gestión de las empresas del sector para no afectar sus derechos                  |
| <b>Participación de la comunidad</b>                       | Índice de Gobierno Abierto del país  | <i>World Justice Project Open Government Index</i> [569]   | 0,00 – 1,00 | 0,80 – 1,00<br>0,60 – 0,80<br>0,40 – 0,60<br>0,20 – 0,40<br>0,00 – 0,20                                    |  El Índice de Gobierno Abierto (IGA) del <i>World Justice Project</i> [569], realiza  el análisis de una serie de variables agrupadas en 4 dimensiones: leyes  publicadas y datos gubernamentales; derecho a la información;  participación cívica; y mecanismos de quejas y reclamos.    |
| <b>Condiciones de vida seguras y saludables</b>            | DALYs (años de vida ajustados por discapacidad) asociados a la contaminación atmosférica del país  | <i>Ambient Air Pollution: A global assessment of exposure and burden of disease</i> [570]                | 0 – ∞       | 0 – 299<br>300 – 679<br>680 – 999<br>1000 – 1499<br>≥ 1500   |  Número de años de vida perdidos por incapacidad o muerte (DALYs) por  cada 100 000 habitantes ( <i>age-standardized rate</i> ), asociados a la  contaminación atmosférica del país. La medida estandarizada por edad es  útil para comparar países, ya que se ajusta a las diferencias de distribución  de edad de la población aplicando tasas de mortalidad específicas por edad |
| <b>Acceso a recursos materiales</b>                        | Índice de vitalidad del ecosistema del país  | <i>Environmental Performance Index</i> [571]: <i>Ecosystem Vitality score</i>                            | 0 – 100     | 80 – 100<br>60 – 80<br>40 – 60<br>20 – 40<br>0 – 20  |  El Índice de Vitalidad del Ecosistema (IVE), que hace parte del Índice de  Desempeño Ambiental, está compuesto por 13 indicadores, de los cuales  se puede inferir el grado en que cada país está protegiendo los recursos  vitales para las comunidades que las actividades económicas degradan   |
| <b>Acceso a recursos inmateriales</b>                      | Índice de libertad de prensa/expresión   | <i>Freedom of the Press reports</i> [572]  | 0 – 100     | ----<br>0 – 30<br>31 – 60<br>61 – 100<br>----  |  Se utilizan los reportes de Libertad de Prensa del <i>Freedom House</i> [572], el  cual realiza la evaluación con base en 3 criterios: legislativo, político y  económico. El índice agregado del país es representado de 0 a 100 o  etiquetado como Libre (0-30), Parcialmente libre (31-60) o Sin libertad (61-  100)  |
| <b>Creación de empleo local</b>                            | Presencia de proveedores locales en el país.   | <i>Global Competitiveness Report</i> [564]: <i>Local supplier quantity</i>                               | 1 – 7       | 5,8 – 7<br>4,6 – 5,8<br>3,4 – 4,6<br>2,2 – 3,4<br>1 – 2,2  |  Una valoración de 7 significa que la cantidad de proveedores locales es  extremadamente numerosa. Un alto índice de proveedores locales  promueve la competencia, obteniéndose mejores precios y mejor calidad  de productos. Así, las empresas optarían por comprar materias primas e  insumos locales en lugar de extranjeros, promoviendo el empleo local.             |
| <b>Contribución a la economía nacional</b>                 | Productividad por trabajador del sector frente al promedio en el país                              | Fuentes nacionales o internacionales para el sector/país   | 0 % – ∞     | ≥ 170%<br>130% – 170%<br>70% – 130%<br>30% – 70%<br>< 30 %   |  La productividad por empleado (valor agregado/número de trabajadores)  del sector es comparada con la productividad promedio de un trabajador  en el país.  En caso de no encontrarse el “valor agregado” generado por el sector,  puede ser utilizado el aporte al PIB o el volumen de negocio del sector.  |

|  |   |  |         |  |   |
|--|---|--|---------|--|---|
| <b>Prevención y mitigación de conflictos armados</b> | Clasificación y nivel de conflictos existentes en la región de operación de empresas del sector   | <i>The Heidelberg Institute Conflict Barometer</i> [573]   | 0 – 5   | ----<br>0<br>1<br>3 o 2<br>5 o 4                                       |  <p>El <i>Heidelberg Institute</i> identifica 6 niveles de intensidad de conflictos: (0) sin disputas; (1) disputa; (2) crisis no violenta; (3) crisis violenta; (4) guerra limitada; y (5) guerra.</p>  |
| <b>Desarrollo tecnológico</b>                        | Índice de innovación del país.  | <i>Global Innovation Index</i> [574]:<br><i>Innovation Output Sub-index</i>  | 1 – 127 | 1 – 25<br>26 – 51<br>52 – 77<br>78 – 102<br>103 – 127                  |  <p>En los resultados del <i>Innovation Output Sub-index</i>, el cual se enfoca en el análisis de indicadores creación tecnológica, su impacto y difusión, solo 2 países superan ligeramente los 60 puntos de 100 posibles. Por lo que la escala no se realiza por puntos de 0 a 100 sino por quintiles del ranking de 127 países. Q1:1-25; Q2:26-51; Q3: 52-77; Q4:78-102; Q5:103-127</p> |
| <b>Corrupción</b>                                    | Índice de percepción de la corrupción en el país  | <i>Corruption Perceptions Index</i> [575]<br>+ <i>Corruption Challenges Index</i> [784]*   | 0 – 100 | 80 – 100<br>60 – 80<br>40 – 60<br>20 – 40<br>0 – 20                    |  <p>El índice entre más cerca de 0 significa que se percibe el país como “muy corrupto” y entre más cerca de 100 se percibe como “muy limpio”.</p> <p>*Si el sector/industria aparece listado como el más corrupto del continente en el <i>Corruption Challenges Index</i> se empeora la valoración en un grado</p>  |
| <b>Compromiso público en temas de sostenibilidad</b> | N/A   | N/A  | -       | -  |  <p>No se encuentra un reporte o índice que pueda describir el comportamiento del sector o país en esta subcategoría</p>   |
| <b>Relaciones con los proveedores</b>                | N/A   | N/A  | -       | -  |  <p>No es posible realizar un análisis genérico en esta subcategoría [545]</p>   |
| <b>Competencia desleal</b>                           | Efectividad de las políticas antimonopolistas en el país y evidencia malas prácticas en el sector | <i>Global Competitiveness Report</i> [564]: <i>Effectiveness of anti-monopoly policy</i><br>+ <i>Competition Policy International (CPI) publications</i> [576] | 1 – 7   | 5,8 – 7<br>4,6 – 5,8<br>3,4 – 4,6<br>2,2 – 3,4<br>1 – 2,2 o sanciones* |  <p>Se utiliza el indicador de Efectividad de las políticas antimonopolistas, clasificado en el sexto pilar (eficiencia del mercado de productos) del Reporte de Competitividad global [564], en donde 7 significa que las efectividad es muy alta. *El hallazgo de sanciones por malas prácticas a grupos de empresas del sector se valora directamente como “muy malo”</p>              |

**Anexo B.4. Guía de evaluación subcategorías con inventario de análisis específico**

| Subcategoría de impacto                      | Puntos  | Hallazgos   |
|--|---|---|
| Trabajo infantil                             | +1  | Se otorgan becas y/o donaciones de dinero, tiempo o en especie con alto impacto                               |
|  | +1  | Se otorgan becas y/o donaciones de dinero, tiempo o en especie  |
|  | +1  | Realizan auditorías a los proveedores para verificar la no contratación de menores                            |
|  | +1  | Rechazan el empleo de menores por parte de proveedores mediante códigos de conducta                           |
|  | +1  | Se admiten menores entre 16 y 18 años siempre y cuando estén estudiando                                       |
|  | Base  | No se presenta o no hay evidencia   |
|  | -1  | Empleo de menores entre 16 y 18 años en actividades peligrosas  |
|  | -1  | Emplean menores de 15 años  |
|  | -1  | Emplean menores de 15 años en actividades y jornadas iguales a las de los adultos                             |
|  | -1  | Emplean menores de 15 años en actividades peligrosas  |
| Explotación/ trabajo forzado                 | +1  | Realizan campañas o colaboran en iniciativas para abolir el trabajo forzado o explotación laboral             |
|  | +1  | Realizan auditorías a los proveedores para verificar la ausencia de explotación o trabajo forzado             |
|  | +1  | Rechazan el trabajo forzado o explotación laboral por parte de proveedores                                    |
|  | +1  | Los empleados pueden renunciar en cualquier momento sin penalidades monetarias                                |
|  | +1  | Hay políticas o códigos de ética internos en el que rechazan las prácticas de explotación/trabajo forzado     |
|  | Base  | No se presenta o no hay evidencia.  |
|  | -1  | No se realizan contratos de trabajo por escrito que cumplan la legislación del país                           |
|  | -1  | Se puede presentar mediante amenazas de despido o deterioro de condiciones o beneficios laborales             |
|  | -1  | Se ha presentado mediante la retención de documentos, amenaza de denuncia ante autoridades migratorias        |
|  | -1  | No se otorga compensación monetaria por los trabajos realizados   |
| Igualdad de oportunidades/<br>discriminación | +1  | Realizan campañas para disminuir cualquier tipo de discriminación en el sector o región                       |
|  | +1  | Hay políticas o herramientas para motivar a las mujeres a trabajar en su empresa                              |
|  | +1  | Realizan auditorías a los proveedores para verificar la ausencia de discriminación laboral                    |
|  | +1  | Rechazan la discriminación o trato no igualitario por parte de proveedores                                    |
|  | +1  | La tasa de mujeres en la empresa es más alta cada año   |
|  | Base  | No se presenta discriminación o no hay evidencia  |
|  | -1  | En las ofertas laborales se especifica el género u otra característica preferida como raza, nacionalidad, etc |
|  | -1  | La tasa de mujeres en la empresa es más baja cada año   |
|  | -1  | Las labores con mayor dificultad física, horaria o locativa son asignadas a trabajadores de alguna minoría    |
|  | -1  | La proporción de mujeres en la empresa es menor al 80% de la media del sector                                 |
| Libre asociación de<br>trabajadores          | +1  | Se ha presentado acoso laboral o sexual a mujeres o empleados de alguna minoría                               |
|  | +1  | El sindicato ha obtenido mejoras en las condiciones de los trabajadores de manera importante                  |
|  | +1  | El sindicato ha obtenido mejoras en las condiciones de los trabajadores                                       |
|  | +1  | Los miembros del sindicato son respetados y tienen privilegios por su labor adicional en la empresa           |
|  | +1  | Rechazan la limitación a la asociación de trabajadores por parte de proveedores                               |
|  | +1  | Los trabajadores tienen la libertad de vincularse a un sindicato  |
|  | Base  | Se permite la libre asociación de trabajadores, pero solo por ser exigido por ley                             |
|  | -1  | Existen pactos o convenios colectivos al mismo tiempo que sindicatos en la empresa                            |
|  | -1  | Hay un sindicato, pero no se hace caso a sus peticiones o sus miembros son discriminados y acosados           |
|  | -1  | Se dan mejores beneficios a los vinculados al pacto colectivo que a los vinculados al sindicato               |
| Salario justo                                | -1  | Se prohíbe o limita la libre asociación de trabajadores mediante la finalización de contratos laborales       |
|  | -1  | Se persigue y amenaza, mediante violencia, a los miembros del sindicato o a quienes quieran vincularse        |
|  | +1  | El salario es 120% o superior comparado con el promedio del país  |
|  | +1  | Se otorgan subsidios o primas (pagas) extralegales a los empleados  |
|  | +1  | El salario es 150% o superior frente al salario promedio de la ciudad de residencia del trabajador            |
|  | +1  | El salario es 120% o superior frente al salario promedio de la ciudad de residencia del trabajador            |
|  | +1  | El salario es 120% o superior comparado el promedio del sector  |
|  | Base  | El salario es justo para su labor, superior al mínimo legal del país  |
|  | -1  | El salario es menor al 80% comparado con el promedio del sector   |
|  | -1  | El salario es menor al 80% comparado con el promedio de la ciudad de residencia del trabajador                |
| -1   | El salario no es pagado cumplidamente en las fechas acordadas en el contrato de trabajo               |   |
| -1   | El trabajador debe pagar de su salario los elementos de oficina o dotación corporativa como uniformes |   |
| -1   | El salario promedio es inferior al salario mínimo legal mensual vigente en el país                    |   |

|   |  |   |
|---|--|---|
| Horario laboral justo                               | +1   | Hay flexibilidad horaria incluyendo posibilidad de elegir lugar de trabajo o trabajar desde casa              |
|   | +1   | Hay flexibilidad horaria  |
|   | +1   | Se trabaja menos de 40 horas semanales  |
|   | +1   | Se trabaja menos de 45 horas semanales  |
|   | +1   | Se trabaja menos de 48 horas semanales  |
|   | Base   | El horario es regular y no excede las 48 horas semanales y hay un día libre cada fin de semana                |
|   | -1   | Se trabaja más de 48 horas semanales  |
|   | -1   | Se trabaja más de 52 horas semanales  |
|   | -1   | El horario es irregular   |
|   | -1   | No hay flexibilidad horaria, es casi imposible obtener permisos para realizar diligencias importantes         |
|   | -1   | El día libre difícilmente coincide con el fin de semana o no existe   |
| Salud y seguridad en el trabajo                     | +1   | Realizan campañas para promover la salud y seguridad de trabajadores del sector, proveedores y clientes       |
|   | +1   | El índice de accidentalidad es menor al 50% comparado con la media del sector                                 |
|   | +1   | Hay auditorías al puesto de trabajo y capacitaciones en temas de salud y seguridad a los trabajadores         |
|   | +1   | El índice de accidentalidad es menor al 80% comparado con la media del sector                                 |
|   | +1   | Existen políticas que dan relevancia a velar por la salud y seguridad de los trabajadores                     |
|   | Base   | Se mantiene un puesto de trabajo óptimo para la salud y seguridad de los trabajadores                         |
|   | -1   | El índice de accidentalidad es superior al 120% comparado con la media del sector                             |
|   | -1   | No se verifican periódicamente los puestos de trabajo para mantenerlos óptimos                                |
|   | -1   | No se da inducción o capacitación al trabajador en temas de salud y seguridad en el trabajo                   |
|   | -1   | Los trabajadores no se encuentran afiliados a compañías aseguradoras de riesgos profesionales                 |
| -1  | Se han despedido injustificadamente trabajadores que hayan padecido alguna enfermedad o lesión laboral       |   |
| Beneficios sociales/Seguridad social                | +1   | Los empleados perciben una alta estabilidad laboral en la empresa   |
|   | +1   | Realizan auditorías a proveedores para verificar si se otorgan los beneficios sociales legales a empleados    |
|   | +1   | No se aceptan proveedores que no otorguen todos los beneficios sociales básicos a sus trabajadores            |
|   | +1   | Se otorgan beneficios extras como subsidios de educación al trabajador y/o sus hijos                          |
|   | +1   | Se otorgan beneficios extras de salud como seguro dental o medicina prepagada                                 |
|   | Base   | Se otorgan beneficios sociales básicos (salud, pensión, cesantías, licencias, salud a hijos y/o conyugue)     |
|   | -1   | Se otorgan los beneficios sociales básicos, pero con base en un salario inferior al real devengado            |
|   | -1   | Los trabajadores reportan inestabilidad laboral o tasa de rotación externa superior al 10%                    |
|   | -1   | No se otorgan licencias por maternidad, enfermedad o accidente pagadas  |
| -1  | No se realizan aportes para cesantías (sustento por desempleo) o para pensión por vejez o invalidez          |   |
| -1  | No se otorga seguro de salud o no cubre a sus hijos o conyugue, el trabajador debe asumírselos por su cuenta |   |
| Transparencia en tema sociales/ medioambientales    | +1   | Describen con detalle los impactos negativos de su operación mediante reportes de sostenibilidad              |
|   | +1   | Tienen certificaciones y etiquetas medioambientales o de responsabilidad social                               |
|   | +1   | Publican periódicamente reportes de sostenibilidad  |
|   | +1   | Exigen o sugieren a sus proveedores la publicación de reportes o certificaciones ambientales/sociales         |
|   | +1   | Informa los procesos de producción utilizados y los impactos en reportes como el de huella de carbono         |
|   | Base   | Se describen las características de su producto y organización, pero sin dar detalles de sus impactos         |
|   | -1   | La empresa no presenta públicamente en su página web los reportes anuales de desempeño                        |
|   | -1   | No se informan los impactos negativos de la empresa o sus productos   |
|   | -1   | No se informan los impactos negativos de la empresa o sus productos, aunque los conozcan                      |
|   | -1   | La empresa considera confidencial información referente a sus proveedores y por sus impactos generados        |
| -1  | Se ha detectado reportes con información falsa referente a sus impactos sociales y/o medioambientales        |   |
| Confidencialidad con la información de los clientes | +1   | Se realizan campañas para promover la protección y confidencialidad de datos de los clientes el sector        |
|   | +1   | Se informa y se obtiene la autorización para el manejo y tratamiento de datos personales de los clientes      |
|   | +1   | Se implementan mecanismos, dispositivos o software especializado de seguridad de la información               |
|   | +1   | Hay controles para verificar el cumplimiento del contrato y las políticas de protección de información        |
|   | +1   | Hay políticas y/o cláusulas en el contrato de los empleados para proteger la información de los clientes      |
|   | Base   | La empresa respeta y protege la información de acuerdo a la ley, pero no hay mecanismos definidos             |
|   | -1   | Se recopilan datos personales de los clientes sin obtener su debida autorización firmada                      |
|   | -1   | Se han utilizado los datos personales de los clientes para fines no relacionados a la prestación del servicio |
|   | -1   | La empresa ha cedido la información de los clientes a otras empresas del sector u otros sectores              |
|   | -1   | La empresa recopila datos personales y financieros del cliente mediante sistemas o plataformas no seguros     |
| -1  | Se ha filtrado información sensible de los clientes a sus competidores                                       |   |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes    | +1   | Se tienen en cuenta las opiniones de los clientes para la elaboración de planes estratégicos de la empresa    |
|   | +1   | Se realizan encuestas de satisfacción a los clientes con índices superiores al 80%                            |
|   | +1   | Se realizan encuestas de satisfacción a los clientes  |
|   | +1   | Hay una persona o departamento encargado de recibir y gestionar solicitudes de los clientes                   |
|   | +1   | La recepción o área administrativa de la empresa puede recibir y gestionar las solicitudes de los clientes    |
|   | Base   | Se atienden las solicitudes del cliente a través del vendedor y se solucionan frecuentemente                  |
|   | -1   | Las solicitudes del cliente recibidas por el vendedor tienen una gestión lenta                                |
|   | -1   | Las solicitudes del cliente recibidas por el vendedor al final no tienen solución satisfactoria               |
|   | -1   | No se da relevancia a las opiniones de los clientes para la elaboración de planes estratégicos de la empresa  |
|   | -1   | Se percibe una satisfacción del cliente inferior al 50%   |
| -1  | Las solicitudes de los clientes no son aceptadas o reciben respuestas negativas                              |   |

|  |      |  |
|--|------|--|
| Deslocalización y migración                            | +1   | Se promueve la no deslocalización de personas o participa en programas de restitución de tierras             |
|  | +1   | Se promueve la integración de trabajadores inmigrantes con la comunidad                                      |
|  | +1   | Se ha compensado a las personas que ha sido necesario deslocalizar   |
|  | +1   | Se rechaza que proveedores hayan estado involucrados en deslocalización de personas                          |
|  | +1   | Hay políticas para evitar deslocalización involuntaria de personas   |
|  | Base | No realizan acciones que influyan en la deslocalización personas o no operan en estas zonas vulnerables      |
|  | -1   | Se ha compensado a las personas deslocalizadas, pero estas no han quedado satisfechas                        |
|  | -1   | Se han adquirido terrenos que años atrás habían sido de personas deslocalizadas de manera forzada            |
|  | -1   | Se ha deslocalizado personas involuntariamente al afectar sus recursos naturales o medios de subsistencia    |
|  | -1   | Se han deslocalizado personas sin compensarlas, amparados por la legislación (posiblemente manipulada)       |
|  | -1   | Se han deslocalizado personas a través de amenazas o con violencia   |
| Respeto a las tradiciones locales/ patrimonio cultural | +1   | Realizan campañas para salvaguardar el patrimonio cultural y tradiciones con la comunidad local              |
|  | +1   | La empresa se involucra en todos los niveles para hacer parte de las tradiciones de los trabajadores         |
|  | +1   | Se respetan los días festivos/religiosos de los trabajadores así sean de una religión minoritaria            |
|  | +1   | Se rechaza que proveedores no respeten el patrimonio cultural de sus trabajadores y la comunidad             |
|  | +1   | Se promueve el uso del idioma/lengua local o conocimientos ancestrales al interior de la empresa             |
|  | Base | La empresa es consciente de no afectar las tradiciones locales ni el patrimonio cultural                     |
|  | -1   | No hay medidas especiales para proteger la cultura de la comunidad y/o trabajadores                          |
|  | -1   | No se respetan los días festivos/religiosos de los trabajadores por ser de religión minoritaria              |
|  | -1   | No se afectan el patrimonio cultural, transformando los medios tradicionales de subsistencia                 |
|  | -1   | Se ha afectado el patrimonio cultural introduciendo una nueva lengua/idioma a la comunidad                   |
|  | -1   | Se ha atacado y/o destruido los medios de subsistencia y el patrimonio intencionadamente                     |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas    | +1   | Se realizan aportes monetarios o en especie para mejorar las condiciones de vida de los indígenas            |
|  | +1   | Se rechaza que proveedores que no respeten los derechos de las comunidades                                   |
|  | +1   | La voz y voto de los líderes indígenas tienen un alto peso en las decisiones de la empresa                   |
|  | +1   | Se permite la participación de los líderes indígenas en la toma de decisiones                                |
|  | +1   | Hay políticas que tienen en cuenta la importancia de la no afectación a las comunidades indígenas            |
|  | Base | No se afectan los derechos de las comunidades indígenas o no se opera cerca de sus territorios               |
|  | -1   | Se permite la participación de los líderes indígenas en la toma de decisiones, pero no les dan relevancia    |
|  | -1   | Se han afectado los recursos naturales y/o medios de subsistencia de las comunidades indígenas               |
|  | -1   | No se permite la participación de los indígenas en la toma de decisiones ni se utiliza la consulta previa    |
|  | -1   | Se han compensado los daños a sus comunidades, pero han sido insuficientes                                   |
|  | -1   | Se han deslocalizado comunidades indígenas mediante amenazas y/o uso de violencia                            |
| Participación de la comunidad                          | +1   | Se involucra a la comunidad en iniciativas financiadas por la empresa con alto impacto social/ambiental      |
|  | +1   | Se tiene en cuenta las opiniones de la comunidad en el desarrollo de políticas y planes a largo plazo        |
|  | +1   | La voz y voto de los líderes sociales/comunitarios tienen un alto peso en las decisiones de la empresa       |
|  | +1   | Se tienen en cuenta las opiniones de la comunidad en la toma de decisiones a corto plazo (consulta previa)   |
|  | +1   | Se apoyan actividades o iniciativas de la comunidad (deportivas, culturales, medioambientales, etc.)         |
|  | Base | Solo se tiene en cuenta las opiniones de la comunidad cuando a la legislación lo exige                       |
|  | -1   | No se permite el acceso o visitas guiadas a la empresa de personas de la comunidad                           |
|  | -1   | No se ha permitido la participación de la comunidad cuando sus líderes la han solicitado a la empresa        |
|  | -1   | No se ha utilizado el mecanismo de consulta previa incluso cuando la legislación lo exige                    |
|  | -1   | Hay injerencia en los medios de comunicación en contra de la libertad de prensa o libertad de expresión      |
|  | -1   | Se persigue/amenaza a líderes sociales que denuncian o revelan información de interés de la comunidad        |
| Condiciones de vida seguras y saludables               | +1   | Se comunican abiertamente los impactos generados y los planes de prevención y mitigación de estos            |
|  | +1   | La empresa mitiga/compensa los impactos sobre la salud de la comunidad completamente                         |
|  | +1   | La empresa mitiga casi completamente los riesgos generados   |
|  | +1   | Se rechazan proveedores que afectan las condiciones de vida seguras y saludables a la comunidad              |
|  | +1   | Se invierte gran cantidad de recursos en la prevención de riesgos  |
|  | Base | La empresa previene y/o mitiga los riesgos de afectación a la salud de comunidad parcialmente                |
|  | -1   | No se ha calculado o evaluado los posibles riesgos generados por la operación de la empresa                  |
|  | -1   | La empresa no se esfuerza en prevenir o mitigar los riesgos o impactos generados                             |
|  | -1   | La empresa no se esfuerza en prevenir o mitigar los riesgos o impactos generados así la legislación lo exija |
|  | -1   | Hay afectación a la salud de la comunidad por generación de ruido, emisiones y/o vertimientos                |
|  | -1   | Hay afectación grave a la salud de la comunidad por generación de ruido, emisiones y/o vertimientos          |
| Acceso a recursos materiales                           | +1   | Se proveen infraestructuras para beneficio de la comunidad   |
|  | +1   | Tienen planes de prevención para no afectar los recursos materiales teniendo casi un nulo impacto            |
|  | +1   | Se rechazan proveedores que afectan el acceso de la comunidad a los recursos materiales                      |
|  | +1   | Tienen planes para mitigar los daños recursos materiales y hay evidencia de sus acciones e inversiones       |
|  | +1   | Tienen planes para mitigar los daños a los recursos materiales   |
|  | Base | No afectan el acceso a los recursos materiales o se intenta mitigar los daños parcialmente                   |
|  | -1   | Hay un riesgo de afectación a los recursos materiales que no es mitigado o controlado por la empresa         |
|  | -1   | Se han apropiado de recursos materiales impidiendo el acceso a ellos por parte de la comunidad               |
|  | -1   | Se ha afectado el precio de los recursos materiales  |
|  | -1   | Afectan el acceso estos recursos al contaminarlos y no tener planes de mitigación                            |
|  | -1   | Afectan gravemente el acceso a estos recursos, dañándolos o agotándolos completamente                        |

|  |   |   |
|--|---|---|
| Acceso a los recursos<br>Inmateriales            | +1  | La empresa es abierta y transparente a cualquier pregunta de la comunidad y medios de comunicación          |
|  | +1  | Se financian proyectos para que la comunidad acceda a recursos inmateriales como la salud o educación       |
|  | +1  | Rechazan represión de la libre expresión por parte de proveedores   |
|  | +1  | Se invierte en transferencia de conocimiento, ofreciendo cursos a la comunidad en general                   |
|  | +1  | La empresa permite el acceso y visitas guiada a estudiantes y a la comunidad en general                     |
|  | Base  | No se reprime opiniones de empleados o la comunidad. Hay una limitada transferencia de conocimiento         |
|  | -1  | La empresa limita/restringe la transferencia de conocimiento  |
|  | -1  | Se reprime la libre expresión de empleados o comunidad  |
|  | -1  | Cuentan con seguridad privada autorizada para ejercer funciones exclusivas de la fuerza pública             |
|  | -1  | No permiten el acceso o visitas guiadas a personal ajeno a la empresa                                       |
|  | -1  | Se persigue/amenaza a periodistas o personas que tengan información que es de interés público               |
| Creación de empleo local                         | +1  | Más del 95% de trabajadores son de origen nacional  |
|  | +1  | Más del 80% de trabajadores son de origen nacional  |
|  | +1  | Más del 80% de trabajadores son de origen local   |
|  | +1  | Hay políticas específicas para dar preferencia a la contratación de proveedores con mano de obra local      |
|  | +1  | Hay políticas específicas para dar preferencia a la contratación de trabajadores locales                    |
|  | Base  | Las políticas de contratación de personal y de proveedores son indiferentes a su procedencia                |
|  | -1  | Hay preferencia para contratar personal no local en la empresa  |
|  | -1  | Hay preferencia para contratar personal extranjero  |
|  | -1  | Menos del 80% de trabajadores son de origen nacional  |
|  | -1  | Menos del 80% de trabajadores son de origen local   |
| -1   | Menos del 50% de trabajadores son de origen nacional  |   |
| Contribución a la economía<br>nacional           | +1  | La productividad por trabajador es un 250% o superior al promedio del sector                                |
|  | +1  | La productividad por trabajador es un 180% o superior al promedio del sector                                |
|  | +1  | La productividad por trabajador es un 130% o superior al promedio del sector                                |
|  | +1  | Más del 90% de los gastos son en proveedores nacionales   |
|  | +1  | Más del 70% de los gastos son en proveedores nacionales   |
|  | Base  | La productividad es similar al promedio del sector y no hay apoyo explícito a proveedores nacionales        |
|  | -1  | Menos del 70% de los gastos son en proveedores nacionales   |
|  | -1  | Menos del 50% de los gastos son en proveedores nacionales   |
|  | -1  | Menos del 30% de los gastos son en proveedores nacionales   |
|  | -1  | La productividad por trabajador es menor al 70% del promedio del sector                                     |
| -1   | La productividad por trabajador es menor al 50% del promedio del sector                               |   |
| Prevención y mitigación de<br>conflictos armados | +1  | La empresa interviene en la mediación o mitigación de conflictos de forma importante                        |
|  | +1  | La empresa interviene en la mediación o mitigación de conflictos  |
|  | +1  | Rechazan que proveedores estén involucrados en la formación o empeoramiento de conflictos                   |
|  | +1  | Se invierte en proyectos de educación y/o empleo para la población con riesgo de ingresar en los conflictos |
|  | +1  | Se invierte en proyectos de reintegración a la sociedad de los actores de los conflictos                    |
|  | Base  | La empresa no opera en zonas de conflictos latentes o la empresa no se involucra en el conflicto presente   |
|  | -1  | La empresa opera en zonas que han aumentado su nivel de conflictos  |
|  | -1  | La empresa trata de no involucrarse, pero hay acciones que podrían hacer escalar el conflicto               |
|  | -1  | La empresa ha pagado extorsiones o cuotas exigidas por grupos armados para poder seguir operando            |
| -1   | La empresa ha tomado acciones que hacen escalar el conflicto niveles mayores de intensidad            |   |
| -1   | La empresa ha financiado o ha participado en la creación de grupos armados ilegales                   |   |
| Desarrollo tecnológico                           | +1  | La empresa comparte y transfiere nuevos desarrollos con otras instituciones o proveedores abiertamente      |
|  | +1  | La empresa capacita a todos sus trabajadores en el uso de los nuevos desarrollos y tecnologías adquiridas   |
|  | +1  | La empresa invierte en I+D una cantidad considerable de recursos (> 0,5% de la utilidad bruta)              |
|  | +1  | La empresa invierte en I+D  |
|  | +1  | La empresa adquiere la tecnología de última generación disponible en el mercado                             |
|  | Base  | No se invierte en I+D, pero cuentan con tecnología medianamente moderna                                     |
|  | -1  | Hay elementos en la empresa cuya tecnología es antigua, casi obsoleta                                       |
|  | -1  | Hay elementos en la empresa cuya tecnología es obsoleta   |
|  | -1  | No se capacita integralmente a los trabajadores para el uso de la tecnología presente en la empresa         |
|  | -1  | La tecnología y/o procedimientos utilizados en la empresa son riesgosos para la salud y/o el ambiente       |
| -1   | La tecnología y/o procedimientos utilizados en la empresa afectan la salud y/o el ambiente gravemente |   |
| Corrupción                                       | +1  | Realizan campañas para prevenir y denunciar la corrupción con alto impacto                                  |
|  | +1  | Realizan campañas para prevenir y denunciar la corrupción   |
|  | +1  | Rechazan proveedores que han estado involucrados en corrupción  |
|  | +1  | Hay políticas y reglamentos sancionatorios para empleados que sean descubiertos en casos de corrupción      |
|  | +1  | Hay valores institucionales y códigos de ética para promover la transparencia en sus trabajadores           |
|  | Base  | No han estado involucrados en casos corrupción, aunque no tienen medidas para prevenirla                    |
|  | -1  | La empresa ha visto o conoce casos de corrupción y no ha tomado medidas ni ha denunciado                    |
|  | -1  | Trabajadores de niveles operativos o nivel medio han estado involucrados en casos de corrupción             |
|  | -1  | La empresa ha sobornado a funcionarios públicos para evitar sanciones de diversa índole                     |
| -1   | Se ha sobornado funcionarios públicos para obtener contratos  |   |
| -1   | Se ha sobornado funcionarios públicos para obtener contratos de interés social y con costos inflados  |   |

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Compromiso público en temas de sostenibilidad</b> | +1  | Se realizan compromisos públicos para satisfacer diferentes <i>stakeholders</i> (no se enfocan en solo uno) |
|  | +1  | Se invierte cada año más recursos en proyectos para mejorar los impactos sociales y medioambientales        |
|  | +1  | Se involucran en proyectos e iniciativas propuestas por la administración pública                           |
|  | +1  | Se establecen metas para la reducción o prevención de impactos sociales y/o medioambientales negativos      |
|  | +1  | Valoran que sus proveedores se comprometan con proyectos sostenibles y tratan de involucrarse               |
|  | Base  | La empresa no comunica su compromiso, aunque es por falta de conocimiento o no obligatoriedad               |
|  | -1  | No se cumplen las metas u objetivos propuestos  |
|  | -1  | La empresa no manifiesta compromisos públicos en temas de sostenibilidad, aunque sea obligatorio            |
|  | -1  | Cada vez invierten menos recursos en temas sociales o medioambientales                                      |
|  | -1  | Cuando se involucra en proyectos o iniciativas de la administración pública es solo con fines lucrativos    |
|  | -1  | La empresa ha reportado información falsa para el cumplimiento de alguna meta propuesta                     |
| <b>Relaciones con los proveedores</b>                | +1  | Los proveedores han mejorado su negocio exclusivamente gracias a la colaboración de la empresa              |
|  | +1  | Los proveedores han crecido o mejorado su negocio gracias a la asesoría o colaboración de la empresa        |
|  | +1  | Se motiva a los proveedores a obtener certificaciones y mejorar sus indicadores de sostenibilidad           |
|  | +1  | La mayoría de proveedores llevan más de tres años trabajando con la empresa                                 |
|  | +1  | Hay acuerdos especiales con el proveedor que benefician a ambas partes                                      |
|  | Base  | Se piden y pagan productos regular y puntualmente, aunque se cambia de proveedor frecuentemente             |
|  | -1  | Se paga de manera no puntal frecuentemente  |
|  | -1  | Han cancelado contratos o pedidos sin informar con suficiente antelación al proveedor                       |
|  | -1  | Se ha abusado de la legislación o buena fe de los proveedores para hacer falsos reclamos                    |
|  | -1  | La empresa utiliza su poder para fijar plazo de pago muy largos que afectan la sostenibilidad del proveedor |
| -1   | La empresa utiliza su poder para fijar precios muy bajos que afectan la sostenibilidad del proveedor      |   |
| <b>Competencia desleal</b>                           | +1  | Promueven en asociaciones empresariales y de consumidores la libre y sana competencia                       |
|  | +1  | Denuncian los casos de competencia desleal que han detectado  |
|  | +1  | Rechazan proveedores que han estado involucrados en competencia desleal                                     |
|  | +1  | Hay políticas y una concienciación de dar el precio justo a los clientes                                    |
|  | +1  | Hay políticas y una concienciación de competir limpiamente  |
|  | Base  | No han estado involucrados en competencia desleal, pero tampoco establecen medidas para prevenirla          |
|  | -1  | La empresa tiene una cuota de mercado mayor al 50% o ha intentado obtenerla                                 |
|  | -1  | Ha utilizado técnicas predatorias como precios muy bajos para sacar a los competidores del mercado          |
| -1   | Ha utilizado técnicas de desprestigio de sus competidores   |   |
| -1   | Ha estado involucrada participando de carteles para la fijación de precios afectando los clientes         |   |
| -1   | Ha utilizado su poder para que el estado establezca barreras legislativas para la entrada de competidores |   |

## Anexos casos ACV

### Anexo C.1. Datos para cada tramo del trayecto Pereira-Quibdó caso Colombia

| # tramo | Zona circulación | Altitud inicio (m) | Altitud fin (m) | Distancia (km) | Gradiente | Gradientes medios |               | Δ elevación (m) |         | Tiempo (min) |
|---------|------------------|--------------------|-----------------|----------------|-----------|-------------------|---------------|-----------------|---------|--------------|
|         |                  |                    |                 |                |           |                   |               | Incremento      | Pérdida |              |
| 1       | Urbana           | 1387               | 1440            | 4,7            | 1,1%      | <b>3,2%</b>       | <b>-3,5%</b>  | 107             | 54,5    | 20           |
| 2       | Urbana           | 1440               | 1409            | 1,7            | -1,8%     | <b>5,9%</b>       | <b>-4,8%</b>  | 27,7            | 54,8    | 7            |
| 3       | Interurbana      | 1409               | 1257            | 9              | -1,7%     | <b>6,3%</b>       | <b>-6,7%</b>  | 279             | 428     | 15           |
| 4       | Interurbana      | 1257               | 1196            | 8,9            | -0,7%     | <b>2,0%</b>       | <b>-2,8%</b>  | 83,5            | 143     | 10           |
| 5       | Interurbana      | 1196               | 898             | 10,7           | -2,8%     | <b>1,1%</b>       | <b>-4,0%</b>  | 31,3            | 331     | 16           |
| 6       | Urbana           | 898                | 900             | 6              | 0,0%      | <b>1,3%</b>       | <b>-1,2%</b>  | 40,2            | 37,6    | 12           |
| 7       | Interurbana      | 900                | 1544            | 30,7           | 2,1%      | <b>7,2%</b>       | <b>-7,4%</b>  | 1605            | 960     | 45           |
| 8       | Urbana           | 1544               | 1530            | 0,93           | -1,5%     | <b>9,6%</b>       | <b>-14,7%</b> | 49,9            | 80,8    | 3            |
| 9       | Interurbana      | 1530               | 1985            | 12             | 3,8%      | <b>13,3%</b>      | <b>-10,8%</b> | 1022            | 575     | 20           |
| 10      | Interurbana      | 1985               | 1467            | 11,6           | -4,5%     | <b>7,5%</b>       | <b>-11,3%</b> | 358             | 876     | 18           |
| 11      | Urbana           | 1467               | 1514            | 2,1            | 2,2%      | <b>9,0%</b>       | <b>-8,8%</b>  | 122             | 74,7    | 6            |
| 12      | Interurbana      | 1514               | 362             | 31             | -3,7%     | <b>8,5%</b>       | <b>-10,1%</b> | 1222            | 2370    | 65           |
| 13      | Urbana           | 362                | 352             | 1,4            | -0,7%     | <b>5,8%</b>       | <b>-4,8%</b>  | 46,8            | 56,2    | 3            |
| 14      | Interurbana      | 352                | 278             | 10,9           | -0,7%     | <b>6,5%</b>       | <b>-6,2%</b>  | 328             | 401     | 24           |
| 15      | Interurbana      | 278                | 264             | 3,5            | -0,4%     | <b>13,6%</b>      | <b>-14,0%</b> | 246             | 260     | 9            |
| 16      | Interurbana      | 264                | 125             | 26,3           | -0,5%     | <b>4,6%</b>       | <b>-4,6%</b>  | 637             | 773     | 40           |
| 17      | Urbana           | 125                | 119             | 1              | -0,6%     | <b>1,3%</b>       | <b>-1,6%</b>  | 5,68            | 10,8    | 3            |
| 18      | Interurbana      | 119                | 92              | 13             | -0,2%     | <b>3,3%</b>       | <b>-2,8%</b>  | 196             | 223     | 22           |
| 19      | Urbana           | 92                 | 98              | 0,5            | 1,2%      | <b>3,2%</b>       | <b>-2,0%</b>  | 12,5            | 5       | 2            |
| 20      | Interurbana      | 98                 | 92              | 4,74           | -0,1%     | <b>3,0%</b>       | <b>-3,2%</b>  | 75,5            | 82,3    | 8            |
| 21      | Urbana           | 92                 | 78              | 3              | -0,5%     | <b>2,0%</b>       | <b>-1,6%</b>  | 21,1            | 32,6    | 8            |
| 22      | Interurbana      | 78                 | 101             | 6,54           | 0,4%      | <b>3,0%</b>       | <b>-2,6%</b>  | 103             | 83,9    | 10           |
| 23      | Urbana           | 101                | 105             | 3,95           | 0,1%      | <b>2,3%</b>       | <b>-1,6%</b>  | 40,4            | 35,3    | 9            |
| 24      | Interurbana      | 105                | 65              | 7,15           | -0,6%     | <b>1,9%</b>       | <b>-2,3%</b>  | 58,4            | 98,2    | 9            |
| 25      | Urbana           | 65                 | 74              | 0,9            | 1,0%      | <b>8,2%</b>       | <b>-3,1%</b>  | 26,8            | 17,3    | 2            |
| 26      | Interurbana      | 74                 | 72              | 6,6            | 0,0%      | <b>2,7%</b>       | <b>-2,2%</b>  | 82,5            | 78,5    | 8            |
| 27      | Urbana           | 72                 | 65              | 1,87           | -0,4%     | <b>2,7%</b>       | <b>-2,7%</b>  | 18              | 33,2    | 3            |
| 28      | Interurbana      | 65                 | 57              | 12,4           | -0,1%     | <b>2,7%</b>       | <b>-2,6%</b>  | 164             | 176     | 16           |
| 29      | Urbana           | 57                 | 57              | 1,5            | 0,0%      | <b>4,1%</b>       | <b>-3,0%</b>  | 29,1            | 29      | 4            |
| 30      | Interurbana      | 57                 | 44              | 12,5           | -0,1%     | <b>1,8%</b>       | <b>-2,0%</b>  | 118             | 135     | 15           |
| 31      | Urbana           | 44                 | 55              | 0,8            | 1,4%      | <b>5,9%</b>       | <b>-6,1%</b>  | 32,2            | 19,9    | 2            |
| 32      | Interurbana      | 55                 | 55              | 6              | 0,0%      | <b>1,7%</b>       | <b>-1,8%</b>  | 54,4            | 50,8    | 8            |
| 33      | Urbana           | 55                 | 41              | 6,6            | -0,2%     | <b>2,4%</b>       | <b>-2,6%</b>  | 80,3            | 87,6    | 20           |

**Anexo C.2. Emisión partículas de la abrasión de neumáticos y frenos caso Colombia (kg)**

| Salidas  | Neumáticos     |                |                 | Frenos         |
|--|----------------|----------------|-----------------|----------------|
|  | <i>Al aire</i> | <i>Al agua</i> | <i>Al suelo</i> | <i>Al aire</i> |
| Plata (Ag)                                       | 1,51E-10       | 4,63E-10       | 4,63E-10        | 0,00E+00       |
| Aluminio (Al)                                    | 4,88E-07       | 1,50E-06       | 1,50E-06        | 3,71E-05       |
| Arsénico (As)                                    | 5,73E-09       | 1,76E-08       | 1,76E-08        | 1,22E-06       |
| Bario (Ba)                                       | 1,88E-07       | 5,78E-07       | 5,78E-07        | 6,97E-04       |
| Bromo (Br)                                       | 3,01E-08       | 9,26E-08       | 9,26E-08        | 7,24E-07       |
| Calcio (Ca)                                      | 1,34E-06       | 4,13E-06       | 4,13E-06        | 1,39E-05       |
| Cadmio (Cd)                                      | 7,08E-09       | 2,17E-08       | 2,17E-08        | 4,05E-07       |
| Cloro (Cl) (Chlorine)                            | 7,83E-07       | 2,41E-06       | 2,41E-06        | 2,71E-05       |
| Anión de cloro (Cl-) (Chloride)                  | 9,04E-07       | 2,78E-06       | 2,78E-06        | 2,71E-05       |
| Cobalto (Co)                                     | 1,93E-08       | 5,92E-08       | 5,92E-08        | 1,16E-07       |
| Cromo (Cr)                                       | 3,59E-08       | 1,10E-07       | 1,10E-07        | 4,18E-05       |
| Cobre (Cu)                                       | 2,62E-07       | 8,05E-07       | 8,05E-07        | 9,25E-04       |
| Hierro (Fe)                                      | 2,58E-06       | 7,92E-06       | 7,92E-06        | 3,79E-03       |
| Potasio (K)                                      | 4,22E-07       | 1,30E-06       | 1,30E-06        | 9,47E-06       |
| Litio (Li)                                       | 1,96E-09       | 6,02E-09       | 6,02E-09        | 1,01E-06       |
| Catión de magnesio (Mg <sup>2+</sup> )           | 2,50E-07       | 7,68E-07       | 7,68E-07        | 8,06E-04       |
| Manganeso (Mn)                                   | 7,68E-08       | 2,36E-07       | 2,36E-07        | 4,45E-05       |
| Molibdeno (Mo)                                   | 4,22E-09       | 1,30E-08       | 1,30E-08        | 1,81E-04       |
| Catión de sodio (Na <sup>+</sup> )               | 9,72E-07       | 2,98E-06       | 2,98E-06        | 1,40E-04       |
| Catión de amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) | 2,86E-07       | 8,79E-07       | 8,79E-07        | 5,43E-07       |
| Níquel (Ni)                                      | 4,50E-08       | 1,38E-07       | 1,38E-07        | 5,92E-06       |
| Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )          | 2,26E-06       | 6,94E-06       | 6,94E-06        | 2,89E-05       |
| Plomo (Pb)                                       | 2,65E-07       | 8,14E-07       | 8,14E-07        | 1,10E-04       |
| Rubidio (Rb)                                     | 0,00E+00       | 0,00E+00       | 0,00E+00        | 9,05E-07       |
| Azufre (S)                                       | 1,66E-06       | 5,09E-06       | 5,09E-06        | 2,32E-04       |
| Antimonio (Sb)                                   | 3,01E-09       | 9,26E-09       | 9,26E-09        | 1,81E-04       |
| Selenio (Se)                                     | 3,01E-08       | 9,26E-08       | 9,26E-08        | 3,62E-07       |
| Silicio (Si)                                     | 2,71E-06       | 8,33E-06       | 8,33E-06        | 1,23E-03       |
| Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> )         | 3,77E-06       | 1,16E-05       | 1,16E-05        | 6,04E-04       |
| Estaño (Sn)                                      | 0,00E+00       | 0,00E+00       | 0,00E+00        | 1,27E-04       |
| Estroncio (Sr)                                   | 2,17E-08       | 6,66E-08       | 6,66E-08        | 9,41E-06       |
| Titanio (Ti)                                     | 5,70E-07       | 1,75E-06       | 1,75E-06        | 6,51E-05       |
| Vanadio (V)                                      | 1,51E-09       | 4,63E-09       | 4,63E-09        | 1,19E-05       |
| Zinc (Zn)  | 1,12E-05       | 3,44E-05       | 3,44E-05        | 1,57E-04       |

**Anexo C.3. Inventario de ciclo de vida para fabricación camión rígido de 16 t caso Colombia**

| Entradas  | Cantidad       | Unidad |
|---|----------------|--------|
| Ácido acético, sin agua, solución al 98% {GLO}, en el mercado                   | 6,60E-02       | kg     |
| Pintura alquídica, blanca, sin solvente, solución al 60% {GLO}, en el mercado   | 4,00E+01       | kg     |
| Aleación de aluminio fundido {GLO}, en el mercado                               | 6,88E+01       | kg     |
| Aleación de aluminio forjado {GLO}, en el mercado                               | 1,46E+02       | kg     |
| Latón {CO}, en el mercado   | 2,00E+01       | kg     |
| Hierro fundido {GLO}, en el mercado   | 1,45E+03       | kg     |
| Cobre {GLO}, en el mercado  | 3,00E+01       | kg     |
| Diésel B10 {CO}, en el mercado  | 1,67E+02       | kg     |
| Diésel, utilizado en maquinaria {CO}, en el mercado                             | 2,01E+01       | MJ     |
| Electricidad, medio voltaje {CO}, en el mercado                                 | 4,74E+03       | kWh    |
| Componentes electrónicos, para unidades de control {GLO}, en el mercado         | 3,00E+01       | kg     |
| Vidrio plano, sin recubrimiento {GLO}, en el mercado                            | 4,50E+01       | kg     |
| Calor, industrial o calefacción, gas natural {GLO}, en el mercado               | 3,23E+04       | MJ     |
| Calor, industrial o calefacción, diferentes al gas natural {RoW}, en el mercado | 8,61E+02       | MJ     |
| Ácido clorhídrico, 30% en agua, en planta {RER}, en el mercado                  | 1,89E-01       | kg     |
| Plomo {GLO}, en el mercado  | 7,36E+01       | kg     |
| Cal, hidratada, envasada {GLO}, en el mercado                                   | 3,10E-01       | kg     |
| Aceite lubricante {GLO}, en el mercado  | 6,21E+01       | kg     |
| Ácido nítrico, sin agua, solución al 50% {GLO}, en el mercado                   | 9,85E-02       | kg     |
| Hierro en barras {GLO}, en el mercado   | 1,63E-03       | kg     |
| Resina {GLO}, en el mercado   | 1,00E+01       | kg     |
| Polietileno, alta densidad, granulado {GLO}, en el mercado                      | 2,30E+02       | kg     |
| Propilenglicol, líquido {GLO}, en el mercado                                    | 2,20E+01       | kg     |
| Acero reforzado {GLO}, en el mercado  | 2,26E+03       | kg     |
| Fábrica ensambladora de vehículos {GLO}   | 8,73E-07       | p      |
| Sección barra de acero laminado {GLO}, en el mercado                            | 1,63E+03       | kg     |
| Hojas de acero laminado {GLO}, en el mercado                                    | 4,18E+02       | kg     |
| Hidróxido de sodio, sin agua, solución al 50% {GLO}, en el mercado              | 3,81E-01       | kg     |
| Acero, acero al cromo 18/8, laminado en caliente {GLO}, en el mercado           | 5,00E+00       | kg     |
| Acero, de baja aleación, laminado en caliente {GLO}, en el mercado              | 1,14E+01       | kg     |
| Lana de roca, embalada {GLO}, en el mercado                                     | 1,00E+01       | kg     |
| Ácido sulfúrico {GLO}, en el mercado  | 2,79E+01       | kg     |
| Caucho sintético {GLO}, en el mercado   | 3,75E+02       | kg     |
| Agua de grifo {RoW}, en el mercado  | 1,64E+04       | kg     |
| Alambre de cobre {GLO}, en el mercado   | 3,00E+01       | kg     |
| Salidas   |                |        |
|   | <i>Al aire</i> |        |
| Amonio (NH <sub>3</sub> )   | 2,23E-02       | kg     |
| Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )  | 1,31E-02       | kg     |
| Cadmio (Cd)   | 1,73E-06       | kg     |
| CO <sub>2</sub>   | 6,33E+02       | kg     |
| CO  | 9,73E-01       | kg     |
| Cromo (Cr)  | 2,93E-04       | kg     |
| Cobre (Cu)  | 2,93E-04       | kg     |
| N <sub>2</sub> O  | 2,23E-02       | kg     |
| Calor   | 1,71E+04       | MJ     |
| Plomo (Pb)  | 1,90E-08       | kg     |
| Mercurio (Hg)   | 3,45E-09       | kg     |
| Metano (CH <sub>4</sub> )   | 1,65E-02       | kg     |
| Nickel  | 1,21E-05       | kg     |
| NOx   | 6,00E+00       | kg     |
| COVDM   | 7,87E+00       | kg     |
| MP <2,5   | 2,54E-01       | kg     |
| MP >10  | 1,09E-02       | kg     |
| MP (2,5 -10)  | 2,12E-02       | kg     |
| Selenio (Se)  | 1,73E-06       | kg     |
| SO <sub>2</sub>   | 1,20E-01       | kg     |
| Tolueno   | 5,51E-03       | kg     |
| Xileno (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )  | 5,51E-03       | kg     |
| Zinc  | 1,73E-04       | kg     |
|   | <i>Al agua</i> |        |
| BOD5, Demanda biológica de oxígeno  | 1,26E-01       | kg     |
| COD, Demanda química de oxígeno   | 1,26E-01       | kg     |
| DOC, Carbono orgánico disuelto  | 5,51E-02       | kg     |
| TOC, Carbono orgánico total   | 5,51E-02       | kg     |

**Anexo D.1. Datos para cada tramo del trayecto de ida Kuala Lumpur- Kulim caso Malasia**

| # tramo | Zona circulación | Altitud inicio (m) | Altitud fin (m) | Distancia (km) | Gradiente | Gradientes medios |              | Δ elevación (m) |         | Tiempo (min) |
|---------|------------------|--------------------|-----------------|----------------|-----------|-------------------|--------------|-----------------|---------|--------------|
|         |                  |                    |                 |                |           |                   |              | Incremento      | Pérdida |              |
| 1       | Urbana           | 39                 | 47              | 1              | 0,8%      | <b>2,0%</b>       | <b>-1,4%</b> | 14,3            | 6,78    | 3            |
| 2       | Urbana           | 47                 | 79              | 27,6           | 0,1%      | <b>2,3%</b>       | <b>-2,4%</b> | 384             | 352     | 50           |
| 3       | Interurbana      | 79                 | 165             | 2,1            | 4,1%      | <b>9,9%</b>       | <b>-5,3%</b> | 130             | 42,9    | 3            |
| 4       | Interurbana      | 165                | 48              | 6,5            | -1,8%     | <b>5,7%</b>       | <b>-5,5%</b> | 129             | 247     | 5            |
| 5       | Interurbana      | 48                 | 20              | 36,6           | -0,1%     | <b>2,7%</b>       | <b>-2,8%</b> | 581             | 606     | 23           |
| 6       | Interurbana      | 20                 | 93              | 16,9           | 0,4%      | <b>3,1%</b>       | <b>-3,0%</b> | 312             | 242     | 11           |
| 7       | Interurbana      | 93                 | 37              | 28,8           | -0,2%     | <b>1,9%</b>       | <b>-2,0%</b> | 292             | 348     | 17           |
| 8       | Interurbana      | 37                 | 74              | 8,1            | 0,5%      | <b>4,5%</b>       | <b>-4,0%</b> | 198             | 161     | 5            |
| 9       | Interurbana      | 74                 | 74              | 50,6           | 0,0%      | <b>2,1%</b>       | <b>-2,3%</b> | 695             | 696     | 31           |
| 10      | Interurbana      | 74                 | 153             | 5,8            | 1,4%      | <b>4,4%</b>       | <b>-3,7%</b> | 165             | 85,2    | 4            |
| 11      | Interurbana      | 153                | 52              | 5              | -2,0%     | <b>2,0%</b>       | <b>-3,2%</b> | 24,5            | 125     | 3            |
| 12      | Interurbana      | 52                 | 171             | 3,33           | 3,6%      | <b>6,2%</b>       | <b>-2,9%</b> | 152             | 32,6    | 3            |
| 13      | Interurbana      | 171                | 51              | 3,85           | -3,1%     | <b>1,3%</b>       | <b>-4,5%</b> | 17,5            | 137     | 3            |
| 14      | Interurbana      | 51                 | 67              | 4,2            | 0,4%      | <b>1,6%</b>       | <b>-1,4%</b> | 41,4            | 25,6    | 3            |
| 15      | Interurbana      | 67                 | 67              | 3,6            | 0,0%      | <b>3,8%</b>       | <b>-4,0%</b> | 71,4            | 71,8    | 3            |
| 16      | Interurbana      | 67                 | 64              | 24,1           | 0,0%      | <b>1,5%</b>       | <b>-1,5%</b> | 206             | 209     | 15           |
| 17      | Interurbana      | 64                 | 344             | 5,73           | 4,9%      | <b>6,4%</b>       | <b>-2,2%</b> | 317             | 36,7    | 5            |
| 18      | Interurbana      | 344                | 334             | 1              | -1,0%     | <b>0,0%</b>       | <b>-1,0%</b> | 0               | 10      | 1            |
| 19      | Interurbana      | 334                | 48              | 7,2            | -4,0%     | <b>4,2%</b>       | <b>-5,9%</b> | 70              | 356     | 5            |
| 20      | Interurbana      | 48                 | 88              | 21,5           | 0,2%      | <b>3,4%</b>       | <b>-3,3%</b> | 401             | 361     | 14           |
| 21      | Interurbana      | 88                 | 70              | 3              | -0,6%     | <b>6,7%</b>       | <b>-5,7%</b> | 87,5            | 106     | 3            |
| 22      | Interurbana      | 70                 | 9               | 27,7           | -0,2%     | <b>1,2%</b>       | <b>-1,3%</b> | 172             | 233     | 17           |
| 23      | Interurbana      | 9                  | 5               | 9,4            | 0,0%      | <b>1,8%</b>       | <b>-1,8%</b> | 84,3            | 88,2    | 6            |
| 24      | Interurbana      | 5                  | 9               | 18,7           | 0,0%      | <b>0,9%</b>       | <b>-1,0%</b> | 106             | 102     | 14           |
| 25      | Interurbana      | 9                  | 8               | 4,7            | 0,0%      | <b>4,5%</b>       | <b>-4,0%</b> | 103             | 104     | 3            |
| 26      | Interurbana      | 8                  | 3               | 8,6            | -0,1%     | <b>1,7%</b>       | <b>-1,6%</b> | 70,3            | 75,3    | 6            |
| 27      | Interurbana      | 3                  | 8               | 21             | 0,0%      | <b>0,9%</b>       | <b>-1,0%</b> | 121             | 116     | 17           |
| 28      | Urbana           | 8                  | 5               | 4              | -0,1%     | <b>1,4%</b>       | <b>-1,7%</b> | 31,2            | 33,7    | 4            |
| 29      | Urbana           | 5                  | 7               | 2,8            | 0,1%      | <b>1,2%</b>       | <b>-1,7%</b> | 20              | 18,3    | 6            |
| 30      | Interurbana      | 7                  | 32              | 16,6           | 0,2%      | <b>1,8%</b>       | <b>-1,5%</b> | 157             | 133     | 16           |
| 31      | Interurbana      | 32                 | 25              | 1,3            | -0,5%     | <b>1,5%</b>       | <b>-1,8%</b> | 11,3            | 17,3    | 2            |
| 32      | Interurbana      | 25                 | 27              | 0,85           | 0,2%      | <b>7,2%</b>       | <b>-4,4%</b> | 28,8            | 26,7    | 2            |
| 33      | Interurbana      | 27                 | 28              | 4,8            | 0,0%      | <b>1,6%</b>       | <b>-1,7%</b> | 41              | 40,8    | 6            |

**Anexo D.2. Emisión de partículas de la abrasión de neumáticos y frenos caso Malasia (kg)**

| Salidas  | Neumáticos     |                |                 | Frenos         |
|--|----------------|----------------|-----------------|----------------|
|  | <i>Al aire</i> | <i>Al agua</i> | <i>Al suelo</i> | <i>Al aire</i> |
| Plata (Ag)                                       | 2,17E-10       | 6,66E-10       | 6,66E-10        | 0,00E+00       |
| Aluminio (Al)                                    | 7,03E-07       | 2,16E-06       | 2,16E-06        | 4,27E-05       |
| Arsénico (As)                                    | 8,24E-09       | 2,53E-08       | 2,53E-08        | 1,40E-06       |
| Bario (Ba)                                       | 2,71E-07       | 8,33E-07       | 8,33E-07        | 8,02E-04       |
| Bromo (Br)                                       | 4,34E-08       | 1,33E-07       | 1,33E-07        | 8,32E-07       |
| Calcio (Ca)                                      | 1,93E-06       | 5,94E-06       | 5,94E-06        | 1,60E-05       |
| Cadmio (Cd)                                      | 1,02E-08       | 3,13E-08       | 3,13E-08        | 4,66E-07       |
| Cloro (Cl) (Chlorine)                            | 1,13E-06       | 3,46E-06       | 3,46E-06        | 3,12E-05       |
| Anión de cloro (Cl-) (Chloride)                  | 1,30E-06       | 4,00E-06       | 4,00E-06        | 3,12E-05       |
| Cobalto (Co)                                     | 2,78E-08       | 8,53E-08       | 8,53E-08        | 1,33E-07       |
| Cromo (Cr)                                       | 5,16E-08       | 1,59E-07       | 1,59E-07        | 4,81E-05       |
| Cobre (Cu)                                       | 3,77E-07       | 1,16E-06       | 1,16E-06        | 1,06E-03       |
| Hierro (Fe)                                      | 3,71E-06       | 1,14E-05       | 1,14E-05        | 4,36E-03       |
| Potasio (K)                                      | 6,07E-07       | 1,86E-06       | 1,86E-06        | 1,09E-05       |
| Litio (Li)                                       | 2,82E-09       | 8,66E-09       | 8,66E-09        | 1,16E-06       |
| Catión de magnesio (Mg <sup>2+</sup> )           | 3,60E-07       | 1,11E-06       | 1,11E-06        | 9,28E-04       |
| Manganeso (Mn)                                   | 1,11E-07       | 3,40E-07       | 3,40E-07        | 5,12E-05       |
| Molibdeno (Mo)                                   | 6,07E-09       | 1,86E-08       | 1,86E-08        | 2,08E-04       |
| Catión de sodio (Na <sup>+</sup> )               | 1,40E-06       | 4,30E-06       | 4,30E-06        | 1,61E-04       |
| Catión de amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) | 4,12E-07       | 1,27E-06       | 1,27E-06        | 6,24E-07       |
| Níquel (Ni)                                      | 6,48E-08       | 1,99E-07       | 1,99E-07        | 6,81E-06       |
| Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )          | 3,25E-06       | 9,99E-06       | 9,99E-06        | 3,33E-05       |
| Plomo (Pb)                                       | 3,82E-07       | 1,17E-06       | 1,17E-06        | 1,26E-04       |
| Rubidio (Rb)                                     | 0,00E+00       | 0,00E+00       | 0,00E+00        | 1,04E-06       |
| Azufre (S)                                       | 2,39E-06       | 7,33E-06       | 7,33E-06        | 2,66E-04       |
| Antimonio (Sb)                                   | 4,34E-09       | 1,33E-08       | 1,33E-08        | 2,08E-04       |
| Selenio (Se)                                     | 4,34E-08       | 1,33E-07       | 1,33E-07        | 4,16E-07       |
| Silicio (Si)                                     | 3,90E-06       | 1,20E-05       | 1,20E-05        | 1,41E-03       |
| Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> )         | 5,42E-06       | 1,67E-05       | 1,67E-05        | 6,95E-04       |
| Estaño (Sn)                                      | 0,00E+00       | 0,00E+00       | 0,00E+00        | 1,46E-04       |
| Estroncio (Sr)                                   | 3,12E-08       | 9,59E-08       | 9,59E-08        | 1,08E-05       |
| Titanio (Ti)                                     | 8,20E-07       | 2,52E-06       | 2,52E-06        | 7,49E-05       |
| Vanadio (V)                                      | 2,17E-09       | 6,66E-09       | 6,66E-09        | 1,37E-05       |
| Zinc (Zn)  | 1,61E-05       | 4,95E-05       | 4,95E-05        | 1,81E-04       |

**Anexo D.3. Inventario de ciclo de vida para fabricación camión rígido de 16 t caso Malasia**

| Entradas  | Cantidad       | Unidad |
|---|----------------|--------|
| Ácido acético, sin agua, solución al 98% {GLO}, en el mercado                   | 6,60E-02       | kg     |
| Pintura alquídica, blanca, sin solvente, solución al 60% {GLO}, en el mercado   | 4,00E+01       | kg     |
| Aleación de aluminio fundido {GLO}, en el mercado                               | 6,88E+01       | kg     |
| Aleación de aluminio forjado {GLO}, en el mercado                               | 1,46E+02       | kg     |
| Latón {GLO}, en el mercado  | 2,00E+01       | kg     |
| Hierro fundido {GLO}, en el mercado   | 1,45E+03       | kg     |
| Cobre {GLO}, en el mercado  | 3,00E+01       | kg     |
| Diésel B10 {CO}, en el mercado  | 1,67E+02       | kg     |
| Diésel, utilizado en maquinaria {MY}, en el mercado                             | 2,01E+01       | MJ     |
| Electricidad, medio voltaje {MY}, en el mercado                                 | 4,74E+03       | kWh    |
| Componentes electrónicos, para unidades de control {GLO}, en el mercado         | 3,00E+01       | kg     |
| Vidrio plano, sin recubrimiento {GLO}, en el mercado                            | 4,50E+01       | kg     |
| Calor, industrial o calefacción, gas natural {GLO}, en el mercado               | 3,23E+04       | MJ     |
| Calor, industrial o calefacción, diferentes al gas natural {RoW}, en el mercado | 8,61E+02       | MJ     |
| Ácido clorhídrico, 30% en agua, en planta {RER}, en el mercado                  | 1,89E-01       | kg     |
| Plomo {GLO}, en el mercado  | 7,36E+01       | kg     |
| Cal, hidratada, envasada {GLO}, en el mercado                                   | 3,10E-01       | kg     |
| Aceite lubricante {GLO}, en el mercado  | 6,21E+01       | kg     |
| Ácido nítrico, sin agua, solución al 50% {GLO}, en el mercado                   | 9,85E-02       | kg     |
| Hierro en barras {GLO}, en el mercado   | 1,63E+03       | kg     |
| Resina {GLO}, en el mercado   | 1,00E+01       | kg     |
| Polietileno, alta densidad, granulado {GLO}, en el mercado                      | 2,30E+02       | kg     |
| Propilenglicol, líquido {GLO}, en el mercado                                    | 2,20E+01       | kg     |
| Acero reforzado {GLO}, en el mercado  | 2,26E+03       | kg     |
| Fábrica ensambladora de vehículos {GLO}   | 8,73E-07       | p      |
| Sección barra de acero laminado {GLO}, en el mercado                            | 1,63E+03       | kg     |
| Hojas de acero laminado {GLO}, en el mercado                                    | 4,18E+02       | kg     |
| Hidróxido de sodio, sin agua, solución al 50% {GLO}, en el mercado              | 3,81E-01       | kg     |
| Acero, acero al cromo 18/8, laminado en caliente {GLO}, en el mercado           | 5,00E+00       | kg     |
| Acero, de baja aleación, laminado en caliente {GLO}, en el mercado              | 1,14E+01       | kg     |
| Lana de roca, embalada {GLO}, en el mercado                                     | 1,00E+01       | kg     |
| Ácido sulfúrico {GLO}, en el mercado  | 2,79E+01       | kg     |
| Caucho sintético {GLO}, en el mercado   | 3,75E+02       | kg     |
| Agua de grifo {RoW}, en el mercado  | 1,64E+04       | kg     |
| Alambre de cobre {GLO}, en el mercado   | 3,00E+01       | kg     |
| Transporte de mercancías, camión 32 toneladas, Euro 3 {GLO}, en el mercado      | 8,28E+02       | tkm    |
| Transporte de mercancías, barco transoceánico {GLO}, en el mercado              | 4,41E+04       | tkm    |
| <b>Salidas</b>  | <i>Al aire</i> |        |
| Amoníaco (NH <sub>3</sub> )   | 2,23E-02       | kg     |
| Benzeno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )  | 1,31E-02       | kg     |
| Cadmio (Cd)   | 1,73E-06       | kg     |
| CO <sub>2</sub>   | 6,33E+02       | kg     |
| CO  | 9,73E-01       | kg     |
| Cromo (Cr)  | 2,93E-04       | kg     |
| Cobre (Cu)  | 2,93E-04       | kg     |
| N <sub>2</sub> O  | 2,23E-02       | kg     |
| Calor   | 1,71E+04       | MJ     |
| Plomo (Pb)  | 1,90E-08       | kg     |
| Mercurio (Hg)   | 3,45E-09       | kg     |
| Metano (CH <sub>4</sub> )   | 1,65E-02       | kg     |
| Nickel  | 1,21E-05       | kg     |
| NO <sub>x</sub>   | 6,00E+00       | kg     |
| COVDM   | 7,87E+00       | kg     |
| MP <2,5   | 2,54E-01       | kg     |
| MP >10  | 1,09E-02       | kg     |
| MP (2,5 -10)  | 2,12E-02       | kg     |
| Selenio (Se)  | 1,73E-06       | kg     |
| SO <sub>2</sub>   | 1,20E-01       | kg     |
| Tolueno   | 5,51E-03       | kg     |
| Xileno (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> )  | 5,51E-03       | kg     |
| Zinc  | 1,73E-04       | kg     |
|   | <i>Al agua</i> |        |
| BOD5, Demanda biológica de oxígeno  | 1,26E-01       | kg     |
| COD, Demanda química de oxígeno   | 1,26E-01       | kg     |
| DOC, Carbono orgánico disuelto  | 5,51E-02       | kg     |
| TOC, Carbono orgánico total   | 5,51E-02       | kg     |

**Anexo E.1. Datos para cada tramo del trayecto de ida Zaragoza - Almusafes caso España**

| # tramo | Zona circulación | Altitud inicio (m) | Altitud fin (m) | Distancia (km) | Gradiente | Gradientes medios |       | Δ elevación (m) |         | Tiempo (min) |
|---------|------------------|--------------------|-----------------|----------------|-----------|-------------------|-------|-----------------|---------|--------------|
|         |                  |                    |                 |                |           |                   |       | Incremento      | Pérdida |              |
| 1       | Semiurbana       | 213                | 191             | 9              | -0,2%     | 1,4%              | -1,9% | 82,3            | 105     | 8            |
| 2       | Interurbana      | 191                | 286             | 9,6            | 1,0%      | 2,9%              | -2,0% | 188             | 93      | 6            |
| 3       | Interurbana      | 286                | 320             | 6,2            | 0,5%      | 1,4%              | -0,9% | 60              | 25,3    | 4            |
| 4       | Interurbana      | 320                | 362             | 4,7            | 0,9%      | 3,8%              | -3,3% | 109             | 68      | 4,5          |
| 5       | Interurbana      | 362                | 548             | 17,2           | 1,1%      | 1,7%              | -1,3% | 271             | 85,2    | 10           |
| 6       | Interurbana      | 548                | 711             | 17             | 1,0%      | 2,0%              | -1,5% | 245             | 79,6    | 10           |
| 7       | Interurbana      | 711                | 934             | 4              | 5,6%      | 7,5%              | -4,1% | 251             | 29,1    | 3            |
| 8       | Interurbana      | 934                | 866             | 6              | -1,1%     | 4,5%              | -4,8% | 109             | 178     | 4            |
| 9       | Interurbana      | 866                | 869             | 3,7            | 0,1%      | 2,4%              | -3,5% | 56,5            | 53,3    | 2            |
| 10      | Interurbana      | 869                | 1054            | 18,2           | 1,0%      | 2,0%              | -1,3% | 264             | 79      | 11           |
| 11      | Interurbana      | 1054               | 887             | 9,4            | -1,8%     | 2,6%              | -3,8% | 81,6            | 249     | 5            |
| 12      | Interurbana      | 887                | 918             | 2,4            | 1,3%      | 2,4%              | -1,9% | 44,8            | 13,8    | 1,5          |
| 13      | Interurbana      | 918                | 923             | 1,8            | 0,3%      | 5,5%              | -3,2% | 39,5            | 34,3    | 1,2          |
| 14      | Interurbana      | 923                | 897             | 2,9            | -0,9%     | 0,4%              | -1,4% | 2,97            | 30      | 1,5          |
| 15      | Interurbana      | 897                | 985             | 18,7           | 0,5%      | 1,2%              | -0,9% | 156             | 68,6    | 10           |
| 16      | Interurbana      | 985                | 978             | 8              | -0,1%     | 0,8%              | -1,0% | 34,6            | 41,1    | 4,2          |
| 17      | Interurbana      | 978                | 987             | 4              | 0,2%      | 3,0%              | -2,0% | 53,8            | 45,1    | 2,2          |
| 18      | Interurbana      | 987                | 974             | 31,4           | 0,0%      | 0,8%              | -0,8% | 152             | 167     | 16           |
| 19      | Interurbana      | 974                | 990             | 7,4            | 0,2%      | 3,2%              | -3,7% | 139             | 123     | 4            |
| 20      | Interurbana      | 990                | 1005            | 1              | 1,5%      | 4,0%              | -4,0% | 62              | 56,4    | 0,7          |
| 21      | Interurbana      | 1005               | 1176            | 9              | 1,9%      | 1,5%              | -1,8% | 54              | 7,68    | 5            |
| 22      | Interurbana      | 1176               | 1000            | 49,2           | -0,4%     | 2,0%              | -2,1% | 491             | 668     | 26           |
| 23      | Interurbana      | 1000               | 22              | 54,2           | -1,8%     | 2,4%              | -2,9% | 354             | 1332    | 28           |
| 24      | Interurbana      | 22                 | 24              | 4,5            | 0,0%      | 1,8%              | -1,6% | 46              | 42,9    | 3            |
| 25      | Interurbana      | 24                 | 52              | 1,4            | 2,0%      | 2,7%              | -1,4% | 33,2            | 5,85    | 1            |
| 26      | Interurbana      | 52                 | 73              | 12,8           | 0,2%      | 1,1%              | -0,9% | 124             | 102     | 7            |
| 27      | Interurbana      | 73                 | 95              | 10             | 0,2%      | 2,2%              | -1,9% | 137             | 116     | 6            |
| 28      | Interurbana      | 95                 | 101             | 13,7           | 0,0%      | 1,4%              | -1,3% | 133             | 127     | 8            |
| 29      | Interurbana      | 101                | 27              | 10,2           | -0,7%     | 1,4%              | -1,8% | 67              | 141     | 6            |

**Anexo E.2. Emisión de partículas de la abrasión de neumáticos y frenos caso España (kg)**

| Salidas  | Neumáticos     |                |                 | Frenos         |
|--|----------------|----------------|-----------------|----------------|
|  | <i>Al aire</i> | <i>Al agua</i> | <i>Al suelo</i> | <i>Al aire</i> |
| Plata (Ag)                                       | 5,20E-10       | 1,60E-09       | 1,60E-09        | 0,00E+00       |
| Aluminio (Al)                                    | 1,69E-06       | 5,18E-06       | 5,18E-06        | 2,84E-05       |
| Arsénico (As)                                    | 1,98E-08       | 6,07E-08       | 6,07E-08        | 9,34E-07       |
| Bario (Ba)                                       | 6,51E-07       | 2,00E-06       | 2,00E-06        | 5,33E-04       |
| Bromo (Br)                                       | 1,04E-07       | 3,20E-07       | 3,20E-07        | 5,53E-07       |
| Calcio (Ca)                                      | 4,64E-06       | 1,43E-05       | 1,43E-05        | 1,06E-05       |
| Cadmio (Cd)                                      | 2,45E-08       | 7,51E-08       | 7,51E-08        | 3,10E-07       |
| Cloro (Cl) (Chlorine)                            | 2,71E-06       | 8,31E-06       | 8,31E-06        | 2,07E-05       |
| Anión de cloro (Cl-) (Chloride)                  | 3,12E-06       | 9,59E-06       | 9,59E-06        | 2,07E-05       |
| Cobalto (Co)                                     | 6,66E-08       | 2,05E-07       | 2,05E-07        | 8,85E-08       |
| Cromo (Cr)                                       | 1,24E-07       | 3,80E-07       | 3,80E-07        | 3,20E-05       |
| Cobre (Cu)                                       | 9,06E-07       | 2,78E-06       | 2,78E-06        | 7,07E-04       |
| Hierro (Fe)                                      | 8,91E-06       | 2,74E-05       | 2,74E-05        | 2,90E-03       |
| Potasio (K)                                      | 1,46E-06       | 4,48E-06       | 4,48E-06        | 7,24E-06       |
| Litio (Li)                                       | 6,77E-09       | 2,08E-08       | 2,08E-08        | 7,69E-07       |
| Catión de magnesio (Mg <sup>2+</sup> )           | 8,64E-07       | 2,65E-06       | 2,65E-06        | 6,16E-04       |
| Manganeso (Mn)                                   | 2,65E-07       | 8,15E-07       | 8,15E-07        | 3,40E-05       |
| Molibdeno (Mo)                                   | 1,46E-08       | 4,48E-08       | 4,48E-08        | 1,38E-04       |
| Catión de sodio (Na <sup>+</sup> )               | 3,36E-06       | 1,03E-05       | 1,03E-05        | 1,07E-04       |
| Catión de amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) | 9,89E-07       | 3,04E-06       | 3,04E-06        | 4,15E-07       |
| Níquel (Ni)                                      | 1,56E-07       | 4,78E-07       | 4,78E-07        | 4,52E-06       |
| Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )          | 7,81E-06       | 2,40E-05       | 2,40E-05        | 2,21E-05       |
| Plomo (Pb)                                       | 9,16E-07       | 2,81E-06       | 2,81E-06        | 8,40E-05       |
| Rubidio (Rb)                                     | 0,00E+00       | 0,00E+00       | 0,00E+00        | 6,92E-07       |
| Azufre (S)                                       | 5,72E-06       | 1,76E-05       | 1,76E-05        | 1,77E-04       |
| Antimonio (Sb)                                   | 1,04E-08       | 3,20E-08       | 3,20E-08        | 1,38E-04       |
| Selenio (Se)                                     | 1,04E-07       | 3,20E-07       | 3,20E-07        | 2,77E-07       |
| Silicio (Si)                                     | 9,37E-06       | 2,88E-05       | 2,88E-05        | 9,39E-04       |
| Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> )         | 1,30E-05       | 4,00E-05       | 4,00E-05        | 4,62E-04       |
| Estaño (Sn)                                      | 0,00E+00       | 0,00E+00       | 0,00E+00        | 9,68E-05       |
| Estroncio (Sr)                                   | 7,49E-08       | 2,30E-07       | 2,30E-07        | 7,19E-06       |
| Titanio (Ti)                                     | 1,97E-06       | 6,04E-06       | 6,04E-06        | 4,98E-05       |
| Vanadio (V)                                      | 5,20E-09       | 1,60E-08       | 1,60E-08        | 9,13E-06       |
| Zinc (Zn)  | 3,87E-05       | 1,19E-04       | 1,19E-04        | 1,20E-04       |

### **Anexo E.3. Inventarios del ciclo de vida para el FAME y el diésel ULSD en España**

#### **Inventario ciclo de vida para un kg de Éster metílico de aceite vegetal (esterificación diferentes aceites vegetales) en España**

| <b>Entradas</b>   | <b>Cantidad</b> | <b>Unidad</b> |
|---|-----------------|---------------|
| Éster metílico de aceite vegetal {ES} esterificación del aceite de palma, en planta                   | 7,24E-01        | kg            |
| Éster metílico de aceite vegetal {ES} esterificación del aceite de soja, en planta                    | 1,19E-01        | kg            |
| Éster metílico de aceite vegetal {NL} esterificación del aceite de palma, en planta                   | 2,00E-02        | kg            |
| Éster metílico de aceite vegetal {IT} esterificación del aceite de palma, en planta                   | 5,00E-02        | kg            |
| Éster metílico de aceite vegetal {MY} esterificación del aceite de palma, en planta                   | 2,00E-02        | kg            |
| Éster metílico de aceite vegetal {DE} esterificación del aceite de colza, en planta                   | 2,50E-02        | kg            |
| Éster metílico de aceite vegetal {FR} esterificación del aceite de colza, en planta                   | 1,70E-02        | kg            |
| Éster metílico de aceite vegetal {BG} esterificación del aceite de colza, en planta                   | 2,00E-02        | kg            |
| Éster metílico de aceite vegetal {RER} esterificación diferentes aceites vegetales, en planta         | 4,60E-03        | kg            |
| Transporte de mercancía, camión no especificado {ES} todos los tamaños, genérico a Euro , en mercado  | 1,27E-01        | tkm           |
| Transporte de mercancía, camión no especificado {RER} todos los tamaños, genérico a Euro , en mercado | 6,83E-02        | tkm           |
| Transporte de mercancía, mar, barco cisterna transoceánico {GLO}, en mercado                          | 2,76E-01        | tkm           |

#### **Inventario ciclo de vida para la producción de un kg de Diésel ultra bajo en azufre en España**

| <b>Entradas</b>   | <b>Cantidad</b> | <b>Unidad</b> |
|---|-----------------|---------------|
| Diésel, bajo en azufre {ES}, en planta  | 1,00E+00        | kg            |
| Electricidad, medio voltaje {ES}, en mercado  | 1,28E-02        | kWh           |
| Calor, industrial o climatización, diferentes al gas natural {Europa sin Suiza}, en mercado | 1,60E+00        | MJ            |
| Fuelóleo pesado, quemado en horno de refinería {ES}, en mercado                             | 3,72E-01        | MJ            |

#### **Inventario ciclo de vida para un kg de petróleo crudo en el mercado en España**

| <b>Entradas</b>  | <b>Cantidad</b> | <b>Unidad</b> |
|--|-----------------|---------------|
| Petróleo {NG} producción de petróleo y gas <i>on-shore</i>   | 1,49E-01        | kg            |
| Petróleo {MX} producción de petróleo y gas <i>on-shore</i>   | 1,40E-01        | kg            |
| Petróleo {RME} producción <i>on-shore</i>  | 1,29E-01        | kg            |
| Petróleo {RU} producción <i>on-shore</i>   | 1,12E-01        | kg            |
| Petróleo {RoW} producción de petróleo y gas <i>on-shore</i>  | 3,10E-01        | kg            |
| Petróleo {RoW} producción de petróleo y gas <i>off-shore</i>   | 1,60E-01        | kg            |
| Transporte de mercancía, tren {GLO}, en mercado  | 7,00E-04        | tkm           |
| Transporte de mercancía, fluvial, barco cisterna {GLO}, en mercado                                   | 5,84E-02        | tkm           |
| Transporte de mercancía, camión sin especificar {GLO}, en mercado                                    | 1,50E-03        | tkm           |
| Transporte de mercancía, marítimo, buque cisterna transoceánico {GLO} , mercado (desde Nigeria)      | 1,05E+00        | tkm           |
| Transporte de mercancía, marítimo, buque cisterna transoceánico {GLO} , mercado (desde México)       | 1,49E+00        | tkm           |
| Transporte de mercancía, marítimo, buque cisterna transoceánico {GLO} , mercado (desde Arabia Saudí) | 6,45E-01        | tkm           |
| Transporte de mercancía, marítimo, buque cisterna transoceánico {GLO} , mercado (desde Rusia)        | 4,77E-01        | tkm           |
| Transporte de mercancía, marítimo, buque cisterna transoceánico {GLO} , mercado (Resto del mundo)    | 1,79E+00        | tkm           |

## Anexos casos ASCV

### Anexos F: Inventario de indicadores de análisis genérico y específico para los sectores y empresas identificadas en el ASCV caso a estudio en Colombia

#### Anexo F.1. Inventario de análisis genérico (Nivel 1+) subsector construcción de carreteras en Colombia

| <b>PROCESO: CONSTRUCCIÓN INFRAESTRUCTURA</b><br><b>SUBSECTOR/SECTOR: CONSTRUCCIÓN/INFRAESTRUCTURA</b> |   | <b>ACTIVIDAD: CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS</b><br><b>UBICACIÓN: COLOMBIA</b> |  |
|---|---|--|--|
| Subcategoría de impacto   | Información encontrada para su indicador  |  |  |
| Trabajo infantil<br>2   | El trabajo infantil (niños entre 5-17 años) a diciembre de 2016 en Colombia fue del 7,8% [555,785].<br>+ El sector no está en listados de productos con riesgo de trabajo infantil [556]  |  |  |
| Explotación (trabajo forzado) 3   | Colombia tiene un índice de vulnerabilidad de 42,13/100 de acuerdo con The Global Slavery Index 2016 [557].<br>+ El sector no está en listados de productos con riesgo de trabajo forzado [556]   |  |  |
| Igualdad de oportunidades/<br>discriminación<br>3-1=2   | Colombia tiene un índice de Participación y oportunidades económicas de 0,740/ 1,00, ubicado en la posición 32/144 del ranking para este subíndice del Global Gender Gap Report 2017 [558].<br>+ En el 2016, en el sector de la construcción en Colombia, el 4,5% de los trabajadores eran mujeres. Mientras que la proporción de mujeres trabajadoras en el país era del 42% [560].  |  |  |
| Libertad de asociación<br>de trabajadores<br>2+0= 2   | La valoración de Colombia en The 2017 ITUC Global Rights Index es de 5 (derechos no garantizados) [559]<br>+ Por el carácter temporal de las obras civiles y el tipo de contratación de trabajadores por obra o labor, la mayoría subcontratados o tercerizados [786], se dificulta o limita el ejercicio sindical de los trabajadores.<br>(La valoración de ITUC de 5 para Colombia es debido al riesgo de muerte o la frecuente exposición a regímenes autocráticos y prácticas laborales injustas que tienen los sindicalistas en el país. Sin embargo, en el subsector de la construcción de carreteras, por su carácter temporal y tipo de contratación, si bien están limitadas las oportunidades de realizar un ejercicio sindical, comúnmente los proyectos al ser públicos, están vigilados por una interventoría y por organizaciones sociales. Por esta razón, se considera que la valoración de 5 debe ser mejorada en un grado de 4) |  |  |
| Salario justo<br>3  | El salario promedio en el país fue de 1 114 908 pesos y en el sector de la construcción fue de 949 546 pesos en el 2016 [560].  |  |  |
| Horario laboral justo<br>3  | El promedio de horas reales trabajadas en el sector de la construcción fue de 48 horas en el 2016 [560]   |  |  |
| Salud y seguridad en el<br>trabajo 1  | El número de accidentes por cada 100 000 trabajadores en el sector de la construcción fue de 11 279 en 2015, mientras que esta cifra a nivel nacional fue de 7 495 [560]  |  |  |
| Beneficios<br>sociales/seguridad social<br>3-1=2  | El porcentaje de la población en Colombia cubierta por al menos un beneficio social fue del 40,8% en el 2015 [561].<br>+ En el sector de la construcción, aproximadamente el 63% de los trabajadores eran informales en el 2017, mientras que esta cifra a nivel nacional era aproximadamente del 48% [667]   |  |  |
| Transparencia en temas<br>sociales y<br>medioambientales 3  | Según el informe de KPMG del 2017, el 83% de las 100 empresas más grandes de Colombia reportan los aspectos claves de la responsabilidad social corporativa [562].  |  |  |
| Confidencialidad con la<br>información de los<br>clientes 4   | Para el año 2016, Colombia contaba con legislación vigente para la protección de los datos y privacidad de los consumidores en las 4 áreas consideradas: comercio electrónico, delitos cibernéticos, protección del consumidor y privacidad y protección de datos [563]   |  |  |
| Mecanismos de<br>retroalimentación con<br>los clientes 4  | Colombia presenta en el reporte de competitividad global del WEF, un grado de orientación al cliente de 5,1 en una escala de 1 a 7, en donde 1 es muy bajo y 7 muy alto [564] .   |  |  |
| Deslocalización y<br>migración<br>2   | Se ha encontrado que algunos proyectos de construcción de carreteras en Colombia han compensado a las comunidades por la compra de sus terrenos, aunque sin obtener satisfacción plena de los afectados [787] y aumentado el riesgo de empobrecimiento de las familias deslocalizadas [788]. También la construcción de carreteras ha promovido involuntariamente la llegada de nuevos actores en la industria minera y de cultivo de palma de aceite a las comunidades, generando contaminación del agua, conflictos violentos, apropiación de tierras y por lo tanto desplazamiento forzado/involuntario [789].   |  |  |
| Respeto a las tradiciones<br>locales/patrimonio<br>cultural 4   | El índice social de hostilidades (ISH) es considerado "bajo" en Colombia [566]  |  |  |

|   |  |
|---|--|
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas 2 | La construcción de carreteras cerca de los territorios indígenas no ha afectado directamente sus derechos, pero sin han generado, por omisión en su planificación, problemas sociales y medioambientales colaterales. El descubrimiento de recursos por parte de personas ajenas a las comunidades indígenas, quienes llegan gracias al acceso dado por las nuevas carreteras, han generado impactos como desplazamiento forzado, contaminación de recursos y pérdida de biodiversidad [789,790]                                       |
| Participación de la comunidad 3                       | Índice de Gobierno Abierto (IGA) de Colombia en el 2015 fue de 0,56/1,00 [569].  |
| Condiciones de vida saludables y seguras 4-1*=3       | En Colombia el número de DALYs fue de 422 por cada 100 000 habitantes en 2012 [570].<br>+ <i>La construcción de las carreteras puede generar contaminación atmosférica, especialmente de material particulado, desestabilización de terrenos y principalmente la generación de ruido que afecta la salud de las comunidades de manera frecuente</i> [791,792].   |
| Acceso a los recursos materiales 4+0=4                | Colombia obtuvo un Índice de Vitalidad del Ecosistema (IVE) de 61,33/100,00 en el 2017 [571].<br>+ <i>En algunas regiones la construcción de carreteras ha causado problemas sociales y medioambientales indirectamente, como en el caso de la región pacífica en donde las carreteras promovieron el acceso a la explotación a gran escala o ilegal de la minería y de cultivos de palma de aceite, los cuales desplazaron los cultivos tradicionales, hubo apropiación de tierras, contaminación del agua y deforestación</i> [789]. |
| Acceso a los recursos inmateriales 3                  | Colombia obtuvo un índice de 57/100 en el reporte de libertad de prensa en el 2016 [572].  |
| Creación de empleo local 4+0=4                        | Colombia presenta en el reporte de competitividad global del WEF, una valoración del indicador de Cantidad de Proveedores locales de 4,9 una escala de 1 a 7, en donde 1 es muy bajo y 7 muy alto [564].<br>+ <i>No encontrado</i>   |
| Contribución a la economía nacional 4                 | El valor agregado del sector de la construcción en 2016 fue de 80 925 000 millones de pesos, empleando un total de 1 391 146 trabajadores, por lo que la productividad por trabajador fue de 58,2 millones de pesos. El valor agregado nacional fue de 789 622 000 millones de pesos con un total de 22 171 365 trabajadores, por lo que la productividad promedio nacional fue de 35,6 millones de pesos por trabajador en 2016. Valores a precios corrientes base 2005 [653]   |
| Prevención y mitigación de conflictos armados 2       | La carretera evaluada ha sido construida en una zona con nivel de intensidad de "guerra limitada", sin embargo, por el carácter temporal de los proyectos y por tratarse de un análisis sectorial, se toma el nivel de intensidad otorgado para la mayor parte del territorio de "crisis violenta" [573].  |
| Desarrollo tecnológico 3                              | El <i>Innovation Output Sub-index</i> fue de 23,8/100,0 para Colombia en el 2017, ubicándose en el puesto 75 entre 127 países [574].   |
| Corrupción 2+0=2                                      | El índice de percepción de corrupción en Colombia fue de 37/100 en el 2016 [575].<br>+ <i>El sector de la infraestructura es el tercer sector más corrupto tanto en Colombia [793] como en América [784]</i>   |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad 3       | Las empresas más grandes del sector de infraestructuras en Colombia en 2016 fueron Odinsa, Conconcreto, CSS Constructores, Conalvias y Mincivil [794]. De estas empresas, 2 presentan compromisos o metas en temas medioambientales o sociales [795,796]   |
| Relaciones con los proveedores 3                      | N/A  |
| Competencia desleal 3+0=3                             | Colombia presenta en el reporte de competitividad global del WEF, una valoración del indicador de Efectividad de las políticas antimonopolistas de 3,7 una escala de 1 a 7 [564].<br>+ <i>Hay investigaciones por colusión en licitaciones para construcción de carreteras sin fallo definitivo</i>  |

## Anexo F.2. Inventario de análisis genérico para el subsector de fabricación de autopartes en Colombia

| PROCESO: FABRICACIÓN DE VEHÍCULOS<br>SECTOR: AUTOPARTES/MANUFACTURA |  | ACTIVIDAD: FABRICACIÓN COMPONENTES PARA VEHÍCULOS<br>UBICACIÓN: COLOMBIA |  |
|---|--|--|--|
| Subcategoría de impacto   | Información encontrada para su indicador   |  |  |
| Trabajo infantil 2  | El trabajo infantil (niños entre 5-17 años) a diciembre de 2016 en Colombia fue del 7,8% [555,785].<br>+ <i>No está en listados de productos con riesgo de trabajo infantil</i> [556]        |  |  |
| Explotación (trabajo forzado) 3                                     | Colombia tiene un índice de vulnerabilidad de 42,13/100 de acuerdo con The Global Slavery Index 2016 [557].<br>+ <i>No está en listados de productos con riesgo de trabajo forzado</i> [556] |  |  |
| Igualdad de oportunidades/discriminación 3                          | Colombia tiene un índice de Participación y oportunidades económicas de 0,740/ 1,00, ubicado en la posición 32/144 del ranking para este subíndice del Global Gender Gap Report 2017 [558].  |  |  |
| Libertad de asociación de trabajadores 1                            | La valoración de Colombia en el The 2017 ITUC Global Rights Index es de 5 (derechos no garantizados) [559]   |  |  |

|  |  |
|--|--|
| Salario justo<br>4   | Para el año 2015, el salario promedio mensual las empresas de fabricación de autopartes fue de 1 255 562 pesos [797]. ((Sueldos y salarios)/(personal permanente + temporal))/12<br>El salario promedio mensual en Colombia para el 2015 fue de 1 046 036 pesos [560].   |
| Horario laboral justo<br>3                                 | En el sector de la industria manufacturera en Colombia, las horas reales trabajadas por semana fueron en promedio 48 horas en 2016 [560].  |
| Salud y seguridad en el trabajo<br>2                       | En el sector de industria manufacturera en Colombia, el número de accidentes por cada 100 000 trabajadores fue de 10 505 en 2015, mientras que ese año el promedio para todos los sectores en Colombia fue de 7495 accidentes [560]  |
| Beneficios sociales/seguridad social<br>3                  | El porcentaje de la población en Colombia cubierta por al menos un beneficio social fue del 40,8% en el 2015 [561].  |
| Transparencia en temas sociales y medioambientales<br>3    | Según el informe de KPMG del 2017, el 83% de las 100 empresas más grandes de Colombia reportan los aspectos claves de la responsabilidad social corporativa [562].   |
| Confidencialidad con la información de los clientes<br>4   | Para el año 2016, Colombia contaba con legislación vigente para la protección de los datos y privacidad de los consumidores en las 4 áreas consideradas: comercio electrónico, delitos cibernéticos, protección del consumidor y privacidad y protección de datos [563]  |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes<br>4      | Colombia presenta en el reporte de competitividad global del WEF, un grado de orientación al cliente de 5,1 en una escala de 1 a 7, en donde 1 es muy bajo y 7 muy alto [564].   |
| Deslocalización y migración<br>3                           | No hay hallazgos de deslocalización de personas o conflictos de tierras atribuibles al subsector de fabricación de autopartes en Colombia  |
| Respeto a las tradiciones locales/patrimonio cultural<br>4 | El índice social de hostilidades (ISH) es considerado "bajo" en Colombia [566]   |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas<br>3   | No se encuentran reportes de incidentes del subsector de la fabricación de autopartes en Colombia frente a los derechos de las comunidades indígenas, dado que estas actividades productivas se realizan en zonas urbanas, alejadas de los territorios indígenas.  |
| Participación de la comunidad<br>3                         | Índice de Gobierno Abierto (IGA) de Colombia en el 2015 fue de 0,56/1,00 [569]. Entre más cercano a 1,00 el gobierno es más abierto.   |
| Condiciones de vida saludables y seguras<br>4              | En Colombia el número de DALYs fue de 422 por cada 100 000 habitantes en 2012 [570].   |
| Acceso a los recursos materiales<br>4                      | Colombia obtuvo un Índice de Vitalidad del Ecosistema (IVE) de 61,33/100,00 en el 2017 [571].  |
| Acceso a los recursos inmateriales<br>3                    | Colombia obtuvo un índice de 57/100 en el reporte de libertad de prensa en el 2016 [572]   |
| Creación de empleo local<br>4                              | Colombia presenta en el reporte de competitividad global del WEF, una valoración del indicador de Cantidad de Proveedores locales de 4,9 una escala de 1 a 7, en donde 1 es muy bajo y 7 muy alto [564].   |
| Contribución a la economía nacional<br>3                   | El valor agregado de la industria manufacturera en 2016 fue de 99 311 000 millones de pesos, empleando un total de 2 551 977 trabajadores, por lo que la productividad por trabajador fue de 38,9 millones de pesos. El valor agregado nacional fue de 789 622 000 millones de pesos con un total de 22 171 365 trabajadores, por lo que la productividad promedio nacional fue de 35,6 millones de pesos por trabajador en 2016. Valores a precios corrientes base 2005 [653] |
| Prevención y mitigación de conflictos armados<br>2         | En el Barómetro de Conflictos 2016 a nivel país, Colombia está clasificada en un nivel de intensidad de "guerra limitada" en los departamentos de Chocó y Arauca (zonas con poca industria manufacturera), mientras que la mayor parte del resto del país está clasificado como "crisis violenta".   |
| Desarrollo tecnológico<br>3                                | El <i>Innovation Output Sub-index</i> fue de 23,8/100,0 para Colombia en el 2017, ubicándose en el puesto 75 entre 127 países [574].   |
| Corrupción<br>2  | El índice de percepción de corrupción en Colombia fue de 37/100 en el 2016 [575].  |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad<br>3         | N/A  |
| Relaciones con los proveedores<br>3                        | N/A  |
| Competencia desleal<br>3                                   | Colombia presenta en el reporte de competitividad global del WEF, una valoración del indicador de Efectividad de las políticas antimonopolistas de 3,7 una escala de 1 a 7, en donde 1 es muy baja y 7 muy alta [564]<br>+ No hay evidencia  |

**Anexo F.3. Inventario de análisis genérico para el subsector de la producción de petróleo en Colombia**

| <b>PROCESO: PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES</b><br><b>SECTOR: PETRÓLEO &amp; GAS/MINERÍA</b> |  | <b>ACTIVIDAD: EXTRACCIÓN/PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS</b><br><b>UBICACIÓN: COLOMBIA</b> |  |
|---|--|--|--|
| Subcategoría de impacto   | Información encontrada para su indicador   |  |  |
| Trabajo infantil<br>2 + 1*=3  | El trabajo infantil (niños entre 5-17 años) a diciembre de 2016 en Colombia fue del 7,8% [555,785].<br>+ No está en listados de productos con riesgo de trabajo infantil [556]   |  |  |
| Explotación (trabajo forzado) 3   | Colombia tiene un índice de vulnerabilidad de 42,13/100 de acuerdo con The Global Slavery Index 2016 [557].<br>+ No está en listados de productos con riesgo de trabajo forzado [556]  |  |  |
| Igualdad de oportunidades/<br>discriminación 3  | Colombia tiene un índice de Participación y oportunidades económicas de 0,740/ 1,00, ubicado en la posición 32/144 del ranking para este subíndice del Global Gender Gap Report 2017 [558].  |  |  |
| Libertad de asociación de trabajadores 1+1*=2   | La valoración de Colombia en el The 2017 ITUC Global Rights Index es de 5 (derechos no garantizados) [559]   |  |  |
| Salario justo<br>5  | Para la industria de Minas y canteras en Colombia, el salario promedio en 2016 fue de 2 272 764 pesos [560]. El salario promedio mensual en Colombia para el 2016 fue de 1 114 908 pesos [560].  |  |  |
| Horario laboral justo<br>2  | En la industria de Minas y canteras en Colombia, las horas reales trabajadas por semana fueron en promedio 51 horas en 2016 [560].   |  |  |
| Salud y seguridad en el trabajo 1   | En el sector de minería y canteras en Colombia el número de accidentes no fatales fue de 12 411 por cada 100 000 trabajadores durante el 2015, mientras que ese año el promedio para todos los sectores en Colombia fue de 7495 accidentes [560]   |  |  |
| Beneficios sociales/seguridad social<br>3   | El porcentaje de la población en Colombia cubierta por al menos un beneficio social fue del 40,8% en el 2015 [561].  |  |  |
| Transparencia en temas sociales y medioambientales 3                                    | Según el informe de KPMG del 2017, el 83% de las 100 empresas más grandes de Colombia reportan los aspectos claves de la responsabilidad social corporativa [562].   |  |  |
| Confidencialidad con la información de los clientes 4                                   | Para el año 2016, Colombia contaba con legislación vigente para la protección de los datos y privacidad de los consumidores en las 4 áreas consideradas: comercio electrónico, delitos cibernéticos, protección del consumidor y privacidad y protección de datos [563]  |  |  |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes 4                                      | Colombia presenta en el reporte de competitividad global del WEF, un grado de orientación al cliente de 5,1 en una escala de 1 a 7, en donde 1 es muy bajo y 7 muy alto [564] .  |  |  |
| Deslocalización y migración<br>1  | Para el año 2013 el 87% de los desplazamientos forzados ocurrieron en regiones que recibían <i>royalties</i> de la minería y producción de hidrocarburos. En muchos casos habían amenazas de muerte a líderes sociales que se oponían a la explotación de las concesiones otorgadas a multinacionales petroleras sin consulta previa [565].  |  |  |
| Respeto a las tradiciones locales/patrimonio cultural 4                                 | El índice social de hostilidades (ISH) es considerado “bajo” en Colombia [566]   |  |  |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas 1                                   | Se han reportado asesinatos, uso excesivo de fuerza y amenazas de muerte a miembros de las comunidades indígenas quienes han participado en protestas en contra de las operaciones de empresas petroleras que afectan los derechos que tienen sobre sus tierras [798]. Hay sentencias a empresas petroleras que han afectados el medio ambiente y los medios de subsistencia de los indígenas [799]. |  |  |
| Participación de la comunidad 3   | Índice de Gobierno Abierto (IGA) de Colombia en el 2015 fue de 0,56/1,00 [569]. Entre más cercano a 1,00 el gobierno es más abierto.   |  |  |
| Condiciones de vida saludables y seguras 4  | En Colombia el número de DALYs fue de 422 por cada 100 000 habitantes en 2012 [570].   |  |  |
| Acceso a los recursos materiales 4  | Colombia obtuvo un Índice de Vitalidad del Ecosistema (IVE) de 61,33/100,00 en el 2017 [571].  |  |  |
| Acceso a los recursos inmateriales 3  | Colombia obtuvo un índice de 57/100 en el reporte de libertad de prensa en el 2016 [572]   |  |  |
| Creación de empleo local 4  | Colombia presenta en el reporte de competitividad global del WEF, una valoración del indicador de Cantidad de Proveedores locales de 4,9 una escala de 1 a 7, en donde 1 es muy bajo y 7 muy alto [564].   |  |  |

|   |  |
|---|--|
| Contribución a la economía nacional 5           | El valor agregado de la Explotación de Minas y Canteras en 2016 fue de 46 567 000 millones de pesos, empleando un total de 186 579 trabajadores, por lo que la productividad por trabajador fue de 249,6 millones de pesos. El valor agregado nacional fue de 789 622 000 millones de pesos con un total de 22 171 365 trabajadores, por lo que la productividad promedio nacional fue de 35,6 millones de pesos por trabajador en 2016. Valores a precios corrientes base 2005 [653]. |
| Prevención y mitigación de conflictos armados 1 | En el Barómetro de Conflictos 2016 a nivel país, Colombia está clasificada en un nivel de intensidad de “guerra limitada” en los departamentos de Chocó y Arauca (zonas con gran cantidad de pozos petrolíferos)   |
| Desarrollo tecnológico 3                        | El <i>Innovation Output Sub-index</i> fue de 23,8/100,0 para Colombia en el 2017, ubicándose en el puesto 75 entre 127 países [574].   |
| Corrupción 2-1+1*=2                             | El índice de percepción de corrupción en Colombia fue de 37/100 en el 2016 [575].<br><i>La industria de petróleo y gas es considerada la más corrupta en América</i> [784]   |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad 3 | N/A  |
| Relaciones con los proveedores 3                | N/A  |
| Competencia desleal 3                           | Colombia presenta en el reporte de competitividad global del WEF, una valoración del indicador de Efectividad de las políticas antimonopolistas de 3,7 en una escala de 1 a 7 [564].   |

#### **Anexo F.4. Inventario de análisis genérico para el subsector de la producción de materiales para pavimentación en Colombia**

| <b>PROCESO: CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS</b>            |   | <b>ACTIVIDAD: PRODUCCIÓN DE MATERIALES PARA PAVIMENTACIÓN</b> |  |
|---|---|---|--|
| <b>SECTOR: INDUSTRIAL/MANUFACTURA</b>                 |   | <b>UBICACIÓN: COLOMBIA</b>                                    |  |
| <b>Subcategoría de impacto</b>                        | <b>Información encontrada para su indicador</b>   |   |  |
| Trabajo infantil 2                                    | El trabajo infantil (niños entre 5-17 años) a diciembre de 2016 en Colombia fue del 7,8% [555,785].<br><i>+No está en listados de productos con riesgo de trabajo infantil</i> [556]  |   |  |
| Explotación (trabajo forzado) 3                       | Colombia tiene un índice de vulnerabilidad de 42,13/100 de acuerdo con The Global Slavery Index 2016 [557].<br><i>+No está en listados de productos con riesgo de trabajo forzado</i> [556]   |   |  |
| Igualdad de oportunidades/ discriminación 3           | Colombia tiene un índice de Participación y oportunidades económicas de 0,740/ 1,00, ubicado en la posición 32/144 del ranking para este subíndice del Global Gender Gap Report 2017 [558].   |   |  |
| Libertad de asociación de trabajadores 1              | La valoración de Colombia en el The 2017 ITUC Global Rights Index es de 5 (derechos no garantizados) [559]  |   |  |
| Salario justo 3                                       | Para el año 2015, el salario promedio mensual en el sector manufacturero fue de 1 013 253 pesos [560]. El salario promedio mensual en Colombia para el 2015 fue de 1 046 036 pesos [560].   |   |  |
| Horario laboral justo 3                               | En el sector manufacturero en Colombia las horas reales trabajadas por semana fueron en promedio 48 horas en 2016 [560].  |   |  |
| Salud y seguridad en el trabajo 2                     | En el sector de industria manufacturera en Colombia, el número de accidentes por cada 100 000 trabajadores fue de 10 505 en 2015, mientras que ese año el promedio para todos los sectores en Colombia fue de 7495 accidentes [560]                                     |   |  |
| Beneficios sociales/seguridad social 3                | El porcentaje de la población en Colombia cubierta por al menos un beneficio social fue del 40,8% en el 2015 [561].   |   |  |
| Transparencia en temas sociales y medioambientales 3  | Según el informe de KPMG del 2017, el 83% de las 100 empresas más grandes de Colombia reportan los aspectos claves de la responsabilidad social corporativa [562].  |   |  |
| Confidencialidad con la información de los clientes 4 | Para el año 2016, Colombia contaba con legislación vigente para la protección de los datos y privacidad de los consumidores en las 4 áreas consideradas: comercio electrónico, delitos cibernéticos, protección del consumidor y privacidad y protección de datos [563] |   |  |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes 4    | Colombia presenta en el reporte de competitividad global del WEF, un grado de orientación al cliente de 5,1 en una escala de 1 a 7, en donde 1 es muy bajo y 7 muy alto [564]   |   |  |

|   |   |
|---|---|
| Deslocalización y migración 3                           | La cementera Argos no probó buena fe exenta de culpa en la compra de tierras de campesinos desplazados, por no haber analizado la historia de los predios y omitió el conocimiento sobre el conflicto armado que azotó la región [800,801]. Aunque la empresa no hay sentencias que prueben el involucramiento directo en los desplazamientos forzados.   |
| Respeto a las tradiciones locales/patrimonio cultural 4 | El índice social de hostilidades (ISH) es considerado “bajo” en Colombia [566]  |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas 4   | No hay reportes de afectación a comunidades indígenas   |
| Participación de la comunidad 3                         | Índice de Gobierno Abierto (IGA) de Colombia en el 2015 fue de 0,56/1,00 [569]. Entre más cercano a 1,00 el gobierno es más abierto.  |
| Condiciones de vida saludables y seguras 4              | En Colombia el número de DALYs fue de 422 por cada 100 000 habitantes en 2012 [570].  |
| Acceso a los recursos materiales 4                      | Colombia obtuvo un Índice de Vitalidad del Ecosistema (IVE) de 61,33/100,00 en el 2017 [571].   |
| Acceso a los recursos inmateriales 3                    | Colombia obtuvo un índice de 57/100 en el reporte de libertad de prensa en el 2016 [572]  |
| Creación de empleo local 4                              | Colombia presenta en el reporte de competitividad global del WEF, una valoración del indicador de Cantidad de Proveedores locales de 4,9 una escala de 1 a 7, en donde 1 es muy bajo y 7 muy alto [564].  |
| Contribución a la economía nacional 3                   | El valor agregado de la industria manufacturera en 2016 fue de 99 311 000 millones de pesos, empleando un total de 2 551 977 trabajadores, por lo que la productividad por trabajador fue de 38,9 millones de pesos. El valor agregado nacional fue de 789 622 000 millones de pesos con un total de 22 171 365 trabajadores, por lo que la productividad promedio nacional fue de 35,6 millones de pesos por trabajador en 2016. Valores a precios corrientes base 2005 [653]. |
| Prevención y mitigación de conflictos armados 2         | En el Barómetro de Conflictos 2016 a nivel país, Colombia está clasificada en un nivel de intensidad de “guerra limitada”. Sin embargo, las zonas en donde se encuentra la mayor parte de la industria de materiales para pavimentación están clasificadas con nivel de “crisis violenta” [573]   |
| Desarrollo tecnológico 3                                | El <i>Innovation Output Sub-index</i> fue de 23,8/100,0 para Colombia en el 2017, ubicándose en el puesto 75 entre 127 países [574].  |
| Corrupción 2  | El índice de percepción de corrupción en Colombia fue de 37/100 en el 2016 [575].   |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad 3         | N/A   |
| Relaciones con los proveedores 3                        | N/A   |
| Competencia desleal 1                                   | Colombia presenta en el reporte de competitividad global del WEF, una valoración del indicador de Efectividad de las políticas antimonopolistas de 3,7 en una escala de 1 a 7 [564].<br>+En 2017 se sancionó a 3 de las principales cementeras del país por cartelización para la fijación de precios [802]   |

### Anexo F.5. Inventario de análisis específico para la empresa Colmotores S.A

| PROCESO: VEHÍCULOS<br>EMPRESA: GENERAL MOTORS COLMOTORES S.A |  | ACTIVIDAD: ENSAMBLE DE CAMIONES<br>UBICACIÓN: BOGOTÁ, COLOMBIA  |
|--|--|---|
| Subcategoría de impacto                                      | Código indicador   | Información encontrada  |
| Trabajo infantil 5+1=6                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>● T-T1</li> <li>● T-T2</li> <li>● T-T3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● No hay evidencias</li> <li>● Apoyo en horas de voluntariado a fundaciones para promover la educación infantil, mejora de espacios físicos de colegios, apoyo en actividades artísticas, lúdicas, culturales y deportivas [659].</li> <li>● No encontrados</li> </ul>   |
| Explotación (trabajo forzado) 5                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>● T-E1</li> <li>● T-E2</li> <li>● T-E3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● No encontrados</li> <li>● No encontradas</li> <li>● No encontrados</li> </ul>  |
| Igualdad de oportunidades/discriminación 5+1-1=5             | <ul style="list-style-type: none"> <li>● T-I1</li> <li>● T-I2</li> <li>● T-I3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● No encontrados</li> <li>● Para junio de 2015 el 34% de la nómina eran mujeres y durante el 2013 y 2014 el 33% de nuevas contrataciones fueron mujeres [803]. Para 2014, la proporción de mujeres en el sector manufacturero en Colombia fue del 44,7% [560]. Se tienen políticas de contratación y selección para asegurar procesos sin discriminación [804].</li> <li>● No encontrados</li> </ul> |

|   |   |   |
|---|---|---|
| Libertad de asociación de trabajadores<br>5+1-1-1-1=3           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-L1</li> <li>• T-L2</li> <li>• T-L3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sí hay sindicatos y pacto colectivo.</li> <li>• Se han concedido peticiones de los sindicatos en temas de salud y seguridad [659]. Sin embargo, los sindicatos han tenido que recurrir a la corte constitucional para que la empresa acceda a negociar sus pliegos de peticiones [805]. La empresa lleva varios años sin resolver la huelga por despido de trabajadores con enfermedades profesionales [806,807]. Se ha denunciado también persecución y estrategias para reducir el número de sindicalistas en la empresa [808].</li> <li>• No encontrado</li> </ul>  |
| Salario justo<br>5+1+1+1+1=9                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SJ1</li> <li>• T-SJ2</li> <li>• T-SJ3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los trabajadores de las ensambladoras de vehículos percibían un salario promedio de 2 400 000 pesos mensuales en 2015 [797,809].</li> <li>• El ingreso promedio de los hogares en Bogotá fue un 28% superior al promedio nacional [810], por lo que se estima que el salario promedio mensual sería de 1 338 648 pesos en el 2015.</li> <li>• Los trabajadores del sector manufacturero percibían un salario mensual promedio de 1 013 253 pesos en 2015. El salario promedio en el país fue de 1 046 036 pesos en el 2015 [560]</li> </ul>  |
| Horario laboral justo<br>5+1+1-1=6                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-H1</li> <li>• T-H2</li> <li>• T-H3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En el sector de la industria manufacturera en Colombia, las horas reales trabajadas por semana fueron en promedio 49 horas en 2016 [560].</li> <li>• Programa de flexibilidad <i>Home Office</i> [659]. Trabajadores reportan que hay flexibilidad con los estudios y permisos personales [811].</li> <li>• Se respetan y se rotan los días de descanso, se garantiza al menos 2 domingos libres al mes</li> </ul>   |
| Salud y seguridad en el trabajo<br>5+1+1+1-1=7                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SS1</li> <li>• T-SS2</li> <li>• T-SS3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En 2014 la tasa de accidentes fue de 3,1 por cada 200 000 horas trabajadas, es decir 3596 por cada 100 000 trabajadores (considerando un promedio de 2320 horas de trabajo al año por empleado).</li> <li>• En el sector de industria manufacturera en Colombia, el número de accidentes por cada 100 000 trabajadores fue de 10 505 en 2015 [560].</li> <li>• Programas de cultura de seguridad. En el 2014 se implementaron 354 medidas en ergonomía. Hay atención médica asistencial en planta y servicios de medicina preventiva [659]. Se reportaron casos de despidos de trabajadores con enfermedades profesionales en 2011 [812,813] y en el 2016 [814], con largos procesos órdenes judiciales y huelgas que llevan varios años sin solución [806,807].</li> </ul>  |
| Beneficios sociales/seguridad social<br>5+1+1-1=6               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-B1</li> <li>• T-B2</li> <li>• T-B3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se da beneficios extras como auxilios educativos, comedor subsidiado, gimnasio, entre otros beneficios y actividades para sus familias [659,811].</li> <li>• Empleados reportan inestabilidad laboral por la contratación a través de cooperativas externas por cortos periodos. Calificación en Indeed.com de 3,5/5,0 [811].</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Transparencia en temas sociales y medioambientales<br>5+1+1+1=8 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-T1</li> <li>• CL-T2</li> <li>• CL-T3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dos reportes de sostenibilidad desde el 2011 de acuerdo con la opción esencial del GRI versión G4. Uno para los años 2011-2012 [804] y otro para los años 2013-2014 [659].</li> <li>• Transparencia en los métodos de cálculo de emisiones de GEI y COV de la ensambladora. Aceptan que a la fecha no cuentan con reutilización de aguas tratadas.</li> <li>• La empresa es investigada desde el 2011 por el enterramiento de residuos peligrosos, desde los años 80, en la ronda del río Tunjuelo [815,816]. Aun no hay fallo sancionatorio, pero la empresa ha mencionado las acciones para reparar los daños en el reporte de sostenibilidad [804]. Certificación de la empresa en las normas ISO 14001 y 50001.</li> <li>• En los reportes falta información relacionada con salarios y sindicatos.</li> <li>• Hay reporte de emisiones de GEI de la empresa, pero no de sus productos individualmente, por lo que sus concesionarios no tienen información para presentarle al cliente.</li> <li>• No encontrado</li> </ul> |
| Confidencialidad con la información de los clientes<br>5+1+1=7  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-C1</li> <li>• CL-C2</li> <li>• CL-C3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si informa</li> <li>• Informa y supervisa a los socios comerciales como los concesionarios Chevrolet a nivel nacional sobre la implementación de la política de privacidad para sus clientes [817]</li> <li>• No encontradas</li> </ul>  |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes<br>5+1+1+1+1=9 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-M1</li> <li>• CL-M2</li> <li>• CL-M3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contact center vía chat, correo, redes sociales, teléfono y encuestas de satisfacción telefónicas</li> <li>• Índice de felicidad del cliente del 86,1% en ventas y de 81% en posventa [659]</li> <li>• No determinada</li> </ul>   |
| Deslocalización y migración<br>5                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-D1</li> <li>• C-D2</li> <li>• C-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• No es común la contratación de personal extranjero, pero se cuenta con espacios de integración con compañeros de trabajo y actividades de voluntariado en donde se puede interactuar con la comunidad local [659].</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Respeto a las tradiciones locales/patrimonio cultural<br>5+1=6  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RT1</li> <li>• C-RT2</li> <li>• C-RT3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Apoyo en actividades sociales como la misión Cazucá en escuelas artísticas, culturales y deportivas [659]. Donación de tres "Papamóviles" y otros vehículos para la visita del Papa Francisco a Colombia en 2017, apoyando el más importante evento religioso para la mayoría de colombianos [818,819].</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |

|   |   |  |
|---|---|--|
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas 5 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RI1</li> <li>• C-RI2</li> <li>• C-RI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Participación de la comunidad 5+1=6                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-P1</li> <li>• C-P2</li> <li>• C-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay evidencia de participación de la comunidad en las decisiones de la empresa</li> <li>• No encontrados</li> <li>• Se apoyan actividades sociales y de mejoramiento del entorno de la comunidad mediante donaciones en especie y en horas de voluntariado [659].</li> </ul>   |
| Condiciones de vida saludables y seguras 5-1=4        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-C1</li> <li>• C-C2</li> <li>• C-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La empresa es investigada desde el 2011 por La Secretaria Distrital de Ambiente, expediente 08 11– 163, por el enterramiento de residuos peligrosos, desde los años 80, en la ronda del río Tunjuelo, contaminando posiblemente aguas subterráneas y el suelo. En dos de las siete áreas excavadas en 2011 se encontraron 1374 toneladas de envases con mezclas de aceite e hidrocarburos [815,816]. Aun no hay fallo sancionatorio.</li> <li>• No se encuentran esfuerzos adicionales a los que le corresponde a la empresa por ley.</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Acceso a los recursos materiales 5+1+1+1-1=7          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AM1</li> <li>• C-AM2</li> <li>• C-AM3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mediciones de los consumos y seguimiento al manejo de los mismos. Disminución de consumo de gas y disminución de consumo de agua en 8% en 2014. Mejoras en las infraestructuras de colegios [659]</li> <li>• La empresa es investigada desde el 2011 por La Secretaria Distrital de Ambiente, expediente 08 11 – 163, por el enterramiento de residuos peligrosos, contaminando posiblemente aguas subterráneas y el suelo. En dos de las siete áreas excavadas en 2011 se encontraron 1374 toneladas de envases y tambores con mezclas y emulsiones de aceite e hidrocarburos [815,816]. Aun no hay fallo sancionatorio.</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Acceso a los recursos inmateriales 5+1+1=7            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AI1</li> <li>• C-AI2</li> <li>• C-AI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversión a través de la fundación Chevrolet en educación para el trabajo y empleabilidad de la comunidad, especialmente población vulnerable y su vinculación laboral a empresas del sector [659]. Atención de visitas guiadas en la planta de producción a estudiantes universitarios.</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Creación de empleo local 5+1=6                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-CE1</li> <li>• C-CE2</li> <li>• C-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay políticas de contratación de trabajadores locales o nacionales.</li> <li>• Hay metas relacionadas con incrementar la proporción de componentes fabricados nacionalmente [659].</li> <li>• No encontrado.</li> </ul>  |
| Contribución a la economía nacional 5+1+1+1-1=6       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-CE1</li> <li>• S-CE2</li> <li>• S-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El valor agregado de Colmotores en 2014 fue de 596 657 millones de pesos, con una nómina de 1401 trabajadores, es decir, una productividad por trabajador de 425,8 millones de pesos [659].</li> <li>• El valor agregado de la industria manufacturera en 2014 fue de 86 878 000 millones de pesos, empleando un total de 2 588 553 trabajadores, por lo que la productividad por trabajador fue de 33,6 millones de pesos [653].</li> <li>• El 31% de material directo fue de proveedores nacionales [804].</li> </ul>   |
| Prevención y mitigación de conflictos armados 5+1+1=7 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-P1</li> <li>• S-P2</li> <li>• S-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados. No se opera en zonas de conflicto.</li> <li>• Campaña “Soy Capaz” para concienciar a la sociedad sobre necesidad de construcción de paz Programa Puntada Joven, para generar fuentes de ingresos para desmovilizados en proceso de reintegración a la sociedad con capacitación y creación de unidades productivas [804].</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Desarrollo tecnológico 5+1+1+1+1-1=8                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-D1</li> <li>• S-D2</li> <li>• S-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversiones en automatización de la línea de producción, inversiones en un robot construido en Colombia (por terceros). El desarrollo interno se hace en procesos y tiempos con capacitación y participación de los empleados. Inversión superior a 200 millones de dólares en el proyecto de transformación industrial para desarrollar y mejorar procesos de para nuevos productos [659]. Es aproximadamente el 50% de la suma de utilidad bruta de 2013 y 2014, aunque esta inversión es en activos para la planta y no es concretamente un gasto en proyectos de I+D.</li> <li>• No encontrado. No cuentan con tecnología para reutilización de aguas tratadas en sus procesos [659]</li> <li>• Alianza con universidades y predisposición para el desarrollo tecnológico de sus proveedores [659]</li> </ul> |
| Corrupción 5+1=6                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-C1</li> <li>• S-C2</li> <li>• S-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presunta corrupción entre la empresa y funcionarios públicos colombianos en los dilatados casos de los trabajadores enfermos despedidos [820] y el de los residuos peligrosos enterrados cerca del río Tunjuelo [815,816], ambas investigaciones iniciadas en el 2011 y que aún no tienen fallo definitivo ni se ha comprobado corrupción.</li> <li>• Política corporativa para no tolerar conductas de corrupción. Los empleados cuentan con la línea abierta de GM Colmotores para comunicar actos no éticos y deshonestos [659,804].</li> <li>• No encontrado</li> </ul>   |

|  |   |  |
|--|---|--|
| Compromiso público en temas de sostenibilidad<br>5+1+1+1+1=9 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-C1</li> <li>• A-C2</li> <li>• A-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compromisos para reutilizar el agua tratada, estrategia de cero residuos hacia los vertederos. Políticas de cero uso de papel. Actividades sensibilización y siembra de árboles para la conservación de ecosistemas. Programas en educación para el trabajo y empleabilidad, movilidad sostenible y voluntariado. Iniciativa “carro compartido” para mejorar la movilidad y el impacto ambiental [659,804].</li> <li>• En 2014 se gastaron 1102 millones de pesos en programas sociales y 1413 millones de pesos en medio ambiente; es decir, 0,26% y 0,34% del valor económico generado del año anterior, respectivamente. Mientras que en el 2013, estas cifras fueron del 0,12% y el 0,11% [659,804].</li> <li>• No encontrados</li> </ul> |
| Relaciones con los proveedores<br>5+1+1+1=8                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-R1</li> <li>• A-R2</li> <li>• A-R3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Le apuesta al desarrollo y fortalecimiento de proveedores nacionales. Comunica buenas prácticas a los proveedores, hace acompañamiento y auditorias de procesos para el cumplimiento de estándares. Participa junto con el gobierno en programas de fomento y desarrollo tecnológico de la industria automotriz [659].</li> <li>• No determinada</li> </ul>   |
| Competencia desleal<br>5+1=6                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-CD1</li> <li>• A-CD2</li> <li>• A-CD3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Política corporativa que manifiesta el compromiso con el respecto a la libre competencia</li> <li>• En mayo de 2015 la Superintendencia de industria y comercio formuló Pliego de Cargos contra GM Colmotores por restringir la libre competencia al impedir la entrada y expansión de otras marcas de vehículos en Colombia, pero aún no hay un fallo definitivo [821].</li> <li>• No encontrados.</li> </ul>  |

### Anexo F.6. Inventario de análisis específico para la distribución de combustibles

| PROCESO: COMBUSTIBLES<br>EMPRESA: TERPEL S.A            |  | ACTIVIDAD: DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES<br>UBICACIÓN: BOGOTÁ, COLOMBIA   |
|---|--|--|
| Subcategoría de impacto                                 | Código indicador   | Información encontrada   |
| Trabajo infantil<br>5+1+1+1+1=9                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-T1</li> <li>• T-T2</li> <li>• T-T3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrado.</li> <li>• Programas de apoyo a la educación a través de la Fundación Terpel, con el voluntariado corporativo y programas como Restaurando Sueños, Escuelas que Aprenden, El Líder en Mí, Aventura en Letras, entre otros, en donde se fortaleció la calidad de la educación e infraestructuras, beneficiando en 2016 a 332 mil niños y jóvenes, 31% más respecto 2015 [655]. Vinculada a la Red Colombia contra el Trabajo Infantil y Pacto Mundial de la ONU</li> <li>• Política en Derechos Humanos que hacen extensiva a todos los proveedores [655]. No se cuenta con una estrategia para identificar los centros y proveedores en los que exista un riesgo significativo de casos de explotación infantil, pero en 2016 se avanzó en el ejercicio para establecer el proceso de Debida Diligencia en derechos humanos [655,822]. En 2014 se evaluó al 100% de los proveedores en función a las prácticas laborales como los derechos humanos y de los trabajadores [823].</li> </ul> |
| Explotación (trabajo forzado)<br>5+1+1+1=8              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-E1</li> <li>• T-E2</li> <li>• T-E3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Vinculada al Pacto Mundial de la ONU</li> <li>• Política en Derechos Humanos que hacen extensiva a todos los proveedores [655]. No se cuenta con una estrategia para identificar proveedores en los que existan episodios de trabajo forzado, pero en 2016 se avanzó en el ejercicio para establecer el proceso de Debida Diligencia en derechos humanos [655,822]. En 2014 se evaluó al 100% de los proveedores en función a las prácticas laborales como los derechos humanos y de los trabajadores [823].</li> </ul>   |
| Igualdad de oportunidades/discriminación<br>5+1+1+1-1=7 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-I1</li> <li>• T-I2</li> <li>• T-I3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• El 35% de empleados directos al 2016 eran mujeres, tasa que ha estado casi constante en los últimos 8 años [655]. La tasa de mujeres en el sector del comercio mayorista y minorista fue de 47% en el 2016 [560]. El salario de las mujeres en 2016 fue en promedio un 9% inferior al de los hombres, brecha que se ha reducido gradualmente; en 2008 el salario de las mujeres era aproximadamente 24% inferior [655,824]. Rechazan cualquier tipo de discriminación sea por género, raza, orientación política o religión. Vinculada al Pacto Mundial de la ONU [655].</li> <li>• Política en Derechos Humanos que hacen extensiva a todos los proveedores [825]. En 2014 se evaluó al 100% de los proveedores en función a las prácticas laborales como los derechos humanos y de los trabajadores [823].</li> </ul>   |

|   |   |   |
|---|---|---|
| Libertad de asociación de trabajadores<br>5+1-1=5                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-L1</li> <li>• T-L2</li> <li>• T-L3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En los informes de sostenibilidad indican que aseguran la libertad de asociación para los empleados. En el 2016 el 3,78% de empleados estaban afiliados a la Unión Sindical Obrera (USO) y los demás cubiertos por el pacto colectivo. La cifra de empleados sindicalizados ha estado casi constante desde que hay registros en reportes de sostenibilidad (2009) [824].</li> <li>• A través del pacto colectivo los empleados han conseguido beneficios como auxilios en medicina prepagada, auxilio educativo, día libre por cumpleaños, seguro de vida y exequial en 2009 [824], aunque no se han reportado nuevos beneficios adquiridos desde ese año.</li> <li>• Política en Derechos Humanos que hacen extensiva a todos los proveedores [655]. No se cuenta con una estrategia para identificar los centros y proveedores en donde se vulnera el derecho a la libre asociación, pero en 2016 se avanzó en el ejercicio para establecer el proceso de Debida Diligencia en derechos humanos [655,822]. En 2014 se evaluó al 100% de los proveedores en función a las prácticas laborales como los derechos humanos y de los trabajadores. Vinculada al Pacto Mundial de la ONU [823].</li> </ul> |
| Salario justo<br>5  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SJ1</li> <li>• T-SJ2</li> <li>• T-SJ3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrado. No es posible evaluarlo</li> <li>• El ingreso promedio de los hogares en Bogotá fue un 28% superior al promedio nacional [826], por lo que se estima que el salario promedio mensual sería de 1 338 648 pesos en el 2015.</li> <li>• El salario promedio del sector del comercio mayorista y minorista fue de 890 064 pesos en 2015. El salario promedio del país fue de 1 046 036 pesos en el 2015 [560]</li> </ul>  |
| Horario laboral justo<br>5+1-1=5                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-H1</li> <li>• T-H2</li> <li>• T-H3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 48 horas a la semana, turnos rotativos de 8 horas diarias para operarios de estaciones.</li> <li>• Programa BienSer que promueve entre otras cosas la elección de un horario flexible [822].</li> <li>• Rotativos</li> </ul>   |
| Salud y seguridad en el trabajo<br>5+1+1+1=8                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SS1</li> <li>• T-SS2</li> <li>• T-SS3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En el 2015 el índice de frecuencia de accidentalidad fue de 8,44 [822], es decir 1958 accidentes por cada 100 000 trabajadores (considerando un promedio de horas trabajadas al año de 2320)</li> <li>• El número de accidentes por cada 100 000 trabajadores en el sector del comercio mayorista y minorista fue de 6161 en 2015 [560]</li> <li>• Implementación del sistema de salud, seguridad, ambiente y calidad (SSCA). Jornadas de salud ocupacional [655].</li> </ul>  |
| Beneficios sociales/<br>seguridad social<br>5+1+1+1+1=9             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-B1</li> <li>• T-B2</li> <li>• T-B3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Todos los beneficios y prestaciones por ley y algunos extras como auxilios en medicina prepagada, auxilio educativo, día libre por cumpleaños, seguro de vida y exequial [824].</li> <li>• Se reporta una buena estabilidad laboral; la mayoría de empleados tienen contratos directos con la empresa a término indefinido. En 2016 la tasa de rotación laboral es del 10,8% anual, la cual se ha reducido en los últimos años [655]. Calificación en Indeed.com de 4,3 [827].</li> <li>• Manual de proveedores en donde exigen que sus empleados estén afiliados al sistema de seguridad social (salud, pensiones y riesgos laborales) [828].</li> </ul>  |
| Transparencia en temas sociales y medioambientales<br>5+1+1+1+1-1=8 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-T1</li> <li>• CL-T2</li> <li>• CL-T3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reportes anuales de sostenibilidad desde el 2009 de acuerdo con la opción esencial del GRI versión G4. La empresa fue incluida Anuario de Sostenibilidad de RobecoSam [829]. Cuentan con certificaciones de calidad ISO 9001, 14001, 18001 y NORSOK [655].</li> <li>• Presenta reportes de huella de carbono de la empresa e información sobre el número de derrames de combustible anualmente y cuáles de estos con afectación al medio ambiente. Cantidad de residuos peligrosos generados, cifra que se ha multiplicado, pero que se están gestionando con empresas especializadas [655].</li> <li>• La empresa no reporta los riesgos de los derrames en el agua y suelos. Ante denuncias realizadas por la comunidad sobre vertimiento de hidrocarburos, la empresa no reconoce estas afectaciones al medio ambiente y en algunos casos ha sido sancionada [830-833].</li> <li>• No encontrado</li> </ul>   |
| Confidencialidad con la información de los clientes<br>5+1+1=7      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-C1</li> <li>• CL-C2</li> <li>• CL-C3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se comunica en la página Web de Terpel la política de tratamiento de datos personales [834].</li> <li>• Los empleados firman un acuerdo de confidencialidad [823].</li> <li>• No encontradas</li> </ul>  |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes<br>5+1+1+1=8       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-M1</li> <li>• CL-M2</li> <li>• CL-M3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Línea gratuita de atención al cliente las 24 horas, encuestas de satisfacción, contacto a través de la página web con respuesta al correo electrónico.</li> <li>• Las encuestas de satisfacción de clientes de estaciones de servicio otorgan un resultado de 8,4/10 en 2016, el cual ha estado casi constante en años anteriores [655].</li> <li>• No determinada</li> </ul>  |
| Deslocalización y migración<br>5                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-D1</li> <li>• C-D2</li> <li>• C-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• No es común la contratación de personal extranjero, pero los empleados de otras regiones podrían integrarse mediante las actividades de voluntariado en donde se puede interactuar con la comunidad local [655]. No se reportan actividades de integración entre empleados en los informes de sostenibilidad.</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Respeto a las tradiciones locales/<br>patrimonio cultural<br>5+1=6  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RT1</li> <li>• C-RT2</li> <li>• C-RT3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Derrames de hidrocarburos podría afectar actividades tradicionales como la pesca, pero estos no se hacen intencionalmente y cuando suceden las afectaciones son temporales.</li> <li>• Vinculación al Pacto Mundial, principios 1 y 2, con los que la empresa declara que se debe respetar a las comunidades aledañas, así como a sus particularidades y costumbres [655]</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |

|   |   |   |
|---|---|---|
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas 5   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RI1</li> <li>• C-RI2</li> <li>• C-RI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Participación de la comunidad 5+1=6                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-P1</li> <li>• C-P2</li> <li>• C-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontradas</li> <li>• No encontradas</li> <li>• Se apoyan diversas iniciativas de desarrollos de las comunidades a través de la Fundación Terpel, pero sin determinar cuáles de ellas han sido propuestas inicialmente por la comunidad o por la empresa [655].</li> </ul>   |
| Condiciones de vida saludables y seguras 5+1+1-1=6      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-C1</li> <li>• C-C2</li> <li>• C-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La autoridad ambiental ha ordenado el cierre preventivo de la planta ubicada en Villa del Rosario por almacenar más de dos veces la cantidad de combustible autorizado, con riesgo de explosión que podría afectar las comunidades vecinas. También esa misma planta ha sido sancionada por vertimientos a un afluyente que podría afectar la salud de la comunidad [833,835]. Sin embargo, estos hechos aislados no han causado daños comprobados a la salud o integridad de las personas.</li> <li>• A través de la Fundación Terpel se apoyan proyectos de reciclaje, reducción y valorización de desechos, jornadas de salud, entre otras [655].</li> <li>• Exigen a contratistas un transporte seguro de los combustibles, quienes deben contar con un plan ambiental y de seguridad vial. Controlan el cumplimiento del horario de trabajo de los conductores. Capacitaciones sobre seguridad vial y protección ambiental en carretera y plantas de abastecimiento [822].</li> </ul> |
| Acceso a los recursos materiales 5+1+1-1-1=5            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AM1</li> <li>• C-AM2</li> <li>• C-AM3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción del consumo de agua de un 29,5%, aumento del más del doble en la cantidad de residuos peligrosos gestionados adecuadamente y reducción del 26% de la intensidad energética por empleado en 2016 con respecto del año anterior [655].</li> <li>• Denuncias realizadas por la comunidad sobre vertimiento de hidrocarburos a los suelos y cuerpos hídricos y sanciones de cierre de plantas [830-833].</li> <li>• Exigen a los contratistas un transporte seguro de los combustibles, quienes deben contar con un plan ambiental y de seguridad vial [822].</li> </ul>   |
| Acceso a los recursos inmateriales 5+1+1=7              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AI1</li> <li>• C-AI2</li> <li>• C-AI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitación a empleados de estaciones propias y aliadas, a niños, padres de familia, docentes y directivos de las escuelas [655].</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Creación de empleo local 5+1+1+1+1=9                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-CE1</li> <li>• C-CE2</li> <li>• C-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Política de prioridad de contratación de empleados colombianos [655].</li> <li>• Política de prioridad a compras locales. El 96,6% de proveedores son nacionales [655].</li> <li>• El 97% de empleados en puestos directivos era de origen nacional en 2016 [655].</li> </ul>  |
| Contribución a la economía nacional 5+1+1+1+1+1=10      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-CE1</li> <li>• S-CE2</li> <li>• S-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El valor agregado de Terpel en 2016 fue de 1 431 012 millones de pesos, con una nómina de 2892 trabajadores (directos en todos los países que opera Terpel) [655], es decir, una productividad por trabajador de 494,8 millones de pesos.</li> <li>• El valor agregado del sector del Comercio, reparación, restaurantes y hoteles en 2016 fue de 107 934 000 millones de pesos, empleando un total de 6 161 764 trabajadores, por lo que la productividad por trabajador fue de 17,5 millones de pesos [653].</li> <li>• 71% en compras nacionales en 2016 [655], aunque se ha reducido; en 2015 fue de 80%, en 2014 fue de 88,47% y en 2013 del 91% [822].</li> </ul>  |
| Prevención y mitigación de conflictos armados 5-1+1+1=6 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-P1</li> <li>• S-P2</li> <li>• S-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados. Algunas sedes operan en zonas de crisis violenta</li> <li>• Vinculada a la Agencia Colombiana para la Reintegración, capacitando en proyectos productivos y dando empleo desmovilizados [655,822].</li> <li>• En 2014 formalizaron el protocolo en prevención de lavado de activos y financiación del terrorismo [823].</li> </ul>   |
| Desarrollo tecnológico 5+1+1+1=8                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-D1</li> <li>• S-D2</li> <li>• S-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se cuenta con un laboratorio de control de calidad donde se llevan a cabo ensayos para el control de calidad y desarrollo de nuevos lubricantes [823]. Se obtuvo la patente de invención del lubricante Terpel Celerity 10W40 de base sintética que permite generar un mayor rendimiento para motor [655]. Desarrollo del software Rumbo Terpel para que los clientes controlen el suministro de combustible y el control de consumos de flotas de vehículos [823]. No se reportan las cifras de inversión en desarrollo tecnológico.</li> <li>• No encontradas.</li> <li>• No encontrado</li> </ul>   |
| Corrupción 5+1+1=7                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-C1</li> <li>• S-C2</li> <li>• S-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Prevención de riesgos de corrupción a través de la adhesión al programa de Empresas Activas en Cumplimiento Anticorrupción liderado por la Presidencia de la República [822]. La organización cuenta con una página Web (reportesconfidencialesterpel.com), para reportar de manera anónima preocupaciones acerca de comportamientos no éticos o no íntegros, por medio de reporte a los altos ejecutivos, línea de denuncia o línea ético. La compañía capacitó a 86% de sus empleados en temas relacionados con cumplimiento, lavado de activos y soborno [655].</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |

|  |   |   |
|--|---|---|
| Compromiso público en temas de sostenibilidad<br>5+1+1+1=8 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-C1</li> <li>• A-C2</li> <li>• A-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En 2016 se beneficiaron 332 000 personas en programas sociales, 31% más con respecto a 2015. La empresa se propone retos para 2017 para aumentar y mejorar los impactos medioambientales y sociales. Reportan que promueven la comercialización de biocombustibles, lubricantes menos contaminantes y el gas natural [655], aunque no es considerable.</li> <li>• La compañía invirtió en 2016 en Colombia 5709 millones de pesos en programas sociales y 2317 millones de pesos en gestión ambiental, es decir, 0,53% y 0,22% del valor económico generado del año anterior. En el 2015 las cifras fueron de 0,51% y 0,21% [655,822,823].</li> <li>• La empresa cada vez reduce el porcentaje de compras a proveedores locales, el cual fue del 71% en 2016 [655], luego de ser del 91% en 2013 [822], algo en contravía de las campañas de colombianismo de la marca Terpel.</li> </ul>                      |
| Relaciones con los proveedores<br>5+1+1=7                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-R1</li> <li>• A-R2</li> <li>• A-R3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Política de desarrollo de proveedores, para generar valor y beneficio mutuo. Evalúan sus proveedores para identificar oportunidades de mejora [655]. Encuesta de satisfacción de proveedores, el 56% de ellos calificó como bueno el trámite de pagos y como excelente la solución de requerimientos. En 2015 se capacitó a 1081 conductores de las diferentes empresas que prestan a Terpel el servicio de transporte de combustible [822].</li> <li>• No determinada. La empresa cada vez reduce el porcentaje de compras a proveedores locales, el cual fue del 71% en 2016 [655], luego de ser del 91% en 2013 [822].</li> </ul>   |
| Competencia desleal<br>5-1=4                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-CD1</li> <li>• A-CD2</li> <li>• A-CD3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Fendipetroleo ha denunciado la presunta competencia desleal de Terpel por aprovechar su posición dominante en el mercado mayorista y minorista de combustibles para vender a bajos precios y llevar a la quiebra a los pequeños propietarios de estaciones de servicio para posteriormente subir los precios [836–839]. A febrero de 2018 no había fallado aún. La posición dominante de Terpel iba a aumentar tras la compra de las estaciones de Exxonmobil en Colombia, quedando Terpel con el 52% y más del 64% del mercado mayorista y minorista de combustibles, respectivamente, pero la Superintendencia de industria y comercio de Colombia objetó esa compra, obligando a Terpel a vender las estaciones de combustible y la planta de producción de lubricantes adquiridas a Exxonmobil [840–842]; Resolución 76541 del 23-Nov-2017.</li> <li>• No encontrados</li> </ul> |

#### Anexo F.7. Inventario de análisis específico para la empresa Ecopetrol S.A

| <b>PROCESO:</b> COMBUSTIBLES<br><b>EMPRESA:</b> ECOPELROL S.A |  | <b>ACTIVIDAD:</b> REFINO Y TRANSPORTE DE COMBUSTIBLES<br><b>UBICACIÓN:</b> BOGOTÁ, COLOMBIA   |  |
|---|--|---|--|
| Subcategoría de impacto                                       | Código indicador   | Información encontrada  |  |
| Trabajo infantil<br>5+1+1+1+1=9                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-T1</li> <li>• T-T2</li> <li>• T-T3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Vinculada a la Red Colombia contra el Trabajo Infantil y Pacto Mundial de la ONU. Iniciativa dentro del Plan táctico de derechos humanos Ecopetrol sobre la Prevención y erradicación del trabajo infantil en contratistas. Plan de acción con las empresas proveedoras del servicio de transporte: se trabajó con las 26 empresas contratistas de este servicio, en conjunto con UNICEF. Apoyo en la mejora de infraestructura y dotación de colegios, capacitación a docentes y programas “Cero Analfabetismo” [583].</li> <li>• En los contratos se incluye el compromiso explícito que deben asumir los contratistas de respetar los DD.HH. Verificación realizada a través de las auditorías a contratistas [583].</li> </ul>         |  |
| Explotación (trabajo forzado)<br>5+1+1+1=8                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-E1</li> <li>• T-E2</li> <li>• T-E3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Vinculada al Pacto Mundial de la ONU.</li> <li>• En los contratos se incluye el compromiso explícito que deben asumir los contratistas de respetar los DD.HH. Verificación realizada a través de las auditorías a contratistas [583].</li> </ul>   |  |
| Igualdad de oportunidades/discriminación<br>5+1+1-1-1=5       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-I1</li> <li>• T-I2</li> <li>• T-I3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• En 2016 el 22,3% del personal eran mujeres, cifra que ha ido disminuyendo en los últimos años; en 2012 la proporción era de 24,4%. Ecopetrol garantiza equidad en compensación entre hombres y mujeres [583]. La tasa de mujeres en el sector manufacturero en Colombia fue de 42,5% en el 2016 [560].</li> <li>Los procesos de selección se llevan a cabo sin discriminar por razones de sexo, raza, origen nacional o familiar, lengua, religión, condición de discapacidad, opinión política o filosófica [583].</li> <li>En los contratos se incluye el compromiso explícito que deben asumir los contratistas de respetar los DD.HH e identificar, prevenir y mitigar situaciones que afecten el ejercicio de los derechos</li> </ul> |  |

|  |   |   |
|--|---|---|
| <p>Libertad de asociación de trabajadores<br/>5+1+1+1-1-1-1=5</p>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-L1</li> <li>• T-L2</li> <li>• T-L3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Existen 11 organizaciones sindicales. En 2016, el 47,3% de los empleados se encontraban afiliados a alguna organización sindical. El 79% de los trabajadores estaba vinculado a la Convención Colectiva de Trabajo [583].</li> <li>• En febrero de 2017 el ministerio de trabajo sancionó a Ecopetrol por actos de discriminación sindical al ofrecer mejores beneficios al personal no sindicalizado que se benefician de la convención colectiva de trabajo [843,844]. En 2016 el Ministerio el Trabajo impuso una sanción a Ecopetrol por presunta violación a los artículos 23 y 167 de la Convención Colectiva de Trabajo, al no suministrar la seguridad y el transporte a los dirigentes sindicales de ADECO. La sanción está en términos para interponer recurso de reposición y apelación [583]. En 2015 el Ministerio del Trabajo sancionó a Ecopetrol por bloquear el ingreso a la refinería de Barrancabermeja de dirigentes sindicales de la Unión Sindical Obrera (USO) [845]. También hay denuncias de uso excesivo de fuerza para reprimir protestas sindicales [846], barreras para la asociación sindical en la refinería de Cartagena y represalias contra trabajadores sindicalizados [847,848]</li> <li>• En los contratos se incluye el compromiso explícito que deben asumir los contratistas de respetar los DD.HH y estándares laborales</li> </ul> |
| <p>Salario justo<br/>5+1+1+1+1+1=10</p>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SJ1</li> <li>• T-SJ2</li> <li>• T-SJ3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los salarios promedio mensuales de los empleados directos o indirectos fueron de 7 768 262 pesos (824 803 millones de pesos de concepto de sueldos y salarios en 2016 para 8 848 empleados) [583], en toda la organización Ecopetrol. Mientras que el salario mensual promedio en solo en la Refinería de Cartagena fue de 10 790 904 pesos en el 2016 [849]. También se reciben primas o bonificaciones extralegales.</li> <li>• El ingreso promedio de los hogares en Bogotá es un 28% superior al promedio nacional [826], por lo que se estima que el salario promedio mensual sería de 1 427 082 pesos en el 2016.</li> <li>• El salario promedio del país fue de 1 114 908 pesos y en el sector manufacturero fue de 1 094 523 pesos en el 2016 [560].</li> </ul>  |
| <p>Horario laboral justo<br/>5-1-1=3</p>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-H1</li> <li>• T-H2</li> <li>• T-H3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 48 horas en esquemas 4x3, es decir, 4 días seguidos trabajados (con turnos de 12 horas) y 3 días seguidos de descanso. Los turnos de 12 horas están contemplados en el artículo 165 del Código Sustantivo del Trabajo, sin embargo, para trabajos de alto riesgo no son recomendados por lo que han sido sancionados [850–852].</li> <li>• Permisos por cumpleaños, por compra de vivienda, por matrimonio, licencias extendidas de maternidad y paternidad [583].</li> <li>• La implementación de esquemas de trabajo 4x3, provoca que estos días de descanso no siempre coincidan con el fin de semana.</li> </ul>   |
| <p>Salud y seguridad en el trabajo<br/>5+1+1+1+1=9</p>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SS1</li> <li>• T-SS2</li> <li>• T-SS3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para Ecopetrol en general, el índice de accidentalidad de casos registrables en 2015 fue de 1,12, es decir, 260 casos por cada 100 000 empleados aproximadamente. Para 2016 la cifra fue de 290 aproximadamente [583]. Solo en la refinería se presentaron 29 casos en 2016, es decir 611 por cada 100 000 empleados. (Para 2015 no reportan sobre la cantidad de empleados de la refinería para calcular el número de casos por empleados a partir del índice de accidentalidad reportado) [849].</li> <li>• En el sector de industria manufacturera en Colombia, el número de accidentes por cada 100 000 trabajadores fue de 10 505 en 2015 [560].</li> <li>• Políticas y programas de seguridad y salud ocupacional. Programas de aseguramiento de la calidad HSE, higiene industrial, ergonomía, salud mental y riesgo psicosocial y medicina preventiva. Cada año se cubre el 98-99% del personal con evaluaciones periódicas de salud integral. Satisfacción global de 93% [583]. Se han presentado denuncias de casos aislados de despido de trabajadores con enfermedades profesionales y caso de accidentes mortales [853].</li> </ul>   |
| <p>Beneficios sociales/seguridad social<br/>5+1+1+1+1=9</p>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-B1</li> <li>• T-B2</li> <li>• T-B3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los trabajadores reciben beneficios extras como plan educacional para sus hijos, subsidio familiar, bonos de alimentación, primas y gastos de traslado, seguros de vida, gastos de fallecimiento, plan de salud integral [583].</li> <li>• En 2016 el 89,8% del personal tenía contrato a término indefinido, proporción que ha aumentado cada año. El 94% del personal tiene una antigüedad mayor a 2 años. La calificación en Estabilidad laboral/Facilidad de promoción Indeed.com es de 4,2 [854].</li> <li>• En los contratos se incluye el compromiso que deben asumir los contratistas de respetar los DD.HH y estándares laborales</li> </ul>  |
| <p>Transparencia en temas sociales y medioambientales<br/>5+1+1+1+1+1=10</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-T1</li> <li>• CL-T2</li> <li>• CL-T3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La empresa fue incluida Anuario de Sostenibilidad de RobecoSam y Dow Jones Sustainability Indexes. En el reporte de sostenibilidad se informan los casos de conductas inadecuadas y de corrupción detectados en la empresa y como ha sido su seguimiento [583].</li> <li>• En 2016, por tercer año consecutivo, Ecopetrol logró la categoría Opción de conformidad exhaustiva, por su Reporte Integrado de Gestión Sostenible, otorgada por el GRI [583].</li> <li>• Informan sobre los impactos en la salud de los clientes (usuarios finales) de sus productos como gasolina, diésel y gas natural. Se informa la cantidad de incidentes ambientales y derrames de petróleo y/o derivados; la cantidad de emisiones de GEI y otros gases cada año, con sus métodos de cálculo; y la cantidad de agua captada y su porcentaje sobre la oferta de las fuentes hídricas [583].</li> <li>• No encontrado</li> </ul>  |

|  |   |  |
|--|---|--|
| Confidencialidad con la información de los clientes<br>5+1+1+1=8 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-C1</li> <li>• CL-C2</li> <li>• CL-C3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si informa</li> <li>• Cuentan con certificación ISO27001:2013 sobre seguridad de la información Declaración de Tratamiento de la Información Personal en Ecopetrol S.A debidamente actualizada en su página web.</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes<br>5+1+1+1+1=9  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-M1</li> <li>• CL-M2</li> <li>• CL-M3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se cuentan con mecanismos para recibir y gestionar las peticiones, quejas, reclamos y sugerencias como la página Web, correo electrónico y físico, centro de atención telefónica, brigadas de atención móvil y cabinas telefónicas. Además cuenta con Oficinas de Participación Ciudadana en diferentes zonas del país, con un índice de atención oportuna del 100% con sus clientes [583].</li> <li>• El 88% de los clientes calificaron entre 7 y 10 su satisfacción frente a los servicios ofrecidos por Ecopetrol [583].</li> <li>• No determinada</li> </ul>   |
| Deslocalización y migración<br>5+1=6                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-D1</li> <li>• C-D2</li> <li>• C-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se encuentran conflictos de tierras o deslocalización de personas asociados a la operación de refinerías o poliductos a cargo de Ecopetrol en los últimos 5 años.</li> <li>• Programa de reubicación definitiva, el cual tiene como objetivo manejar el impacto del desplazamiento involuntario de unidades sociales y sus vocaciones productivas. Durante 2016, se presentaron tres procesos de reasentamiento en el marco del proyecto de construcción del Oleoducto en San Fernando Monterrey [583]. También se ha propuesto un plan de relocalización de la comunidad Termogalán-Berlín, con relación al Proyecto de Modernización de la Refinería de Barrancabermeja en el 2013, aunque dicho proyecto se encuentra congelado.</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Respeto a las tradiciones locales/ patrimonio cultural<br>5+1=6  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RT1</li> <li>• C-RT2</li> <li>• C-RT3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se encuentran impactos asociados a proyectos relacionados con las refinerías o poliductos en los últimos 5 años. Cabe resaltar que las actuales refinerías llevan décadas en sus emplazamientos.</li> <li>• Para todo proyecto se lleva a cabo un programa de Arqueología Preventiva con el fin de proteger el patrimonio arqueológico encontrado durante las obras. También se ejecutan programas como el proyecto Ciudadanos Transformadores realizado en alianza con la Fundación Cultural Popacha y el apoyo de alcaldías locales orientado a fortalecer el tejido social y los valores cívicos, actividades de expresión cultural y deportiva [583]. En 2012 y 2013 en alianza con Universidad del Magdalena y la Fundación Proguajira, se implementó un programa de recuperación, conservación y difusión de la memoria documental del departamento de La Guajira [855].</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas<br>5+1+1=7   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RI1</li> <li>• C-RI2</li> <li>• C-RI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Procedimiento para la gestión con grupos étnicos, el cual especifica las pautas para lograr aplicar un enfoque diferencial étnico en el relacionamiento con estas poblaciones. La contratación de miembros de grupos étnicos como mano de obra, se fundamenta en el respeto al derecho a la no discriminación y garantiza que se aplique como mínimo el principio de bilingüismo y se tengan en cuenta las diferencias culturales de cada comunidad [583]. Se realizan consultas previas, visitas de seguimiento y proyectos de compensación con las comunidades indígenas para la implementación de proyectos relacionados con la exploración, producción y transporte de hidrocarburos [583].</li> <li>• No se encuentran impactos negativos relevantes asociados a la operación de refinerías y/o poliductos. Los derrames que se han presentado en territorios indígenas han sido por causas externas como atentados a la infraestructura realizados por grupos guerrilleros.</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Participación de la comunidad<br>5+1+1+1=8                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-P1</li> <li>• C-P2</li> <li>• C-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oficinas de Participación Ciudadana en diferentes zonas del país con un índice de atención oportuna del 99,9% [583]. Ecopetrol mantiene espacios de participación y diálogo, como las audiencias públicas de rendición de cuentas, las brigadas móviles y los conversatorios. En 2016 Ecopetrol llegó a 1882 personas, a través de la realización de 127 actividades de participación y diálogo, aunque hubo una reducción frente a lo realizado en 2015 en donde se llegó a 2726 personas y en 2014 a 6821 personas [583]. La refinería de Cartagena realizó 119 jornadas informativas durante el 2016 con las comunidades vecinas en las que participaron un total de 2838 personas [849].</li> <li>• La comunidad del barrio Pasacaballos, aledaña a la refinería de Cartagena, interpuso una acción de tutela contra Ecopetrol por no realizar la consulta previa para el proyecto de modernización de la refinería. Sin embargo, el amparo fue denegado por no ser necesaria la consulta previa dado que la refinería lleva décadas en la zona; STP10616-2016 [856].</li> <li>• En 2016 se apoyaron proyectos en las comunidades de Cartagena a través de organizaciones como Actuar por Bolívar, Fundación Cívica pro Cartagena, Fundación Juan Felipe Gómez Escobar y la Cámara de Comercio de Cartagena [849].</li> </ul> |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <p>Condiciones de vida saludables y seguras<br/>5+1-1-1=4</p>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-C1</li> <li>• C-C2</li> <li>• C-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En diciembre de 2011 se presentó una explosión de un poliducto con un saldo de más de 30 fallecidos de una comunidad en Dosquebradas [857,858]. Sin embargo, en los últimos 5 años no se han presentado accidentes similares con afectación a la comunidad.</li> <li>• Un estudio en el ganado bovino de las zonas aledañas a la refinera de Barrancabermeja, encontró altas concentraciones de metales pesados, poniendo en riesgo la salud de las personas que consumen este ganado [859,860].</li> <li>• Implementación de un plan de actividades a cargo de diferentes áreas de la operación, orientadas a prevenir incidentes asociados con fenómenos ambientales [583]. Las inversiones realizadas por la empresa para atender la temporada de lluvias 2016 fue de 87 000 millones de pesos, representados en: acciones de limpieza de cunetas; mantenimiento de piscinas, separadores y contrapozos; construcción de variantes y cruce de ríos en infraestructura de transporte; obras de geotecnia en líneas de flujo, y mantenimiento y obras de geotecnia en vías de acceso [583].</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| <p>Acceso a los recursos materiales<br/>5+1+1+1=8</p>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AM1</li> <li>• C-AM2</li> <li>• C-AM3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción de polideportivos, bibliotecas, centros de salud, redes de gas natural y carreteras en comunidades aledañas a sus operaciones. En 2016 se construyeron plantas de potabilización en seis instituciones educativas rurales [583]. Implementación de planes de mitigación y contingencia para la recuperación de recursos naturales cuando ocurren derrames. Se implementan mecanismos para reutilización del agua. La eficiencia energética del proceso de refinación, a pesar de lograr ahorros de energía en el 2016, de acuerdo con el indicador del benchmarking de Solomon IIE, las refineras de Ecopetrol se encuentran en el segundo cuartil entre las refineras de Latinoamérica [583]. Apoyo a proyectos productivos, para que las familias tengan asimismo un sustento económico [861], como proyectos agrícolas [862,863] y proyectos pecuarios [864,865].</li> <li>• No se presentan sanciones o multas asociadas a la afectación significativa de recursos naturales o materiales asociados a las refineras o poliductos en los últimos 5 años.</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| <p>Acceso a los recursos inmateriales<br/>5+1+1+1=8</p>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AI1</li> <li>• C-AI2</li> <li>• C-AI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiene convenios de cooperación tecnológica con instituciones nacionales e internacionales, principalmente universidades. Organizan charlas y seminarios abiertos al público para transferir y compartir conocimiento en diferentes áreas. Apoyo con becas de estudio de grado y postgrado, proyectos de formación complementaria, y formación gratuita y entrenamiento para personas de las regiones de operación [583].</li> <li>• Proyecto de Fortalecimiento del tejido empresarial, el cual se ha aplicado en 400 pequeñas y medianas empresas en 21 municipios colombianos. Apoyo en la estrategia territorial para la gestión equitativa y sostenible del sector de hidrocarburos [583]. Se reciben también visitas técnicas de estudiantes universitarios en su refinera de Barrancabermeja [866].</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| <p>Creación de empleo local<br/>5+1+1+1+1+1=10</p>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-CE1</li> <li>• C-CE2</li> <li>• C-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se tiene una estrategia de contratación local, en condiciones competitivas de calidad, oportunidad y precio. En caso de no existir capacidad a nivel local, se le da prelación a la oferta regional, seguida por la oferta nacional [583].</li> <li>• Política de preferencia de proveedores nacionales y locales [583]</li> <li>• Del total de 4738 empleados de la refinera de Cartagena, el 87,6% eran locales y el 99,4% nacionales en 2016 [849].</li> </ul>   |
| <p>Contribución a la economía nacional<br/>5+1+1+1+1+1=10</p>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-CE1</li> <li>• S-CE2</li> <li>• S-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El valor agregado de Ecopetrol, específicamente las actividades de refinación y petroquímica en 2016 fue de 1 979 727 millones de pesos, con una nómina de 4741 trabajadores, es decir, una productividad por trabajador de 417,5 millones de pesos.</li> <li>• El valor agregado de la industria manufacturera en 2016 fue de 99 311 000 millones de pesos, empleando un total de 2 551 997 trabajadores, por lo que la productividad por trabajador fue de 38,9 millones de pesos [653].</li> <li>• El porcentaje de gastos en proveedores nacionales fue de 96% en 2016, 95% en 2015 y 93% en 2014 [583]</li> </ul>  |
| <p>Prevención y mitigación de conflictos armados<br/>5-1+1+1+1=7</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-P1</li> <li>• S-P2</li> <li>• S-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados. Se ha denunciado que Ecopetrol podría haber financiado grupos paramilitares, pero no se ha comprobado ni emitido sentencias al respecto [867,868]. La refinación se realiza en zonas de crisis violenta [573].</li> <li>• Procedimiento de debida diligencia para asegurar el respeto de los derechos humanos en la implementación de las medidas de seguridad física para prevenir conflictos como consecuencia del relacionamiento la vigilancia y seguridad privada contratada con la Fuerza pública [583]. Se conformó el equipo de Posconflicto y construcción de paz, el cual definió un plan de trabajo que facilitará el alistamiento de la empresa frente a un escenario de construcción de paz, tras la firma de los Acuerdos entre el Gobierno colombiano y las FARC [583].</li> <li>• Programa de Desarrollo y Paz del Magdalena Medio y el Centro Nacional de Memoria Histórica, con el objetivo de recuperar la memoria histórica para la construcción de la paz, la reconciliación, la promoción de los derechos humanos y la reconstrucción del tejido social en el Magdalena Medio.</li> <li>• Proyecto Comunicación para el Desarrollo Social, realizado con la Fundación Foro Costa Atlántica, orientado al fortalecimiento de habilidades de comunicación y solución de conflictos de 250 líderes comunitarios de Santa Marta y Bolívar.</li> <li>• No encontrados</li> </ul> |

|  |   |   |
|--|---|---|
| <p>Desarrollo tecnológico<br/>5+1+1+1+1-1-1=7</p>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-D1</li> <li>• S-D2</li> <li>• S-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La ejecución de inversiones y gastos en proyectos de innovación y tecnología fue de 36700 millones de pesos en el 2016, es decir, 0,24% de la utilidad bruta del año anterior [583]. Cuenta con departamento de innovación con avances que han generado beneficios para la empresa de 372,2 millones de dólares en 2016. En ese mismo año se obtuvieron 10 nuevas patentes, acumulando 79 patentes vigentes, siendo la institución nacional con mayor producción intelectual [583]. La refinería de Cartagena fue modernizada en 2015, catalogada como la más moderna de Latinoamérica [584–588].</li> <li>• La Refinería de Barrancabermeja tiene más de 95 años [589], aunque ya hay un proyecto de modernización que se encuentra detenido desde 2015 por los bajos precios del petróleo y la falta de presupuesto [590,591]. La operación de maquinaria antigua ha generado emisión contaminantes que podrían ser evitadas con la modernización de la planta [592].</li> <li>• Hay alianzas y convenios de cooperación tecnológica con universidades, proveedores y clientes en proyectos de investigación y transferencia tecnológica [583].</li> </ul>   |
| <p>Corrupción<br/>5+1+1+1-1-1-1-1=3</p>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-C1</li> <li>• S-C2</li> <li>• S-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El proyecto de modernización de la refinería de Cartagena es considerado el mayor escándalo de corrupción en la historia del país, comprobándose irregularidades en el año 2016 que llevaron a sobrecostos por más de 4000 millones de dólares [869]. Exdirectivos de Ecopetrol, funcionarios públicos y contratistas extranjeros han sido imputados [870–873] y 7 de ellos tienen medida de aseguramiento [874], aunque aún no hay sentencias definitivas para ninguno de los implicados.</li> <li>• Cuentan con un Código de ética y otros mecanismos referentes a la conducta personal y profesional que deben cumplir todos los trabajadores, miembros de la Junta Directiva, proveedores y contratistas, con el fin de mitigar riesgos de corrupción, fraude, LAFT (lavado de activos y financiación del terrorismo) y FCPA (Foreign Corrupt Practices Act). Se implementan acciones preventivas, de detección y de monitoreo de estos riesgos [583]. Las personas pueden denunciar malas conductas de funcionarios de la empresa en la página web de Ecopetrol, la intranet, línea telefónica nacional internacional. En el 2016 se recibieron 148 denuncias y 19 fueron corroborados [583].</li> <li>• Código de ética extendido a los proveedores y contratistas [875].</li> </ul>   |
| <p>Compromiso público en temas de sostenibilidad<br/>5+1+1+1+1-1=8</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-C1</li> <li>• A-C2</li> <li>• A-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se presentan metas y porcentaje de cumplimiento cada año en indicadores de reducción de contaminación, accidentes, derrames de hidrocarburos, generación de residuos, entre otros, además de compromisos para cada <i>stakeholder</i>. Desde 2009 ECOPEPETROL publica sus reportes anuales bajo la metodología del GRI. Ecopetrol otorga anualmente el Premio de Responsabilidad Social para Contratistas, cuyo objetivo es aportar a la construcción de una cadena de abastecimiento sostenible [583].</li> <li>• En 2016 Ecopetrol invirtió 14855 millones de pesos en programas sociales y 327459 millones de pesos en gastos medioambientales, es decir, 0,10% y 2,17% de la utilidad bruta del año anterior. Estas cifras han disminuido considerablemente desde 2013 cuando se invertían el 1,33% y el 5,10% de la utilidad bruta del año anterior [583,876], debido a las pérdidas financieras en los últimos años.</li> <li>• Por los bajos precios del petróleo desde 2014 y por ende la reducción en las operaciones, para garantizar la sostenibilidad económica de la empresa se han reducido significativamente los gastos en programas sociales y medioambientales. En 2016 hubo una inversión baja debido a que la empresa presentó pérdidas en el año 2015 [583,876]. Se ha reducido la generación de residuos considerablemente, debido la reducción en la producción. Pese a la reducción en la generación de residuos, la fracción que va al vertedero aumentó considerablemente en el 2016 [583].</li> </ul> |
| <p>Relaciones con los proveedores<br/>5+1+1+1=8</p>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-R1</li> <li>• A-R2</li> <li>• A-R3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• En el período 2006 – 2015, Ecopetrol realizó una inversión de 25 000 millones de pesos en el programa Desarrollo de proveedores en sus zonas de operación, con el objetivo de apoyar a las empresas que suministran bienes y servicios para que se vuelvan cada vez más competitivas y puedan abastecer no sólo a Ecopetrol, sino otras demandas del mercado, incrementando así el empleo y la subcontratación local. En 2016 Ecopetrol no contó con recursos económicos para este programa. No obstante, con el acompañamiento de Consejo Empresarial Colombiano para el Desarrollo Sostenible, se adelantó una jornada de capacitación con participación de 12 proveedores, en temas de sostenibilidad empresarial. En 2016 Ecopetrol realizó una Reunión a Nivel de Expertos con el objetivo de compartir mejores prácticas en herramientas para la gestión de proveedores [583].</li> <li>La percepción de transparencia de los proveedores de Ecopetrol S.A. sobre el proceso de abastecimiento de bienes y servicios del 84% en 2016, 94% en 2015 y 93% en 2014 [583].</li> <li>• No determinada</li> </ul>  |
| <p>Competencia desleal<br/>5+1+1-1-1=5</p>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-CD1</li> <li>• A-CD2</li> <li>• A-CD3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• No se encuentran denuncias relacionadas con las operaciones de refinación o transporte de combustibles. Ecopetrol controla el 100% de la refinación de diésel en Colombia, la cual representa aproximadamente el 64,5% del diésel consumido en el país [658], ya que el resto de diésel es importado, aunque controlado por Ecopetrol por poseer las infraestructuras de transporte de hidrocarburos. Los precios de los combustibles son regulados por el gobierno nacional, aunque normalmente protegiendo las finanzas de la estatal petrolera [877,878].</li> <li>• Código de ética extendido a los proveedores y contratistas [875].</li> </ul>   |

**Anexo F.8. Inventario de análisis específico para la empresa Gerdau Diaco S.A**

| <b>PROCESO: FIN DE VIDA</b><br><b>EMPRESA: GERDAU DIACO S.A</b> |   | <b>ACTIVIDAD: DESMANTELAMIENTO DE VEHÍCULOS</b><br><b>UBICACIÓN: BOGOTÁ, COLOMBIA</b>   |
|---|---|---|
| Subcategoría de impacto   | Código indicador  | Información encontrada  |
| Trabajo infantil<br>5+1+1=7                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-T1</li> <li>• T-T2</li> <li>• T-T3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrado</li> <li>• En el código de ética se rechaza cualquier violación a los derechos humanos como trabajo infantil [879]. Entre algunas iniciativas de apoyo a las escuelas, en 2014 se creó el proyecto "Ludoteca Sueños Infantiles" en el Colegio San Nicolás de Tuta, con el fin de incentivar el desarrollo de competencias lectoras y artísticas de 299 niños dentro y fuera de la jornada escolar [880].</li> <li>• Se rechaza cualquier violación a los derechos humanos como trabajo infantil por parte de proveedores [881].</li> </ul>   |
| Explotación (trabajo forzado)<br>5+1+1=7                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-E1</li> <li>• T-E2</li> <li>• T-E3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• En el código de ética se rechaza cualquier violación a los derechos humanos como la explotación o el trabajo forzado [879].</li> <li>• Se rechaza cualquier violación a los derechos humanos como la explotación o el trabajo forzado por parte de proveedores [881].</li> </ul>   |
| Igualdad de oportunidades/<br>discriminación<br>5+1-1=5         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-I1</li> <li>• T-I2</li> <li>• T-I3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• La proporción de mujeres en todas las plantas de Gerdau a nivel mundial fue del 12% en 2016 [882]. La tasa de mujeres en el sector manufacturero en Colombia fue de 42,5% en el 2016 [560]. Hay un código de ética que rechaza cualquier trato discriminatorio entre sus empleados y para cualquier contratación, promoción, o compensación [879].</li> <li>• Se promueve el trato no discriminatorio por parte de proveedores a sus propios trabajadores [881].</li> </ul>  |
| Libertad de asociación de trabajadores<br>5-1-1-1=2             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-L1</li> <li>• T-L2</li> <li>• T-L3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hay trabajadores vinculados al Sindicato Nacional de Trabajadores Metalúrgicos- SINTRAMETAL, al Sindicato de Trabajadores de Gerdau- SITRAGERDAU o a SINTRADIACO. También hay un pacto colectivo.</li> <li>• Hay denuncias de planes de debilitamiento de los sindicatos mediante la tercerización o el otorgamiento de mejores beneficios a los trabajadores no sindicalizados[883,884]. También hay un estudio que menciona una "abierto política antisindical" desde 2004 cuando Gerdau compró la empresa Diaco S.A., cerrando plantas con el fin de despedir el mayor número de trabajadores sindicalizados y reabriendo luego con trabajadores tercerizados [885]. No se encuentran sentencias del ministerio del trabajo.</li> <li>• No encontrados</li> </ul> |
| Salario justo<br>5+1+1=7  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SJ1</li> <li>• T-SJ2</li> <li>• T-SJ3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los trabajadores de la industria metalúrgica y metalmecánica recibían el 81% del salario promedio un operario en Colombia 2015 [886], es decir, 1 410 000 pesos mensuales.</li> <li>• El ingreso promedio de los hogares en Bogotá es un 28% superior al promedio nacional [826], por lo que se estima que el salario promedio mensual era de 1 338 648 pesos en el 2015.</li> <li>• Los trabajadores del sector manufacturero percibían un salario mensual promedio de 1 013 253 pesos en 2015. El salario promedio en el país fue de 1 046 036 pesos en el 2015 [560]</li> </ul>   |
| Horario laboral justo<br>5                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-H1</li> <li>• T-H2</li> <li>• T-H3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El artículo 161 del Código Sustantivo del Trabajo en Colombia establece un máximo de 48 horas semanales [887].</li> <li>• El artículo 161 del Código Sustantivo del Trabajo en Colombia establece que el trabajador puede distribuir las 48 horas semanales de manera flexible en acuerdo con el empleador, durante máximo 6 días a la semana y que no excedan 10 horas de trabajo al día [887].</li> <li>• El artículo 161 del Código Sustantivo del Trabajo en Colombia establece que se debe trabajar máximo 6 días a la semana y el de descanso podrá coincidir con el domingo [887].</li> </ul>   |
| Salud y seguridad en el trabajo<br>5+1+1=7                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SS1</li> <li>• T-SS2</li> <li>• T-SS3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No reportados.</li> <li>• En el sector de industria manufacturera en Colombia, el número de accidentes por cada 100 000 trabajadores fue de 10 505 en 2015 [560].</li> <li>• Se realizan jornadas de seguridad y salud en el trabajo en donde se crean espacios sensibilización acerca de la preservación de la salud, seguridad, el medio ambiente y la calidad de las labores diarias [888]. Entre las políticas de la empresa se evidencia la importancia que se le da a la seguridad y salud del trabajador [882] y se promueve esta cultura en sus proveedores [881,889].</li> </ul>  |
| Beneficios sociales/<br>seguridad social<br>5-1=4               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-B1</li> <li>• T-B2</li> <li>• T-B3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrado.</li> <li>• Calificación promedio indicador indeed.com de Estabilidad laboral/facilidad de promoción para las plantas Gerdau Diaco de 3,5/5,0 [890–892]. La empresa ha realizado diversas reestructuraciones y traslados de plantas que han obligado al despido masivo de trabajadores [893,894].</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |

|   |   |   |
|---|---|---|
| Transparencia en temas sociales y medioambientales<br>5+1-1-1=4 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-T1</li> <li>• CL-T2</li> <li>• CL-T3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No existe un reporte o anuario de sostenibilidad exclusivo para Gerdau Diaco en Colombia. Existen reportes de responsabilidad social y ambiental anuales de manera general para Gerdau a nivel mundial (en portugués y en inglés) bajo el marco sugerido por el <i>International Integrated Reporting Council- IIRC</i> [882]. No informan a la opinión pública sobre los impactos o riesgos de sus productos o sus plantas.</li> <li>• Todas las plantas de la empresa adoptan el Sistema de Gestión Ambiental elaborado en conformidad con la norma ISO 14001 [895]</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Confidencialidad con la información de los clientes<br>5+1=6    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-C1</li> <li>• CL-C2</li> <li>• CL-C3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presenta la ley de protección de datos personales en su página web [896].</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes<br>5+1=6       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-M1</li> <li>• CL-M2</li> <li>• CL-M3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La empresa cuenta con su página web para Colombia con su formulario de contacto para inquietudes y sugerencias. Se muestra un número telefónico para venta de productos y compra de chatarra</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No determinada</li> </ul>  |
| Deslocalización y migración<br>5                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-D1</li> <li>• C-D2</li> <li>• C-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Respeto a las tradiciones locales/ patrimonio cultural<br>5+1=6 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RT1</li> <li>• C-RT2</li> <li>• C-RT3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• En 2015 la empresa inauguró el primer torneo de Tejo en Boyacá [897], el deporte autóctono de la región, heredado de los ancestros indígenas, y considerado el deporte nacional de Colombia [898].</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas<br>5        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RI1</li> <li>• C-RI2</li> <li>• C-RI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Participación de la comunidad<br>5+1=6                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-P1</li> <li>• C-P2</li> <li>• C-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrada</li> <li>• No encontrada</li> <li>• Apoyo mediante el programa de voluntarios Gerdau a diversas iniciativas como la reforestación y limpieza de bosques y cuencas de ríos junto con miembros de la comunidad [899,900]. En 2015 la empresa lideró la construcción de un parque recreativo en Tuta, Cundinamarca que beneficia a 300 familias [901].</li> </ul>   |
| Condiciones de vida saludables y seguras<br>5+1=6               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-C1</li> <li>• C-C2</li> <li>• C-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• La empresa ha invertido en la modernización de sus plantas para la reutilización de agua y recuperación de lodos, como también la mejora de los hornos con el fin de reducir las emisiones a niveles muy por debajo de lo establecido por la legislación colombiana [902].</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Acceso a los recursos materiales<br>5+1+1=7                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AM1</li> <li>• C-AM2</li> <li>• C-AM3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En el 2016 durante la crisis energética del país, Gerdau implemento un plan de ahorros, logrando una reducción en el consumo de electricidad de 11 megavatios por día en sus plantas de producción [903]. También se implementó Proyecto "Educando para la conservación ambiental", para enseñar a los jóvenes y sus familias sobre la importancia del cuidado del medio ambiente, realizando actividades de recuperación y mejoramiento ambiental de las cuencas, microcuencas y humedales adyacentes a sus municipios [904]. Ese mismo año Gerdau Diaco apoyó el proyecto de recuperación del humedal Platanares en Yumbo, a través de 30 voluntarios de la empresa y gastos de 15 millones de pesos [905].</li> <li>• No encontrada</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Acceso a los recursos inmateriales<br>5+1+1+1=8                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AI1</li> <li>• C-AI2</li> <li>• C-AI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoyo al programa Construya Seguro con Gerdau, con el cual se daban cursos teórico-prácticos sobre mejores técnicas de construcción a personas de la comunidad y albañiles empíricos. Gerdau también apoya los programas de educación <i>Junior Achievement</i>, que busca despertar el espíritu emprendedor en los jóvenes [906] y mujeres [907]. En 2016 se desarrolló el proyecto Gestión Integral de Residuos Sólidos Ferrosos con el fin capacitar a recicladores para la optimización del manejo de residuos [900]. Gerdau Diaco recibe visitas guiadas de estudiantes y del público en general a sus plantas de producción [908,909]. La empresa donó en 2017 elementos pedagógico para el laboratorio de prácticas para el curso de técnico en siderurgia para alumnos del colegio San Nicolás en Tuta, Cundinamarca [910].</li> <li>• No encontrados. El incidente de represión policial contra una protesta de trabajadores por la venta de la planta de Gerdau en Yumbo en febrero de 2017 puede ser atribuida al nuevo dueño y no a Gerdau [894].</li> <li>• No encontrados</li> </ul> |

|  |   |  |
|--|---|--|
| Creación de empleo local<br>5-1+1=5                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-CE1</li> <li>• C-CE2</li> <li>• C-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se encuentra información sobre políticas de contratación local.</li> <li>• Se ha denunciado que la empresa prefiere contratar trabajadores de zonas del país diferentes a la ubicación de sus plantas para que no tengan amigos o familiares que los apoyen y ser más fácilmente persuadidos por los directivos, como estrategia de una presunta política antisindical [885].</li> <li>• Hay estrategias para desarrollar proveedores locales [911]</li> <li>• No se encuentra información sobre el origen de sus empleados</li> </ul>   |
| Contribución a la economía nacional<br>5+1+1+1=8       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-CE1</li> <li>• S-CE2</li> <li>• S-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El valor agregado de Gerdau Diaco en 2016 y la cantidad de empleados no fue encontrada. Sin embargo, el valor agregado del subsector de Industrias básicas de hierro y de acero en Colombia en 2016 fue de 2 082 554 millones de pesos, con un total de 11 962 trabajadores, es decir, una productividad por trabajador de 174,1 millones de pesos [797].</li> <li>• El valor agregado de la industria manufacturera en 2016 fue de 99 311 000 millones de pesos, empleando un total de 2 551 997 trabajadores, por lo que la productividad por trabajador fue de 38,9 millones de pesos [653].</li> <li>• No encontrado</li> </ul>   |
| Prevención y mitigación de conflictos armados<br>5+1=6 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-P1</li> <li>• S-P2</li> <li>• S-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados. No opera en zonas de conflicto</li> <li>• Cuentan con un manual para el sistema de autocontrol y gestión del riesgo para prevenir que a través de las actividades de la empresa se laven activos o se financie el terrorismo [912].</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Desarrollo tecnológico<br>5+1=6                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-D1</li> <li>• S-D2</li> <li>• S-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se invierte en desarrollo tecnológico en su casa matriz en Brasil para luego implementar estos desarrollos en las plantas a nivel mundial. Cuentan con modernos sistemas de remoción de emisiones del proceso de producción del acero y un sistema que permite la reutilización del 97% del agua en sus procesos industriales [913].</li> <li>• No encontrados.</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Corrupción<br>5+1+1=7                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-C1</li> <li>• S-C2</li> <li>• S-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los directivos de Gerdau se encuentran investigados por presuntos casos de corrupción en Brasil y en Guatemala [914], pero la empresa Gerdau Diaco S.A no tiene investigaciones por corrupción en Colombia.</li> <li>• Se cuenta con un código de ética para empleados con un apartado específico sobre prácticas de corrupción y un canal de comunicación confidencial en su página web para que cualquier persona pueda denunciar violaciones a este código de ética o las leyes del país [879].</li> <li>• Se informa a los proveedores en el código de ética que no es tolerada o aceptada cualquier práctica ilegal y de corrupción [881]</li> </ul>   |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad<br>5     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-C1</li> <li>• A-C2</li> <li>• A-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se encuentran compromisos o metas para destinar mayor presupuesto en programas sociales en los próximos años. Gerdau Diaco es el mayor reciclador de chatarra ferrosa, lo que contribuye y promueve el desarrollo sostenible del país.</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Relaciones con los proveedores<br>5+1+1=7              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-R1</li> <li>• A-R2</li> <li>• A-R3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontradas</li> <li>• Desde el 2014, Gerdau Diaco desarrolló por 18 meses el Programa de Desarrollo de Proveedores de Suministros de Chatarra, con el fin de fortalecer sus habilidades empresariales y corporativas [911]. En 2015 se realizó un festival de navidad para 485 familias recicladoras como reconocimiento a sus labores como proveedores de la empresa [915].</li> <li>• No determinada</li> </ul>   |
| Competencia desleal<br>5+1+1=7                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-CD1</li> <li>• A-CD2</li> <li>• A-CD3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se especifica en el código de ética interno que los empleados deben respetar el trabajo de los competidores y no realizar falsos juicios que afecten su reputación. Asimismo, se promueve la competencia en un libre mercado e informa que cualquier conducta anticompetitiva puede ser penalizada severamente [879].</li> <li>• No encontrados. No se encuentran datos de la cuota de mercado específica, pero es posible que Gerdau tenga una cuota de mercado alta por tener mayor número de sucursales en el país que sus dos competidoras; Sinedal y Sidoc.</li> <li>• Se informa a sus proveedores en el código de ética que Gerdau desaprueba cualquier comportamiento anticompetitivo [881].</li> </ul> |

### **Anexo F.9. Inventario de análisis específico para la empresa Operador Logístico TCL**

| <b>PROCESO:</b> OPERACIÓN DE VEHÍCULOS |  | <b>ACTIVIDAD:</b> TRANSPORTE DE MERCANCÍAS POR CARRETERA  |
|--|--|---|
| <b>EMPRESA:</b> OPERADOR LOGÍSTICO TCL |  | <b>UBICACIÓN:</b> PEREIRA, COLOMBIA   |
| Subcategoría de impacto                | Código indicador   | Información encontrada  |
| Trabajo infantil<br>5                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-T1</li> <li>• T-T2</li> <li>• T-T3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrado</li> <li>• No encontrado</li> <li>• No encontrado</li> </ul> |

|  |   |  |
|--|---|--|
| Explotación (trabajo forzado) 5                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-E1</li> <li>• T-E2</li> <li>• T-E3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrado</li> <li>• No encontrado</li> <li>• No encontrado</li> </ul>  |
| Igualdad de oportunidades/discriminación 5-1=4             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-I1</li> <li>• T-I2</li> <li>• T-I3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrado</li> <li>• No hay mujeres, solamente la contadora que es externa. Si hay diversidad de razas y origen entre los empleados. La tasa de mujeres en el sector del transporte en Colombia fue de 15,2% en el 2016 [560]</li> <li>• No encontrado</li> </ul>   |
| Libertad de asociación de trabajadores 5                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-L1</li> <li>• T-L2</li> <li>• T-L3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay</li> <li>• No encontrado, por ser una empresa pequeña los empleados negocian directamente con gerente y dueño</li> <li>• No hay</li> </ul>   |
| Salario justo 5-1=4  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SJ1</li> <li>• T-SJ2</li> <li>• T-SJ3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El salario promedio mensual fue de 863 000 pesos en el 2016. Los conductores pueden recibir propinas extraoficialmente, completando entre 1 000 000 y 1 200 000 pesos de salario mensual.</li> <li>• El ingreso promedio de los hogares en Pereira fue el 89% del promedio nacional [826], por lo que se estima que el salario promedio mensual sería de 993 416 pesos en el 2016.</li> <li>• El salario promedio en el país fue de 1 114 908 pesos y en el sector del transporte fue de 1 101 356 pesos en el 2016 [560].</li> </ul> |
| Horario laboral justo 5+1-1=5                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-H1</li> <li>• T-H2</li> <li>• T-H3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Max 48 horas por semana. Hay semanas en que los conductores pueden superar estas horas por algún incidente en carretera, pero son compensados el fin de semana o la siguiente semana con tiempo libre.</li> <li>• Alta flexibilidad que se negocia semanalmente con el gerente o el dueño.</li> <li>• Siempre se da el domingo libre para todos los empleados, ya que la legislación Colombia prohíbe la circulación de camiones los domingos por vías nacionales.</li> </ul>   |
| Salud y seguridad en el trabajo 5+1=6                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SS1</li> <li>• T-SS2</li> <li>• T-SS3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay un reporte, pero se afirma que es muy bajo. En el primer semestre de 2016 no se reportaron accidentes ni enfermedades laborales.</li> <li>• En el sector del transporte el número de accidentes por cada 10 000 trabajadores fue de 6036 en 2015 [560]</li> <li>• Al menos 2 veces al año la Aseguradora de Riesgos Laborales Colpatria realiza jornadas de capacitación a todos los empleados.</li> </ul>   |
| Beneficios sociales/seguridad social 5+1=6                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-B1</li> <li>• T-B2</li> <li>• T-B3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se otorgan los obligatorios por ley en Colombia (seguro de salud para el trabajador + cónyuge e hijos o padres, aportes a pensión y cesantías, y auxilio de transporte para los que devengan hasta dos salarios mínimos mensuales)</li> <li>• Hay buena estabilidad, normalmente la rotación de personal es por renuncia voluntaria del trabajador</li> <li>• No hay</li> </ul>   |
| Transparencia en temas sociales y medioambientales 5-1-1=3 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-T1</li> <li>• CL-T2</li> <li>• CL-T3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay</li> <li>• No hay página web y no se comunican los impactos de sus operaciones, por su desconocimiento.</li> <li>• No hay</li> </ul>   |
| Confidencialidad con la información de los clientes 5+1=6  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-C1</li> <li>• CL-C2</li> <li>• CL-C3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se informa sobre las políticas de tratamiento de datos personales</li> <li>• No hay</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes 5+1=6     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-M1</li> <li>• CL-M2</li> <li>• CL-M3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se reciben llamadas de quejas y reclamos en la misma línea de atención comercial. A veces se llama a los clientes para preguntar cómo estuvo el servicio</li> <li>• No hay</li> <li>• No determinada</li> </ul>   |
| Deslocalización y migración 5                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-D1</li> <li>• C-D2</li> <li>• C-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay</li> <li>• No hay</li> <li>• No hay</li> </ul>   |
| Respeto a las tradiciones locales/patrimonio cultural 5    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RT1</li> <li>• C-RT2</li> <li>• C-RT3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay</li> <li>• No hay</li> <li>• No hay</li> </ul>   |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas 5      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RI1</li> <li>• C-RI2</li> <li>• C-RI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No hay</li> </ul>   |
| Participación de la comunidad 5+1+1=7                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-P1</li> <li>• C-P2</li> <li>• C-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si se tiene en cuenta la opinión de los vecinos</li> <li>• No hay evidencia</li> <li>• Se apoya con dotación a un equipo de futbol de salón del barrio</li> </ul>   |

|  |   |   |
|--|---|---|
| Condiciones de vida saludables y seguras<br>5+1-1=5      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-C1</li> <li>• C-C2</li> <li>• C-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay reportes, pero se opera en una calle residencial, siendo posible la afectación por ruido y gases de escape a los vecinos.</li> <li>• Se trabaja en horario de oficina de 8 am a 7 pm.</li> <li>• No hay</li> </ul>  |
| Acceso a los recursos materiales 5                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AM1</li> <li>• C-AM2</li> <li>• C-AM3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontradas</li> <li>• No hay evidencia</li> <li>• No hay</li> </ul>  |
| Acceso a los recursos inmateriales 5                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AI1</li> <li>• C-AI2</li> <li>• C-AI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay</li> <li>• No hay evidencia</li> <li>• No hay</li> </ul>  |
| Creación de empleo local<br>5+1+1+1+1=9                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-CE1</li> <li>• C-CE2</li> <li>• C-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay políticas establecidas, pero los directivos demuestran preferencia por la contratación de personas locales que conozcan la ciudad de destino y la gente los conozca.</li> <li>• No hay políticas establecidas, los directivos informan que no hay preferencias en la compra local/nacional frente a lo importado</li> <li>• 70% de Risaralda y 30% del Chocó.</li> </ul>  |
| Contribución a la economía nacional<br>5+1+1=7           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-CE1</li> <li>• S-CE2</li> <li>• S-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El valor agregado de la empresa en 2016 fue aproximadamente de 278 millones de pesos, con un total de 11 trabajadores, es decir, una productividad por trabajador de 25,3 millones de pesos aproximadamente.</li> <li>• El valor agregado del sector del transporte en 2016 fue de 55 518 000 millones de pesos, empleando un total de 1 773 674 trabajadores, por lo que la productividad por trabajador fue de 31,3 millones de pesos [653].</li> <li>• 100% proveedores nacionales</li> </ul> |
| Prevención y mitigación de conflictos armados<br>5-1-1=3 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-P1</li> <li>• S-P2</li> <li>• S-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados. Se apoyaba indirectamente cuando en retenes ilegales había que pagar un “peaje” a grupos guerrilleros, aunque no era una práctica frecuente ni existían acuerdos pactados como cuotas periódicas. La oficina principal no opera en zona de conflicto pero su destino es una zona de “guerra limitada” [573]</li> <li>• No hay</li> <li>• No hay</li> </ul>   |
| Desarrollo tecnológico<br>5-1=4                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-D1</li> <li>• S-D2</li> <li>• S-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• La flota de camiones tiene en promedio 8 años de antigüedad</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Corrupción<br>5-1=4                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-C1</li> <li>• S-C2</li> <li>• S-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay políticas que prohíban que los conductores puedan sobornar a funcionarios públicos</li> <li>• No hay</li> <li>• No hay</li> </ul>   |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad 5          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-C1</li> <li>• A-C2</li> <li>• A-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se espera vender dos camiones antiguos para comprar otros más nuevos</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Relaciones con los proveedores<br>5+1=6                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-R1</li> <li>• A-R2</li> <li>• A-R3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontradas</li> <li>• Se mantienen buenas relaciones con proveedores por varios años por temas de confianza y para obtener tratos preferenciales como descuentos o cupos para compras a crédito más altos y periodos de pago más amplios</li> <li>• 5 años</li> </ul>  |
| Competencia desleal<br>5+1+1=7                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-CD1</li> <li>• A-CD2</li> <li>• A-CD3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se manifiesta un compromiso por evitar prácticas de competencia desleal</li> <li>• No encontrados. La cuota de mercado es del 10% aproximadamente.</li> <li>• No hay</li> </ul>  |

### Anexo F.10. Indicadores complementarios y método de evaluación de subcategorías para el análisis de inventario Nivel 1+

| Subcategoría                             | Indicador complementario de análisis genérico                           | Fuente del indicador  | Criterio de ajuste del resultado de la evaluación de los indicadores genéricos           | Ajuste |
|--|---|---|--|--------|
| Igualdad de oportunidades/discriminación | Proporción de mujeres en el sector frente al total de sectores del país | <i>Key Indicators of the LM</i> [560]:<br>employment by sex and economic activity | La proporción de mujeres en el sector es mayor al 150% de la media nacional              | +1     |
|  |   |   | La proporción de mujeres en el sector está entre el 50% y el 150% de la media nacional   | -      |
|  |   |   | La proporción de mujeres en el sector es menor al 50% de la media nacional               | -1     |
| Libre asociación de trabajadores         | Casos sobre libertad sindical presentadas ante la OIT                   | <i>Information System on International Labour Standards</i> [554]                 | No se encuentran quejas  | +1     |
|  |   |   | No se encuentran quejas porque no hay muchos sindicatos o las quejas no son justificadas | -      |
|  |   |   | Se encuentran quejas falladas a favor de los sindicatos                                  | -1     |

|   |   |   |   |    |
|---|---|---|---|----|
| Beneficios sociales/seguridad social          | Porcentaje trabajo informal en el sector frente al promedio del país                                | Fuentes nacionales o internacionales                    | La tasa de informalidad en el sector es menor al 70% de la media nacional                     | +1 |
|   |   |   | La tasa de informalidad en el sector está entre el 70% y el 130% de la media nacional         | -  |
|   |   |   | La tasa de informalidad en el sector es mayor al 130% de la media nacional                    | -1 |
| Condiciones de vida seguras y saludables      | Riesgos para la salud y seguridad de la comunidad asociados al sector                               | Fuentes nacionales o internacionales                    | El sector genera riesgos muy bajos o no los genera  | +1 |
|   |   |   | El sector genera riesgos moderados y/o poco frecuentes  | -  |
|   |   |   | El sector genera riesgos graves y/o muy frecuentes  | -1 |
| Acceso a recursos materiales                  | Reportes de afectación a los recursos materiales atribuibles al sector                              | Fuentes nacionales o internacionales                    | El sector tiene un impacto muy bajo sobre los recursos materiales                             | +1 |
|   |   |   | El sector tiene un impacto moderado sobre los recursos materiales                             | -  |
|   |   |   | El sector genera impactos graves sobre los recursos naturales y su mitigación es insuficiente | -1 |
| Creación de empleo local                      | Proporción de trabajadores extranjeros en el sector   | Fuentes nacionales o internacionales                    | La proporción de trabajadores extranjeros es inferior al 5%                                   | +1 |
|   |   |   | Proporción de trabajadores extranjeros entre el 5% y el 15%                                   | -  |
|   |   |   | La proporción de trabajadores extranjeros es superior al 15%                                  | -1 |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad | Evidencia de metas medioambientales y/o sociales concretas en las 5 principales empresas del sector | Páginas web de las empresas seleccionadas en la muestra | De las empresas analizadas, 4 o 5 presentan metas/compromisos                                 | +1 |
|   |   |   | De las empresas analizadas, 2 o 3 presentan metas/compromisos                                 | -  |
|   |   |   | De las empresas analizadas, 0 o 1 presentan metas/compromisos                                 | -1 |

## Anexos G. Inventario de indicadores de análisis genérico y específico para los sectores y empresas identificadas el ASCV caso a estudio en Malasia

### Anexo G.1. Inventario de análisis genérico para el subsector de fabricación de autopartes en Japón

| PROCESO: FABRICACIÓN DE VEHÍCULOS                       |   | ACTIVIDAD: FABRICACIÓN COMPONENTES PARA VEHÍCULOS |
|---|---|---|
| SUBSECTOR/SECTOR: AUTOPARTES/MANUFACTURA                |   | UBICACIÓN: JAPÓN                                  |
| Subcategoría de impacto                                 | Información encontrada para su indicador  |   |
| Trabajo infantil<br>5                                   | El trabajo infantil (niños entre 5-17 años) en 2016 en Japón se considera casi cero ya que no hay información disponible para este país en las bases de datos sobre trabajo infantil [555]<br>+ No está en listados de productos con riesgo de trabajo infantil [556] |   |
| Explotación (trabajo forzado)<br>4                      | Japón tiene un índice de vulnerabilidad de 21,40/100 de acuerdo con <i>The Global Slavery Index 2016</i> [557].<br>+ No está en listados de productos con riesgo de trabajo forzado   |   |
| Igualdad de oportunidades/discriminación<br>3           | Japón tiene un índice de Participación y oportunidades económicas de 0,580/1,00 en el <i>Global Gender Gap Report 2017</i> [558].   |   |
| Libertad de asociación de trabajadores<br>4             | La valoración de Japón es igual a 2 en el <i>The 2017 ITUC Global Rights Index</i> [559]  |   |
| Salario justo<br>3                                      | Los trabajadores del sector manufacturero en Japón percibían un salario anual promedio de 295 100 yenes en 2016 [560]. El salario promedio en el país fue de 304 000 yenes en el 2016 [560]   |   |
| Horario laboral justo<br>4                              | En el sector de la industria manufacturera en Japón, las horas reales trabajadas por semana fueron en promedio 42 horas en 2016 [560].  |   |
| Salud y seguridad en el trabajo<br>3                    | En el sector de industria manufacturera en Japón, el número de accidentes por cada 100 000 trabajadores fue de 230 en 2016, mientras que ese año el promedio para todos los sectores en Japón fue de 220 accidentes [560].  |   |
| Beneficios sociales/seguridad social<br>4               | El porcentaje de la población Japón cubierta por al menos un beneficio social fue del 75,4% en el 2015 [561].   |   |
| Transparencia en temas sociales y medioambientales<br>4 | Según el informe de KPMG del 2017, el 99% de las 100 empresas más grandes de Japón reportan los aspectos claves de la responsabilidad social corporativa [562]  |   |

|   |  |
|---|--|
| Confidencialidad con la información de los clientes 3   | Para el año 2016, Japón contaba con legislación vigente para la protección de los datos y privacidad de los consumidores en 3 áreas consideradas: comercio electrónico, delitos cibernéticos, y privacidad y protección de datos. No tenía aun legislación para la protección del consumidor [563]   |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes 5      | Japón presenta en el reporte de competitividad global del WEF, un grado de orientación al cliente de 6,2 en una escala de 1 a 7 [564]  |
| Deslocalización y migración 4                           | No hay hallazgos de deslocalización de personas o conflictos de tierras atribuibles al subsector de fabricación de autopartes en Japón.<br>Japón, a pesar de no estar en el top de los países que recibe más refugiados, es uno de los que más realiza donaciones a la Agencia de la ONU para los refugiados [916]   |
| Respeto a las tradiciones locales/patrimonio cultural 3 | El índice social de hostilidades (ISH) es considerado "moderado" en Japón [566]  |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas 3   | No se encuentran reportes de incidentes del subsector de la fabricación de autopartes en Japón frente a los derechos de las comunidades indígenas, dado que estas actividades productivas se realizan en zonas urbanas, alejadas de los territorios indígenas.   |
| Participación de la comunidad 4                         | Índice de Gobierno Abierto (IGA) de Japón en el 2015 fue de 0,72/1,00 [569]. Entre más cercano a 1,00 el gobierno es más abierto   |
| Condiciones de vida saludables y seguras 5              | En Japón el número de DALYs fue de 219 por cada 100 000 habitantes en 2012 [570]   |
| Acceso a los recursos materiales 4                      | Japón obtuvo un Índice de Vitalidad del Ecosistema (IVE) de 62,48/100,00 en el 2017 [571]  |
| Acceso a los recursos inmateriales 4                    | Japón obtuvo un índice de 27/100 en el reporte de libertad de prensa en el 2016 [572]  |
| Creación de empleo local 5                              | Japón presenta en el reporte de competitividad global del WEF, una valoración del indicador de Cantidad de Proveedores locales de 6,2 una escala de 1 a 7 [564].   |
| Contribución a la economía nacional 4                   | El valor agregado de la industria manufacturera en 2014 en Japón fue de 76 584 000 millones de yenes, empleando un total de 9 214 123 trabajadores, por lo que la productividad por trabajador fue de 8,3 millones de yenes. El valor agregado nacional fue de 284 762 000 millones de yenes con un total de 48 099 067 trabajadores, por lo que la productividad promedio nacional fue de 5,9 millones de yenes por trabajador en 2014 [917]. |
| Prevención y mitigación de conflictos armados 4         | En el Barómetro de Conflictos 2016, Japón no presenta conflictos [573]   |
| Desarrollo tecnológico 5                                | El <i>Innovation Output Sub-index</i> fue de 43,99/100,0 para Japón en el 2017, ubicándose en el puesto 20 entre 127 países [574].   |
| Corrupción 4  | El índice de percepción de corrupción en Japón fue de 72/100 en el 2016 [575].<br><i>+ El sector no es el más corrupto del continente</i>  |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad 3         | N/A  |
| Relaciones con los proveedores 3                        | N/A  |
| Competencia desleal 4                                   | Japón presenta en el reporte de competitividad global del WEF, una valoración del indicador de Efectividad de las políticas antimonopolistas de 5,5 una escala de 1 a 7 [564].<br><i>+Más de una docena de fabricantes de autopartes japoneses ha sido multados por diferentes cortes a nivel mundial por colusión para la fijación de precios, reparto de clientes y manipulación de licitaciones [918-924]</i>                               |

## Anexo G.2. Inventario de análisis genérico para el subsector de la producción de petróleo en Malasia

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <b>PROCESO: PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES</b>                   |  | <b>ACTIVIDAD: EXTRACCIÓN/PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS</b> |  |
| <b>SUBSECTOR/SECTOR: PETRÓLEO &amp; GAS/MINAS Y CANTERAS</b> |  | <b>UBICACIÓN: MALASIA</b>                                |  |
| <b>Subcategoría de impacto</b>                               | <b>Información encontrada para su indicador</b>  |  |  |
| Trabajo infantil 5   | El trabajo infantil (niños entre 5-17 años) en 2016 en Malasia se considera casi cero ya que no hay información disponible para este país en las bases de datos sobre trabajo infantil [555]<br><i>+ No está en listados de productos con riesgo de trabajo infantil [556]</i> |  |  |
| Explotación (trabajo forzado) 4                              | Malasia tiene un índice de vulnerabilidad de 38,51/100 de acuerdo con <i>The Global Slavery Index 2016</i> [557].<br><i>+ No está en listados de productos con riesgo de trabajo forzado [556]</i>   |  |  |
| Igualdad de oportunidades/discriminación 3                   | Malasia tiene un índice de Participación y oportunidades económicas de 0,654/1,00 en el <i>Global Gender Gap Report 2017</i> [558].  |  |  |

|   |  |
|---|--|
| Libertad de asociación de trabajadores 2+1=3            | La valoración de Malasia es igual a 4 en el <i>The 2017 ITUC Global Rights Index</i> [559]   |
| Salario justo 5   | Para la industria de Minas y canteras en Malasia, el salario promedio mensual en 2016 fue de 4897 ringgits [560]. El salario promedio mensual en Malasia para el 2016 fue de 2463 ringgits [560].  |
| Horario laboral justo 2                                 | En la industria de Minas y canteras en Malasia, las horas reales trabajadas por semana fueron en promedio 49 horas en 2016 [560].  |
| Salud y seguridad en el trabajo 3                       | En el sector de minería y canteras en Malasia el número de accidentes no fatales fue de 669 por cada 100 000 trabajadores durante el 2015, mientras que ese año el promedio para todos los sectores en Malasia fue de 615 accidentes [560]   |
| Beneficios sociales/seguridad social 3                  | El porcentaje de la población en Malasia cubierta por al menos un beneficio social no está especificado para el país es el reporte, aunque revisando los porcentajes de la población cubiertos por cada beneficio social de manera específica, la cobertura agregada en Malasia estaría alrededor del 50% [561].   |
| Transparencia en temas sociales y medioambientales 4    | Según el informe de KPMG del 2017, el 97% de las 100 empresas más grandes de Malasia reportan los aspectos claves de la responsabilidad social corporativa [562].  |
| Confidencialidad con la información de los clientes 4   | Para el año 2016, Malasia contaba con legislación vigente para la protección de los datos y privacidad de los consumidores en las 4 áreas consideradas: comercio electrónico, delitos cibernéticos, protección del consumidor y privacidad y protección de datos [563]   |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes 5      | Malasia presenta en el reporte de competitividad global del WEF, un grado de orientación al cliente de 5,8 en una escala de 1 a 7 [564]  |
| Deslocalización y migración 4                           | No hay hallazgos de deslocalización de personas o conflictos de tierras atribuibles al subsector de la extracción de petróleo en Malasia. Malasia uno de los países del sudeste asiático que más ha apoyado la recepción y reasentamiento de refugiados [925]  |
| Respeto a las tradiciones locales/patrimonio cultural 2 | El índice social de hostilidades (ISH) es considerado "alto" en Malasia [566]  |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas 4   | No existen reportes negativos de afectación a los derechos de las comunidades indígenas relacionados con la extracción de petróleo en Malasia. Gran parte de la explotación petrolera se encuentra en la Malasia del Este (Isla de Borneo), en donde está la mayor población indígena del país.  |
| Participación de la comunidad 3                         | Índice de Gobierno Abierto (IGA) de Malasia en el 2015 fue de 0,43/1,00 [569].   |
| Condiciones de vida saludables y seguras 3              | En Malasia, el número de DALYs fue de 751 por cada 100 000 habitantes en 2012 [570].   |
| Acceso a los recursos materiales 3                      | Malasia obtuvo un Índice de Vitalidad del Ecosistema (IVE) de 58,28/100,00 en el 2017 [571].   |
| Acceso a los recursos inmateriales 2                    | Malasia obtuvo un índice de 69/100 en el reporte de libertad de prensa en el 2016 [572]  |
| Creación de empleo local 4                              | Malasia presenta en el reporte de competitividad global del WEF, una valoración del indicador de Cantidad de Proveedores locales 5,2 una escala de 1 a 7 [564].  |
| Contribución a la economía nacional 5                   | El valor agregado de la Explotación de Minas y Canteras en 2015 fue de 103 059 millones de ringgits, empleando 82 354 trabajadores, por lo que la productividad por trabajador fue de 1 251 415 ringgits. El valor agregado nacional fue de 983 100 millones de ringgits con un total de 8 732 238 trabajadores, por lo que la productividad promedio nacional fue de 112 583 ringgits por trabajador en 2016 [926]. |
| Prevención y mitigación de conflictos armados 4         | En el Barómetro de Conflictos 2016, no se encuentran conflictos o disputas en las regiones de Malasia [573]  |
| Desarrollo tecnológico 4                                | El <i>Innovation Output Sub-index</i> fue de 34,49/100,0 para Malasia a en el 2017, ubicándose en el puesto 39 entre 127 países [574].   |
| Corrupción 3  | El índice de percepción de corrupción en Malasia fue de 49/100 en el 2016 [575].<br><i>+El sector no es el más corrupto del continente.</i>  |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad 3         | N/A  |
| Relaciones con los proveedores 3                        | N/A  |

|                          |  |
|--------------------------|--|
| Competencia desleal<br>4 | Malasia presenta en el reporte de competitividad global del WEF, una valoración del indicador de Efectividad de las políticas antimonopolistas de 4,7 en una escala de 1 a 7 [564].<br>+ No hay evidencias de prácticas de competencia desleal del subsector |
|--------------------------|--|

### **Anexo G.3. Inventario de análisis genérico para el subsector de la producción de materiales para pavimentación en Malasia**

| <b>PROCESO: CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS</b>                    |  | <b>ACTIVIDAD: PRODUCCIÓN DE MATERIALES PARA PAVIMENTACIÓN</b> |
|---|--|---|
| <b>SUBSECTOR/SECTOR: INDUSTRIAL/MANUFACTURA</b>               |  | <b>UBICACIÓN: MALASIA</b>                                     |
| <b>Subcategoría de impacto</b>                                | <b>Información encontrada para su indicador de análisis genérico</b>   |   |
| Trabajo infantil<br>5   | El trabajo infantil (niños entre 5-17 años) en 2016 en Malasia se considera casi cero ya que no hay información disponible para este país en las bases de datos sobre trabajo infantil [555]<br>+ No está en listados de productos con riesgo de trabajo infantil [556]  |   |
| Explotación (trabajo forzado)<br>4                            | Malasia tiene un índice de vulnerabilidad de 38,51/100 de acuerdo con <i>The Global Slavery Index</i> 2016 [557].<br>+ No está en listados de productos con riesgo de trabajo forzado [556]  |   |
| Igualdad de oportunidades/<br>discriminación 3                | Malasia tiene un índice de Participación y oportunidades económicas de 0,654/ 1,00, ubicado en la posición 87/144 del ranking para este subíndice del <i>Global Gender Gap Report</i> 2017 [558].  |   |
| Libertad de asociación de<br>trabajadores 2                   | La valoración de Malasia es igual a 4 en el <i>The 2017 ITUC Global Rights Index</i> [559]   |   |
| Salario justo<br>3  | Para el año 2016, el salario promedio mensual en el sector manufacturero en general fue de 2129 ringgits [560]. El salario promedio mensual en Malasia a para el 2016 fue de 2463 ringgits [560]   |   |
| Horario laboral justo<br>2                                    | En el sector manufacturero en Malasia las horas reales trabajadas por semana fueron en promedio 49 horas en 2016 [560].  |   |
| Salud y seguridad en el<br>trabajo 2                          | En el sector de manufactura en Malasia la tasa de accidentes no fatales por cada 100 000 trabajadores fue de 828 durante el 2015, mientras que ese año la tasa promedio para todos los sectores fue de 615 [560]   |   |
| Beneficios<br>sociales/seguridad social<br>3                  | El porcentaje de la población en Malasia cubierta por al menos un beneficio social no está especificado para el país es el reporte, aunque revisando los porcentajes de la población cubiertos por cada beneficio social de manera específica, la cobertura agregada en Malasia estaría alrededor del 50% [561]. |   |
| Transparencia en temas<br>sociales y medioambientales<br>4    | Según el informe de KPMG del 2017, el 97% de las 100 empresas más grandes de Malasia reportan los aspectos claves de la responsabilidad social corporativa [562].  |   |
| Confidencialidad con la<br>información de los clientes<br>4   | Malasia cuenta con legislación vigente para la protección de los datos y privacidad de los consumidores en las 4 áreas consideradas: comercio electrónico, delitos cibernéticos, protección del consumidor y privacidad y protección de datos [563]  |   |
| Mecanismos de<br>retroalimentación con los<br>clientes 5      | Malasia presenta en el reporte de competitividad global del WEF, un grado de orientación al cliente de 5,8 en una escala de 1 a 7 [564]  |   |
| Deslocalización y migración<br>4                              | No hay hallazgos de deslocalización de personas o conflictos de tierras atribuibles al subsector manufacturero en Malasia.<br>Malasia es uno de los países del sudeste asiático que más ha apoyado la recepción y reasentamiento de refugiados [925]   |   |
| Respeto a las tradiciones<br>locales/patrimonio cultural<br>2 | El índice social de hostilidades (ISH) es considerado "alto" en Malasia [566]  |   |
| Respeto a los derechos de<br>las comunidades indígenas<br>3   | No hay reportes de afectación a comunidades indígenas relacionados con el sector, ya que la mayoría de estas fábricas no se ubican cerca de sus territorios.   |   |
| Participación de la<br>comunidad 3                            | Índice de Gobierno Abierto (IGA) de Malasia en el 2015 fue de 0,43/1,00 [569].   |   |
| Condiciones de vida<br>saludables y seguras 3                 | En Malasia, el número de DALYs fue de 751 por cada 100 000 habitantes en 2012 [570].   |   |
| Acceso a los recursos<br>materiales 3                         | Malasia obtuvo un Índice de Vitalidad del Ecosistema (IVE) de 58,28/100,00 en el 2017 [571].   |   |
| Acceso a los recursos<br>inmateriales 2                       | Malasia obtuvo un índice de 69/100 en el reporte de libertad de prensa en el 2016 [572]  |   |

|  |   |
|--|---|
| Creación de empleo local<br>4                      | Malasia presenta en el reporte de competitividad global del WEF, una valoración del indicador de Cantidad de Proveedores locales 5,2 una escala de 1 a 7 [564].   |
| Contribución a la economía nacional<br>3           | El valor agregado de la industria manufacturera en 2015 fue de 257 118 millones de ringgits, empleando un total de 2 119 158 trabajadores, por lo que la productividad por trabajador fue de 121 330 ringgits. El valor agregado nacional fue de 983 100 millones de ringgits con un total de 8 732 238 trabajadores, por lo que la productividad promedio nacional fue de 112 583 ringgits por trabajador en 2016 [926]. |
| Prevención y mitigación de conflictos armados<br>4 | En el Barómetro de Conflictos 2016, no se encuentran conflictos o disputas en las regiones de Malasia [573].  |
| Desarrollo tecnológico<br>4                        | El <i>Innovation Output Sub-index</i> fue de 34,49/100,0 para Malasia a en el 2017, ubicándose en el puesto 39 entre 127 países [574].  |
| Corrupción<br>3                                    | El índice de percepción de corrupción en Malasia fue de 49/100 en el 2016 [575].<br><i>+El sector no es el más corrupto del continente</i>  |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad<br>3 | N/A   |
| Relaciones con los proveedores<br>3                | N/A   |
| Competencia desleal<br>4                           | Malasia presenta en el reporte de competitividad global del WEF, una valoración del indicador de Efectividad de las políticas antimonopolistas de 4,7 en una escala de 1 a 7 [564].<br><i>+ No hay evidencias de prácticas de competencia desleal del subsector</i>   |

#### Anexo G.4. Inventario de análisis específico para el fabricante de camiones caso Malasia

| PROCESO: VEHÍCULOS                                      |  | ACTIVIDAD: FABRICACIÓN/ENSAMBLE DE CAMIONES   |
|---|--|---|
| EMPRESA: UD TRUCKS CORPORATION                          |  | UBICACIÓN: AGEO, JAPÓN  |
| Subcategoría de impacto                                 | Código indicador   | Información encontrada  |
| Trabajo infantil<br>5+1+1=7                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-T1</li> <li>• T-T2</li> <li>• T-T3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay evidencias</li> <li>• En febrero 2016 se invitó a 96 estudiantes de secundaria a una visita en donde se ofreció la oportunidad de pensar en sus futuras carreras, explicando las diferentes profesiones que ofrece el grupo Volvo [927]. Hay un código de conducta interno basado en los principios del Pacto Mundial de la ONU y la guía para multinacionales de la OECD que incluyen la no tolerancia de prácticas de trabajo infantil en sus operaciones [928].</li> <li>• Se pide a sus proveedores directos seguir los códigos de conducta del grupo Volvo. Se realizan cuestionarios de autoevaluación a los proveedores para verificar su cumplimiento. El proceso de debida diligencia para verificar el cumplimiento de los códigos está en desarrollo y ha sido aplicado como prueba piloto a un solo país [929].</li> </ul>  |
| Explotación (trabajo forzado)<br>5+1+1=7                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-E1</li> <li>• T-E2</li> <li>• T-E3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Hay un código de conducta interno basado en las normas del Pacto Mundial de la ONU y la guía para multinacionales de la OECD que incluyen la no participación ni apoyo de prácticas de trabajo forzado en sus operaciones [928].</li> <li>• Se pide a sus proveedores directos seguir los códigos de conducta del grupo Volvo. Se realizan cuestionarios de autoevaluación a los proveedores para verificar su cumplimiento. El proceso de debida diligencia para verificar el cumplimiento de los códigos está en desarrollo y ha sido aplicado como prueba piloto a un solo país [929].</li> </ul>   |
| Igualdad de oportunidades/discriminación<br>5+1+1+1-1=7 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-I1</li> <li>• T-I2</li> <li>• T-I3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• El grupo Volvo maneja una política de Diversidad e Inclusión aplicada a todas sus fábricas [927] y se participa en el programa Diversidad e Inclusión Comunidad Japón y la Red Inclusiva de Mujeres. Se ofrecen beneficios como licencia de cuidado de niños, plan de trabajo desde casa, sistema de horas flexibles, política de respeto en el trabajo (prevención de acoso). En 2016 la proporción de mujeres, del total de 6082 empleados, fue de 13,2%. En el 2015 la proporción fue de 7,4% [927]. La proporción de mujeres en el sector manufacturero en Japón fue de 29,3% en 2016 [560].</li> <li>• Se pide a sus proveedores directos seguir los códigos de conducta del grupo Volvo. Se realizan cuestionarios de autoevaluación a los proveedores para verificar su cumplimiento. El proceso de debida diligencia para verificar el cumplimiento de los códigos está en desarrollo y ha sido aplicado como prueba piloto a un solo país [929].</li> </ul> |

|  |   |   |
|--|---|---|
| Libertad de asociación de trabajadores<br>5+1+1-1=6              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-L1</li> <li>• T-L2</li> <li>• T-L3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sí hay sindicatos. De acuerdo con el grupo Volvo, se ha reportado un total de 22 pactos colectivos, en donde se estima que aproximadamente el 72% de los empleados estaba cubiertos por estos pactos y que el 41% de empleados eran miembros de algún sindicato independiente en 2016 [929].</li> <li>• El código de conducta del grupo Volvo expresa que se debe respetar el derecho a la libre asociación de los trabajadores [930]. No se reportan las actuaciones relacionadas con los sindicatos.</li> <li>• El código de conducta se hace extensivo a proveedores. Se realizan cuestionarios de autoevaluación a los proveedores para verificar su cumplimiento [929].</li> </ul>  |
| Salario justo<br>5   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SJ1</li> <li>• T-SJ2</li> <li>• T-SJ3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los trabajadores de las ensambladoras de vehículos en Japón percibían un salario promedio de 314 000 yenes mensuales en 2015 [931], aunque este valor es el salario base promedio, al cual se le sumarian bonos que podrían doblar el salario. Este valor final no fue posible encontrarlo.</li> <li>• El salario promedio mensual en la prefectura de Saitama fue de 309 400 yenes en 2016 [932].</li> <li>• Los trabajadores del sector manufacturero en Japón percibían un salario mensual promedio de 293 800 yenes en 2015. El salario promedio en el país fue de 304 000 yenes en el 2015 [560]</li> </ul>   |
| Horario laboral justo<br>5+1+1+1=8                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-H1</li> <li>• T-H2</li> <li>• T-H3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El código de conducta del grupo Volvo expresa que se cumple con las leyes, acuerdos y estándares de la industria aplicables sobre horas de trabajo y compensaciones [930]. La legislación de Japón indica que la jornada laboral máxima es de 8 horas diarias y 40 horas semanales (hasta 44 horas en puestos de trabajo con condiciones especiales). En el sector manufacturero se trabaja en promedio 42 horas semanales [932].</li> <li>• Hay flexibilidad a través de planes de trabajo desde casa y sistemas de horas flexibles[927].</li> <li>• No determinado. La legislación en Japón indica que se deben dar al menos 4 días de descanso al mes, sin que necesariamente tengan que coincidir con el fin de semana. Sin embargo, las horas trabajadas el fin de semana deben ser pagadas al 125%, por lo que se supondría que los días libres coincidirían con el fin de semana [932].</li> </ul>  |
| Salud y seguridad en el trabajo<br>5+1=6                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SS1</li> <li>• T-SS2</li> <li>• T-SS3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se encuentran</li> <li>• En el sector de industria manufacturera en Japón, el número de accidentes por cada 100 000 trabajadores fue de 230 en 2016 [560].</li> <li>• Hay programas de identificación de riesgos como terremotos e incendios y los respectivos planes de prevención para mantener la seguridad en las plantas. La salud ocupacional es considerada como una prioridad en la planta de fabricación [927]. El código de conducta del grupo Volvo expresa la necesidad de proveer un ambiente de trabajo seguro y saludable [928,930].</li> </ul>  |
| Beneficios sociales/<br>seguridad social<br>5+1+1=7              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-B1</li> <li>• T-B2</li> <li>• T-B3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Políticas para apoyar el equilibrio trabajo-vida como permisos para el cuidado de los hijos o Licencia para el cuidado de un pariente enfermo [927].</li> <li>• No determinada.</li> <li>• Se pide a sus proveedores directos que cumplan las leyes y regulaciones del país en donde se opera [929].</li> </ul>  |
| Transparencia en temas sociales y medio-ambientales<br>5+1+1=7   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-T1</li> <li>• CL-T2</li> <li>• CL-T3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hay reportes de sostenibilidad anuales de la empresa UD Trucks [927,933] y del grupo Volvo. Certificación ISO14001, ISO9001 [927]. El código de conducta del grupo Volvo expresa que todas las empresas del grupo deben ser transparentes en sus reportes [928].</li> <li>• Se muestran las emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo de agua y energía anuales de la planta y por cada camión fabricado. Se muestra la cantidad de desechos generados y la tasa de reciclaje anual en sus plantas en Japón [927].</li> <li>• En los reportes de UD Trucks falta información relacionada con estados financieros, salarios, tasas de accidentabilidad, trato con sindicatos, entre otros temas.</li> <li>• Recomiendan a sus proveedores que tengan certificaciones como la ISO14001 o equivalente [929]</li> </ul>  |
| Confidencialidad con la información de los clientes<br>5+1+1+1=8 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-C1</li> <li>• CL-C2</li> <li>• CL-C3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se informa</li> <li>• Implementan sistema de seguridad e la información con sistemas resistentes a los terremotos que permitan la operación continua de los sistemas de seguridad. Hay medidas adicionales para evitar la fuga de información electrónica por ataques de terceros. Se sigue la política de privacidad del grupo Volvo para asegurar el manejo y protección de información personal apropiado [927].</li> <li>• No encontradas</li> </ul>   |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes<br>5+1+1+1=8    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-M1</li> <li>• CL-M2</li> <li>• CL-M3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Centro de llamadas 24 horas y 365 días del año para dar soporte en caso de fallas inesperadas de los camiones. El centro de llamadas gratuito con atención en horario de oficina que recibe quejas, opiniones y reclamos vía chat, correo, redes sociales, teléfono y encuestas de satisfacción telefónicas [927]</li> <li>• No hay índices de satisfacción de los clientes.</li> <li>• Hay retroalimentación especialmente en temas de seguridad, conociendo la forma en cómo los clientes usan los camiones y detectar posibles riesgos para ellos. Consecuentemente, se dictan seminarios en conducción segura para sus clientes. En 2016 se capacitaron 3415 personas en Japón y se hicieron encuestas después de los seminarios.</li> <li>• En 2016, se revisaron los procesos internos con el fin de proporcionar un soporte inmediato y apropiado para consultas relacionadas con problemas de vehículos. Además, los comentarios de los clientes se comparten con los departamentos pertinentes y se reflejan en la mejora del producto y otras actividades comerciales. El número total de llamadas que recibidas fue de 5930 en 2016 [927].</li> </ul> |

|  |   |   |
|--|---|---|
| Deslocalización y migración<br>5+1=6                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-D1</li> <li>• C-D2</li> <li>• C-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados. La planta lleva décadas en el mismo sitio.</li> <li>• En 2016, 227 participantes se unieron a la "Capacitación de liderazgo en diversidad e inclusión" para crear conciencia sobre la diversidad y la inclusión. Durante una semana se celebraron concursos entre empleados para expresar con fotografías el tema de diversidad, conferencias sobre personas con discapacidades, paneles de discusión sobre las diferencias en el trabajo entre países, siendo una oportunidad para empleados de varios departamentos y nacionalidades para debatir y profundizar la comprensión mutua. Se organiza una vez al año un evento social con las familias de los empleados y comunidad local, con visitas guiadas a la empresa, pruebas de conducción, comida y animación en donde se promueve la interacción de personal nuevo con otras personas fuera del ambiente laboral [927].</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Respeto a las tradiciones locales/patrimonio cultural<br>5+1=6 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RT1</li> <li>• C-RT2</li> <li>• C-RT3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• En su lema adoptan la filosofía del espíritu "Genba" como la pasión y esfuerzo para ir siempre una milla más adelante. Este lema lo han diseminado en otros países a través del reto Gemba, el cual es una competición entre equipos de mecánicos de sus sucursales.</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas 5          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RI1</li> <li>• C-RI2</li> <li>• C-RI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Participación de la comunidad 5                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-P1</li> <li>• C-P2</li> <li>• C-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Condiciones de vida saludables y seguras<br>5+1+1+1=8          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-C1</li> <li>• C-C2</li> <li>• C-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Implementación de programas de seguridad vial para reducir los accidentes relacionado con camiones, mediante seminarios en las escuelas y cursos prácticos en las instalaciones de la empresa. Patrocinio de maratones para jóvenes y adultos mayores en la ciudad [927]. En 2016 se instalaron muros más altos en el área de pruebas de vehículos de la planta para no reducir el ruido que llegaba hasta los barrios vecinos. Se amplió la capacidad de un embalse de retención de agua contra inundaciones por lluvias torrenciales que afectaban en años anteriores a la comunidad vecina [927].</li> <li>• El código de conducta del grupo Volvo, que se hace extensivo a proveedores, expresa el deber de cumplir con requisitos legales relacionados con emisiones, seguridad, materiales por partes peligrosas y ruido [928].</li> </ul>   |
| Acceso a los recursos materiales<br>5+1+1+1+1=9                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AM1</li> <li>• C-AM2</li> <li>• C-AM3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se diseñan métodos para la reducción de desperdicios en la fase de producción y en el departamento de I+D se diseña pensando en el uso eficiente de recursos. En 2016, se redujo el 99,8% del volumen de desperdicios comparado con los de 1990. También mantienen una tasa de reciclaje del 99% en toda la empresa. En 2016 Se amplió la capacidad de un embalse de retención de agua contra inundaciones por lluvias torrenciales que afectaban en años anteriores a la comunidad vecina [927]. Los vertimientos de agua diario mantienen los niveles de calidad exigidos por la autoridad ambiental de Japón. La empresa donó 5 millones de yenes para ayudar a la recuperación de las zonas afectar por el terremoto en Kumamoto en abril de 2016 y se donó ropa de trabajo para los empleados públicos de la ciudad de Ageo y la ciudad de Motomiya en Fukushima, afectada por el terremoto [927].</li> <li>• No encontrados.</li> <li>• En el código de conducta del grupo Volvo, el cual se hace extensivo a los proveedores, se expresa que los productos y procesos debe ser diseñados de tal manera que la energía, los recursos naturales y las materias primas se utilicen de manera eficiente, y los desechos y productos residuales se reducen al mínimo [930].</li> </ul>   |
| Acceso a los recursos inmateriales<br>5+1+1+1=8                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AI1</li> <li>• C-AI2</li> <li>• C-AI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizan programas de capacitación a personas de la tercera edad en el manejo de internet a través de empleados del departamento de tecnologías de la información de la empresa [927]. Hay acuerdos de colaboración con <i>the Sophia University</i>, en donde la empresa otorga becas para proyectos de investigación de los estudiantes y también cursos sobre negocios internacionales impartidos por empleados de la empresa en Japón y también cursos en el exterior en las oficinas del grupo Volvo en EE.UU. [927]. Se dan cursos de conducción segura y eficiente a los clientes [927]. Desde el 2011 en la región de Tohoku se ofrecen programas de capacitación a estudiantes sobre tecnologías de fabricación de camiones y organizan visitas los talleres de camiones para estudiantes y miembros de facultades de mantenimiento de automóviles. En noviembre 2016, se invitó a 40 estudiantes que aspiran a convertirse en mecánicos y miembros del <i>Kadan Automotive Technical College</i> a visitar diferentes instalaciones de UD Trucks. En febrero 2016 se invitó a 96 estudiantes de secundaria a una visita en donde se ofreció la oportunidad de pensar en sus futuras carreras, explicando las diferentes profesiones que ofrece el grupo Volvo. Atención de visitas guiadas en la planta también a clientes, familia de los empleados y a la comunidad</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul> |
| Creación de empleo local<br>5                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-CE1</li> <li>• C-CE2</li> <li>• C-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrado</li> <li>• No encontrado</li> <li>• No encontrado</li> </ul>   |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <p>Contribución a la economía nacional<br/>5+1+1=7</p>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-CE1</li> <li>• S-CE2</li> <li>• S-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El valor agregado del subsector de la fabricación de vehículos fue de 16 764 156 millones de yenes empleando 980 505 trabajadores, por lo que la productividad por trabajador fue de 17,1 millones de yenes [917] en 2014.</li> <li>• El valor agregado del sector manufacturero en 2014 fue de 76 584 000 millones de yenes, empleando un total de 9 214 123 trabajadores, por lo que la productividad por trabajador fue de 8,3 millones de yenes [917].</li> <li>• No determinado</li> </ul>   |
| <p>Prevención y mitigación de conflictos armados<br/>5+1=6</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-P1</li> <li>• S-P2</li> <li>• S-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados. No se opera en zonas de conflicto.</li> <li>• Dado que algunos materiales usados en la planta se extraen de zonas en conflicto, existe la preocupación internacional de que la compra de esas regiones pueda financiar grupos armados locales y perpetúe la guerra. Por esto, el Grupo Volvo comenzó un proyecto piloto en 2016 para confirmar el uso de minerales de zonas en conflicto en los productos de la compañía. Como resultado, no se encontró uso de minerales conflictivos en los motores examinados [927].</li> <li>• No hay códigos de conducta aun, pero se inició el proyecto piloto verificar la presencia de financiación de grupos de armados por los proveedores de países en conflicto.</li> </ul>   |
| <p>Desarrollo tecnológico<br/>5+1+1+1+1=10</p>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-D1</li> <li>• S-D2</li> <li>• S-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuenta con departamento de I+D. Se ha innovado y aplicado avances tecnológicos para la reducción de consumo de combustible de los camiones fabricados. Han sido los primeros en implementar en sus camiones el sistema de advertencia de distancia entre vehículos (<i>Traffic Eye</i>; la transmisión controlada electrónicamente "ESCOT"; y el camión insignia <i>Quon</i> equipado con el primer sistema SCR de urea del mundo [927]. Se capacita también al personal técnico de sus distribuidores autorizados en el manejo de las tecnologías y herramientas de reparación y mantenimiento de los camiones [927]. El grupo Volvo invirtió en I+D 14 631 millones de coronas suecas en 2016, que corresponden al 20% de la utilidad bruta del año anterior [929].</li> <li>• No encontrado.</li> <li>• Hay alianzas con <i>Sophia University</i> y universidades extranjeras para el apoyo de proyectos de investigación [927]</li> </ul> |
| <p>Corrupción<br/>5+1+1+1=8</p>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-C1</li> <li>• S-C2</li> <li>• S-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Los empleados son capacitados y concienciados en leyes y regulaciones sobre actos de corrupción y el código de conducta del grupo Volvo [930]. También implementan sistemas de denuncia y auditoría para permitir que los casos sospechosos de incumplimiento sean reportados y tomar las acciones correctivas apropiadas [927].</li> <li>• El código de conducta se hace extensivo a los proveedores [930].</li> </ul>   |
| <p>Compromiso público en temas de sostenibilidad<br/>5+1+1=7</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-C1</li> <li>• A-C2</li> <li>• A-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El grupo Volvo se propuso una meta en 2011 de reducir para el año 2014 las emisiones de CO<sub>2</sub> cerca del 12% de las cifras de 2008, meta que superó en 2013 cuando ya había reducido el 20%. Por lo que en 2015 se propusieron para 2020 reducir un 8% adicional de los valores de 2013. De manera adicional, UD Trucks se propuso reducir para 2013 el 39% de las emisiones de CO<sub>2</sub> de 1990, alcanzando una reducción de 60,7% [927]. Estas metas se han propuesto motivados por su participación como miembros del <i>Energy Saving Promotion Council</i> en Japón y de la iniciativa de reducción de GEI del <i>WWF</i>.</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| <p>Relaciones con los proveedores<br/>5+1=6</p>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-R1</li> <li>• A-R2</li> <li>• A-R3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Se motiva a que los proveedores se certifiquen en normas de calidad ambiental y cumplan los códigos de conducta del grupo Volvo y acuerdos como el <i>UN Global Compact</i>.</li> <li>• No determinada</li> </ul>   |
| <p>Competencia desleal<br/>5+1+1-1=6</p>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-CD1</li> <li>• A-CD2</li> <li>• A-CD3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El código de conducta del grupo Volvo incluye el compromiso de competir de manera justa y con integridad, sin compartir información o entrar en acuerdos con competidores, clientes o proveedores que afecten el libre mercado [930].</li> <li>• El grupo Volvo, junto con otros fabricantes de camiones, fue multado por 494 millones de euros, por la comisión antimonopolio de la UE, por colusión para la fijación de precios durante 14 años [934].</li> <li>• El código de conducta se hace extensivo a los proveedores [930].</li> </ul>   |

### **Anexo G.5. Inventario de análisis específico para la refinación y distribución de combustibles en Malasia**

| <b>PROCESO: COMBUSTIBLES</b>                              |   | <b>ACTIVIDAD: REFINACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES</b>  |
|---|---|--|
| <b>EMPRESA: PETRON MALAYSIA</b>                           |   | <b>UBICACIÓN: KUALA LUMPUR, MALASIA</b>  |
| <b>Subcategoría de impacto</b>                            | <b>Código indicador</b>   | <b>Información encontrada</b>  |
| Trabajo infantil<br>5+1+1=7                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-T1</li> <li>• T-T2</li> <li>• T-T3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrado.</li> <li>• Programa <i>back-to-School</i>, que en el 2016 con ayuda voluntaria de empleados de Petron donaron sets escolares y uniformes a estudiantes de bajos recursos de 12 escuelas en Seremban y Port Dickson [935]. En 2015, la empresa donó ordenadores y un año de servicio de internet valorado en 50 000 ringgits a 10 escuelas afectadas por inundaciones en Kelantan [936].</li> <li>• Están establecidos por Petron Corp. los términos y condiciones generales para la contratación de proveedores entre los que se encuentra la prevención del trabajo infantil [937]</li> </ul>   |
| Explotación (trabajo forzado)<br>5+1=6                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-E1</li> <li>• T-E2</li> <li>• T-E3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> <li>• Están establecidos por Petron Corp. los términos y condiciones generales para la contratación de proveedores entre los que se encuentra la prevención de la explotación y acoso laboral [937].</li> </ul>   |
| Igualdad de oportunidades/<br>discriminación<br>5+1+1-1=6 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-I1</li> <li>• T-I2</li> <li>• T-I3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Hay una política de igualdad de oportunidades en la contratación de personal, asignación de actividades, promoción, salario, etc [938]. En 2015 la proporción de mujeres en la empresa era de 28% [936].</li> <li>La proporción de mujeres en el manufacturero en Malasia fue del 38% en 2015 [560].</li> <li>• Política anti-discriminación que se hace extensiva a proveedores [937].</li> </ul>  |
| Libertad de asociación de<br>trabajadores<br>5+1+1-1=6    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-L1</li> <li>• T-L2</li> <li>• T-L3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La Compañía tiene pactos colectivos con dos sindicatos en Malasia: (1) el sindicato Nacional de trabajadores de la industria del petróleo y química; y (2) el Sindicato de Trabajadores de la Industria del Petróleo de Sabah. Aprox. el 27% de los empleados de la empresa en Malasia estaban cubiertos por estos pactos en 2016. La Compañía no ha experimentado huelgas o paros laborales por más de 20 años. La empresa considera que su relación con sus empleados es buena [633]</li> <li>• No encontrado</li> <li>• Están establecidos por Petron Corp. los términos y condiciones generales para la contratación de proveedores entre los que se encuentra la libertad de asociación. Petron Corp. establece como política el compromiso de identificar en la cadena de valor y en sus principales proveedores aspectos que puedan poner en riesgo la libertad de asociación y el derecho a la negociación colectiva [937]</li> </ul> |
| Salario justo<br>5+1+1+1+1+1= 10                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SJ1</li> <li>• T-SJ2</li> <li>• T-SJ3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En el año 2016, el salario promedio mensual en el subsector del petróleo y gas fue de 13 310 ringgits [926]. De manera similar en Petron Malaysia, el salario estaría alrededor de esa cifra (gasto anual en salarios 55 298 000 ringgits/315 empleados) [935]. Se dan beneficios extras como ordenador, créditos monetarios para emergencias e incentivos por buen desempeño [633].</li> <li>• El salario promedio mensual en el estado de Negeri Sembilan en 2016 fue de 2461 ringgits (estado de la refinería de Port Dickson). En Kuala Lumpur el promedio mensual fue de 3620 ringgits [939].</li> <li>• Para la industria de Minas y canteras en Malasia, el salario promedio mensual en 2016 fue de 4897 ringgits y en la industria manufacturera en general fue de 2129 ringgits. El salario promedio mensual en Malasia a para el 2016 fue de 2463 ringgits [560].</li> </ul>  |
| Horario laboral<br>justo<br>5-1=4                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-H1</li> <li>• T-H2</li> <li>• T-H3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En el sector manufacturero en Malasia las horas reales trabajadas por semana fueron en promedio 49 horas en 2016 [560].</li> <li>• No determinada</li> <li>• De acuerdo con la Ley de Empleo 1955 en Malasia, los trabajadores tienen derecho a un día libre de descanso por cada semana de trabajo, pero no establece que deban ser los fines de semana o que las horas de trabajo los fines de semana se deban pagar con recargos [940]. Por esto, es indiferente para los empresarios otorgar el día libre el fin de semana o entre semana.</li> </ul>   |
| Salud y seguridad<br>en el trabajo<br>5+1+1+1=8           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SS1</li> <li>• T-SS2</li> <li>• T-SS3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La empresa informa que se ha mantenido por 13 años la cifra de cero tiempo perdido por lesiones de los trabajadores, reflejando la impecable seguridad de la refinería [936]</li> <li>• En Malasia el número promedio de accidentes no fatales por cada 100 000 trabajadores en el sector manufacturero fue de 828 en 2015 [560]</li> <li>• Se obtuvo el sello de oro en los premios de Salud y Seguridad Ocupacional MSOSH 2015, por excelentes lugares de trabajo y prácticas de seguridad, para siete de las terminales en Malasia. Tienen el programa <i>Loss Prevention System</i> que ayuda a reforzar los estrictos protocolos de seguridad de la refinería [935].</li> </ul>  |
| Beneficios<br>sociales/<br>seguridad social<br>5+1+1+1=8  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-B1</li> <li>• T-B2</li> <li>• T-B3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se otorgan todos los beneficios y prestaciones por ley. Se dan beneficios extras como seguro de vida [633]</li> <li>• La antigüedad promedio de los empleados de la Compañía es 13 años [633].</li> <li>• Se busca que los proveedores cumplan con las leyes del país de operación referentes a los derechos de los trabajadores [937]</li> </ul>   |

|  |   |   |
|--|---|---|
| <p>Transparencia en temas sociales y medio-ambientales<br/>5+1=6</p>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-T1</li> <li>• CL-T2</li> <li>• CL-T3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La empresa publica anualmente reportes de operación en donde se incluye un apartado de sostenibilidad desde 2012 con la marca Petron y desde 1999 con la marca Esso [675]. No hay un reporte de sostenibilidad exclusivo, pero planean publicarlo a partir de 2018. La casa matriz (Petron Corp. Filipinas) si reportaba un reporte de sostenibilidad exclusivo desde 2008, pero el ultimo publicado fue el de 2012 [937] el cual no incluye resultados para las plantas en Malasia. Los reportes al no ser exclusivos sobre sostenibilidad, les falta mucha información relevante en los aspectos medioambientales y sociales.</li> <li>• No reportados</li> <li>• No encontrado</li> </ul>   |
| <p>Confidencialidad con la información de los clientes<br/>5+1+1=7</p>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-C1</li> <li>• CL-C2</li> <li>• CL-C3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se comunica en la página web de Petron Malaysia la política de tratamiento de datos personales en idioma inglés y en malayo [675]</li> <li>• La política de confidencialidad de la empresa aplica al tratamiento de información de los clientes [938]. Políticas de seguridad y de uso de las tecnologías de la información en la empresa para evitar la fuga o uso indebido de información confidencial [938]</li> <li>• No encontradas</li> </ul>  |
| <p>Mecanismos de retroalimentación con los clientes<br/>5+1+1=7</p>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-M1</li> <li>• CL-M2</li> <li>• CL-M3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Línea de contacto local y línea gratuita nacional de atención al cliente, correo electrónico y redes sociales publicados en su página web [675].</li> <li>• No encontrados</li> <li>• Hay una política explícita que indica la relevancia que siempre se le da a los requerimientos de los clientes [938]</li> </ul>   |
| <p>Deslocalización y migración<br/>5+1=6</p>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-D1</li> <li>• C-D2</li> <li>• C-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Se realizan actividades de voluntariado en donde los empleados se relacionan con la comunidad realizando visitas a hospitales infantiles y eventos de donación de elementos escolares a estudiantes de bajos recursos [935].</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| <p>Respeto a las tradiciones locales/patrimonio o cultural<br/>5+1+1=7</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RT1</li> <li>• C-RT2</li> <li>• C-RT3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• En la política de integridad ética y de negocios se especifica que las tradiciones locales en cada sitio de operación se deben respetar y darles el reconocimiento que merecen [938]. En el concurso <i>Vision Petron Malaysia National Student Art Competition</i> se premia el talento de jóvenes que expresan las tradiciones y culturas locales a través de pinturas, música, videos o fotografía [935].</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| <p>Respeto a los derechos de las comunidades indígenas<br/>5+1=6</p>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RI1</li> <li>• C-RI2</li> <li>• C-RI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Petron tiene una política sobre el empleo de minorías culturales y pueblos indígenas [937].</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| <p>Participación de la comunidad<br/>5+1=6</p>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-P1</li> <li>• C-P2</li> <li>• C-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontradas</li> <li>• No encontradas</li> <li>• La empresa y sus empleados han apoyado económicamente iniciativas en la comunidad en centros de cuidado para discapacitados y programas de educación para niños con necesidades especiales. También actividades voluntarias en orfanatos, antiguas casas populares, así como hogares para personas con discapacidad de las comunidades aledañas a las plantas [935]</li> </ul>   |
| <p>Condiciones de vida saludables y seguras<br/>5+1+1=7</p>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-C1</li> <li>• C-C2</li> <li>• C-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Se implementó el programa <i>United Against Crime</i>, para mejorar la seguridad del personal con el acompañamiento de la policía malaya, aplicado también a las estaciones de servicio para garantizar la seguridad de los clientes. También se implementó el programa de seguridad vial en donde se capacitó a 1600 estudiantes universitarios en conducción defensiva. También se capacitó a estudiantes de escuelas en seguridad vial y se realizaron 2500 inspecciones vehiculares gratuitas a los clientes en las estaciones de servicio [935]</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| <p>Acceso a los recursos materiales<br/>5+1+1+1+1=9</p>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AM1</li> <li>• C-AM2</li> <li>• C-AM3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se tienen programas internos de reducción de emisiones, desechos, consumo energético y agua, en donde se redujo en 2016 el consumo de agua en 30 000 metros cúbicos. Entre 2015 y 2016 con el ayuntamiento de Kuantan se plantaron 1500 árboles endémicos y se ayudó con la limpieza del río Cherating [935]. En el primer año de operación de las plantas por Petron, se redujeron en un 30% las emisiones de CO<sub>2</sub> y las emisiones de NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> en 368 toneladas respecto a 2011. En 2013, Petron participó en el programa de embellecimiento de las zonas aledañas a la empresa en Sandakan, Sabah, mejorando infraestructura como la rotonda en Karamunting.</li> <li>• No encontrados</li> <li>• Están establecidos por Petron Corp. los términos y condiciones generales para la contratación de proveedores entre los que se encuentra el uso eficiente y seguro de los recursos que no afecten la salud y medioambiente de la comunidad [937].</li> </ul> |

|  |   |   |
|--|---|---|
| Acceso a los recursos inmateriales<br>5+1+1=7          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AI1</li> <li>• C-AI2</li> <li>• C-AI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se implementó el programa de seguridad vial en donde se capacitó a 1600 estudiantes universitarios en conducción, con la participación de <i>Honda Malaysia</i> y <i>Goodyear</i>. También se capacitó a estudiantes de escuelas en seguridad vial [935]. Se promueve el arte, deportes y otras actividades extracurriculares en escuelas de la región mediante concursos y premios patrocinados por la empresa, en donde premian a más de 600 estudiantes y profesores cada año [935].</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Creación de empleo local<br>5+1=6                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-CE1</li> <li>• C-CE2</li> <li>• C-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La empresa tiene la política <i>Malaysians First</i>. Desde la adquirió en 2012 del negocio a <i>Exxonmobil</i>, la empresa ha contratado más de 500 nuevos empleados malayos [935].</li> <li>• No encontrado</li> <li>• No determinado</li> </ul>   |
| Contribución a la economía nacional<br>5+1+1+1=8       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-CE1</li> <li>• S-CE2</li> <li>• S-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El valor agregado de Petron Malaysia en 2015 fue de 533,6 millones de ringgits con una nómina de 303 trabajadores, es decir una productividad por trabajador de 1,76 millones de ringgits [936].</li> <li>• El valor agregado de la industria manufacturera en 2015 fue de 257 118 millones de ringgits, empleando un total de 2 119 158 trabajadores, por lo que la productividad por trabajador fue de 121 330 ringgits [926].</li> <li>• No determinado</li> </ul>  |
| Prevención y mitigación de conflictos armados 5        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-P1</li> <li>• S-P2</li> <li>• S-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Desarrollo tecnológico<br>5+1+1+1=8                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-D1</li> <li>• S-D2</li> <li>• S-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En 2015 se invirtieron 65 millones de pesos filipinos, es decir, el 0,33% de la utilidad bruta del año anterior [633,941]. Cuentan con un centro de investigación y pruebas de combustibles. En 2016 se desarrolló el combustible <i>Blaze 100RON Euro 4M</i> (primera compañía en producirlo en Malasia) y el <i>Turbo Diesel Euro 5</i> para proporcionar un mejor desempeño del motor y menores emisiones [935]. La refinería se ha actualizado cada año para aumentar la eficiencia y se planea expandir la refinería para doblar la producción de barriles diarios [935].</li> <li>• No encontradas.</li> <li>• Convenios de con la Universidad Putra Malasia para proyectos de investigación en seguridad vial [935]. Se proporciona capacitación técnica para mantener actualizados a los clientes internos y externos en las últimas tendencias tecnológicas en la industria [633].</li> </ul> |
| Corrupción<br>5+1+1=7                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-C1</li> <li>• S-C2</li> <li>• S-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Existe una política explícita anti-corrupción aplicada a los empleados y directivos de la empresa [938]. Los empleados pueden denunciar anónimamente cualquier acto indebido en la empresa. Se ha desarrollado un sistema integral de control interno diseñado para administrar los riesgos a los que la compañía está expuesta, incluidas posibles actos de corrupción.</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad<br>5+1=6 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-C1</li> <li>• A-C2</li> <li>• A-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La empresa, en su reporte anual de operaciones, se proyecta empezar a publicar un reporte exclusivo de sostenibilidad anual a partir de 2018 [935].</li> <li>• No determinados</li> <li>• No determinados</li> </ul>   |
| Relaciones con los proveedores<br>5                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-R1</li> <li>• A-R2</li> <li>• A-R3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Se promueve que los proveedores sigan los códigos de ética de Petron Malasia. Hay políticas de desarrollo de proveedores en Petron Corp Filipinas, pero no se encuentran en Petron Malasia.</li> <li>• No determinada</li> </ul>   |
| Competencia desleal<br>5+1=6                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-CD1</li> <li>• A-CD2</li> <li>• A-CD3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Existe una política de competencia justa, que indica de manera general que la empresa no incurrirá en malas prácticas de competencia y que los empleados no deben aprovecharse de información privilegiada para competir deslealmente ni compartir información de la empresa que pueda afectar el libre mercado y a los clientes [938].</li> <li>• En refinación, Petron Malasia tiene una cuota de mercado del 20% [942], mientras que en distribución minorista, su cuota de mercado es alrededor del 15% [943], tercero después de Petronas y Shell.</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |

**Anexo G.6. Inventario de análisis específico para el constructor de las carreteras caso Malasia**

| <b>PROCESO: INFRAESTRUCTURA</b><br><b>EMPRESA: PLUS MALAYSIA BHD (PMB)</b> |   | <b>ACTIVIDAD: CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS</b><br><b>UBICACIÓN: PETALING JAYA, MALASIA</b>   |
|--|---|--|
| Subcategoría de impacto  | Código indicador  | Información encontrada   |
| Trabajo infantil<br>5+1+1+1+1=9  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-T1</li> <li>• T-T2</li> <li>• T-T3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• La empresa PMB, invirtió en 2015 y 2016 cerca de 3,3 millones de ringgits en útiles escolares y uniformes, beneficiando a 18 000 estudiantes de primaria y secundaria de familias de bajos recursos con el programa <i>Back-to-School</i>. Se apoya también a niños de zonas rurales y urbanas a no abandonar la escuela con clases de recuperación, tutorías, charlas motivacionales, ejercicios de creación de equipos de trabajo, clases de educación financiera y actividades extracurriculares [678].</li> <li>• Entre los requerimientos medioambientales y sociales de los proveedores, contratistas y subcontratistas de la empresa se exige que los trabajadores se contraten de acuerdo con las leyes labores de Malasia, que incluye la prohibición de trabajo infantil, y se realizan auditorias para verificar su cumplimiento [678].</li> </ul>   |
| Explotación (trabajo forzado)<br>5+1+1+1=8                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-E1</li> <li>• T-E2</li> <li>• T-E3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• La empresa manifiesta que se busca siempre unas prácticas y condiciones de trabajo decentes para sus trabajadores [678].</li> <li>• Se espera que los proveedores cumplan con los valores seguidos por las empresas del grupo UEM y cumplan con las leyes nacionales, entre las que se encuentran la prohibición de trabajo forzado, y se realizan auditorias para verificar su cumplimiento [678].</li> </ul>  |
| Igualdad de oportunidades/<br>discriminación<br>5+1+1+1-1=7                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-I1</li> <li>• T-I2</li> <li>• T-I3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Se tiene una política de diversidad y no discriminación. El porcentaje de mujeres en el grupo UEM fue de 37% en 2016, de 40% en el 2015 y de 41% en 2014 [678,944]. El porcentaje de mujeres en el sector de la construcción en Malasia fue del 9% en 2016 [560].</li> <li>• Se espera que los proveedores cumplan con los valores seguidos por las empresas del grupo UEM, entre las que se encuentran las prácticas discriminatorias, y se realizan auditorias para verificar su cumplimiento [678]</li> </ul>  |
| Libertad de asociación de<br>trabajadores<br>5+1=6                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-L1</li> <li>• T-L2</li> <li>• T-L3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cerca del 77,9% de los 4600 empleados que tenía la empresa PMB en el 2012 estaban vinculados a dos sindicatos internos [945]. Para el año 2013 y 2014 la cifra permanecía constante en 3691 empleados vinculados a los sindicatos [944].</li> <li>• No se reportan específicamente cuales de los beneficios que tienen actualmente los empleados han sido logrados a través de peticiones del sindicato. En los reportes del grupo UEM desde el 2012 no se hace mención a temas relacionados con los sindicatos o pactos colectivos [678,944].</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Salario justo<br>5+1=6   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SJ1</li> <li>• T-SJ2</li> <li>• T-SJ3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El salario promedio mensual en la empresa PMB o en el grupo UEM no fue posible obtener. El salario promedio en el subsector de la construcción de obras civiles en Malasia era alrededor de 1940 ringgits en 2015 [946].</li> <li>• La empresa otorga beneficios como el financiamiento del 70% de las matrículas de grados o posgrados de los empleados y becas de apoyo para la educación universitaria de los hijos de los empleados (en 2015 y 2016 se beneficiaron 650 estudiantes) y centros de desarrollo infantil para el cuidado de los hijos pequeños (de 3 a 6 años) de los empleados. Se otorgan bonos y premios por buen desempeño [678]</li> <li>• El salario promedio del estado de Selangor (estado en donde se encuentra Petaling Jaya) fue de 2853 ringgits al mes en 2015. Aunque, como Petaling Jaya se encuentra en el área metropolitana de Kuala Lumpur, el promedio mensual sería de 3386 ringgits. Sin embargo, como los trabajadores de la empresa se encuentran dispersados por los proyectos en las carreteras que cruzan todo el país, se debería comparar con el salario promedio nacional de 2312 ringgits [939].</li> <li>• En el sector de la construcción en Malasia, el salario promedio mensual en 2015 fue de 1897 ringgits [939]</li> </ul> |
| Horario laboral<br>justo<br>5+1+1-1=6                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-H1</li> <li>• T-H2</li> <li>• T-H3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se encuentran datos para la empresa. En el sector de la construcción en Malasia el promedio de horas trabajadas por semana es de 47 horas [560].</li> <li>• Desarrollan programas de flexibilidad laboral para que los trabajadores puedan disfrutar más tiempo en sus actividades personales y familiares [678].</li> <li>• De acuerdo con la Ley de Empleo 1955 en Malasia, los trabajadores tienen derecho a un día libre de descanso por cada semana de trabajo, pero no establece que deban ser los fines de semana o que las horas de trabajo los fines de semana se deban pagar con recargos [940]. Por esto, es indiferente para los empresarios otorgar el día libre el fin de semana o entre semana.</li> </ul>  |
| Salud y seguridad<br>en el trabajo<br>5+1-1=5                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SS1</li> <li>• T-SS2</li> <li>• T-SS3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El número de accidentes fue de 241 en 2015 y 175 en 2016, es decir, un promedio por cada 100 000 trabajadores de 1704 en 2015 y de 1440 en 2016 [947].</li> <li>• En Malasia el número promedio de accidentes no fatales por cada 100 000 trabajadores en el sector de la construcción fue de 1032 en 2015 [560].</li> <li>• Políticas y programas de seguridad y salud ocupacional. Se implementan diferentes programas de salud y seguridad en las operaciones para empleados, familiares y comunidades. En 2016 se elaboró el plan maestro HSE con metas para el 2020 de llegar a cero accidentes ocupacionales y medioambientales [678].</li> </ul>   |

|  |   |   |
|--|---|---|
| Beneficios sociales/<br>seguridad social<br>5+1+1+1+1=9          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-B1</li> <li>• T-B2</li> <li>• T-B3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se otorgan beneficios extralegales como seguro de vida y accidentes, desarrollo de habilidades y cualificaciones de los empleados [678].</li> <li>• Con los programas de desarrollo de empleados, financiando el 70% de las matrículas de los posgrados universitarios de los empleados se busca la retención del personal en la empresa [678]. La rotación de personal en 2014 fue de 7,9% [944].</li> <li>• Entre los requerimientos medioambientales y sociales de los proveedores, contratistas y subcontratistas de la empresa se exige que los trabajadores tengan los beneficios de seguridad social exigidos legalmente. Se realizan auditorias para verificar su cumplimiento [678]</li> </ul>  |
| Transparencia en temas sociales y medio-ambientales<br>5+1-1-1=4 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-T1</li> <li>• CL-T2</li> <li>• CL-T3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La empresa PMB no presenta reportes anuales de sostenibilidad ni generales. En su lugar, el Grupo UEM al que pertenece PMB, presenta los resultados consolidados y algunos individuales de las empresas pertenecientes al grupo, en reportes de sostenibilidad anuales desde 2011 y reportes bianuales desde 2013 [947]. No se presentan resultados financieros para la empresa PMB para los últimos años en su página web. No se presentan aspectos relacionados con salarios o sindicatos.</li> <li>• La información de emisiones y consumos y a nivel general del grupo empresarial UEM. La empresa está certificada desde con la norma ISO9001, ISO14001, OHSAS 18001 [678]</li> <li>• No encontrado</li> </ul>  |
| Confidencialidad con la información de los clientes<br>5+1+1=7   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-C1</li> <li>• CL-C2</li> <li>• CL-C3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La política de privacidad y de tratamiento de datos personales es comunicada debidamente en la página web de la empresa [677].</li> <li>• En el código de conducta interno se requiere la confidencialidad con información de la empresa y de los clientes por parte de los empleados y la empresa se adhirió a la Ley de protección de datos personales que entró en vigor en 2014 [678].</li> <li>• No encontrados. La empresa reporta que no se han presentado incidentes o quejas relacionados con la afectación a la privacidad de la información de los clientes o pérdida de su información [678].</li> </ul>   |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes<br>5+1+1+1+1=10 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-M1</li> <li>• CL-M2</li> <li>• CL-M3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Línea de contacto local y línea gratuita nacional de atención al cliente, correo electrónico y redes sociales, sección de preguntas frecuentes y formulario de contacto a través de su página web [677].</li> <li>• En la encuesta de satisfacción de clientes de 2016 la empresa obtuvo un índice de 81,8%, mejorando el índice de 2015 de 81% [678]</li> <li>• Cada año con base en las encuestas se toman medidas para mejorar la seguridad y satisfacción de los clientes.</li> </ul>  |
| Deslocalización y migración<br>5+1+1=7                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-D1</li> <li>• C-D2</li> <li>• C-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Cada año se realiza el Día de la Comunidad, en donde más de 1000 empleados de la empresa participan como voluntarios en actividades de apoyo a la comunidad en temas medioambientales, mejoramiento de infraestructura, atención a desastres naturales, etc [678], en donde los trabajadores pueden integrarse con la comunidad. Durante 2016, un total de 906 voluntarios del Grupo UEM trabajaron en el comité de atención de desastres naturales, colaborando con mano de obra y suministros de socorro y provisiones para las víctimas en los centros de alivio de inundaciones. Estas actividades también sirven de apoyo a la posible migración generada por la destrucción de sus hogares en los desastres naturales.</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Respeto a las tradiciones y patrimonio cultural<br>5+1+1+1=8     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RT1</li> <li>• C-RT2</li> <li>• C-RT3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• El Grupo UEM invierte en la restauración de centros religiosos como mezquitas, centros y escuelas religiosas. Anualmente, la empresa organiza programas de caridad durante <i>Ramadhan</i>, financiando las festividades tradicionales como <i>el Hari Raya Aidilfitri</i> o la entrega del <i>Duit raya</i> a cerca de 1000 personas de bajos recursos. PMB entregó en 2016 un total de 12 000 kits de <i>bubur lambuk</i> a los usuarios de las carreteras en los peajes [678].</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas<br>5+1+1=7   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RI1</li> <li>• C-RI2</li> <li>• C-RI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desde el 2014 se está desarrollando el programa de desarrollo de proveedores de Bumiputera para desarrollar empresarios en la Comunidad en la comunidad comercial e Industrial de Bumiputera, Este programa fue diseñado para desarrollar las habilidades de los miembros de esta comunidad indígena para permitirles producir y no simplemente actuar como agentes o distribuidores. También se promueve y se da prioridad a los miembros de las comunidades indígenas <i>Orang Asli</i> para trabajar en los centros de descanso de viajeros en carretera, en donde en forma autónoma las personas pueden alquilar un local comercial a precios bajos para vender sus productos alimenticios y de medicina natural, creando más de 5500 empleos. Se invierten también recursos por más de un millón de ringgits anuales en programas de educación y salud para las comunidades indígenas [678].</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul> |
| Participación de la comunidad<br>5+1+1=7                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-P1</li> <li>• C-P2</li> <li>• C-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La participación de la comunidad, reportada por la empresa, es básicamente unidireccional, es decir, la empresa y sus empleados se involucran y participan en actividades con la comunidad [678].</li> <li>• No encontrados</li> <li>• Se apoyan un gran número de iniciativas educativas, medioambientales, deportivas y eventos sociales en general para las comunidades vecinas a los proyectos [678].</li> </ul>   |

|   |   |  |
|---|---|--|
| <p>Condiciones de vida saludables y seguras<br/>5+1+1=7</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-C1</li> <li>• C-C2</li> <li>• C-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se ha encontrado que la concentración de NO<sub>2</sub> en el aire en lugares cerca a áreas de construcción/mantenimiento de la autovía era de 44,2 ppb [948], mucho mayor que en los lugares en donde no hay operaciones de construcción. Aunque estos valores se encuentran dentro de los rangos aceptables de calidad del aire [949]. No encontrados durante la construcción de la carretera. Muchos accidentes de usuarios de la carretera a causa objetos en su superficie son responsabilidad de la empresa operadora, la cual debe mantener la carretera en óptimas condiciones. En junio de 2017 una corte en Malasia ordenó a PMB a indemnizar a la esposa de una víctima fatal de accidente en motocicleta ocurrido en 2015 [950]. También hay gran cantidad de peatones fallecidos por accidentes en esta carretera. Sin embargo, esta responsabilidad se asignaría a las actividades de mantenimiento y operación de la carretera y no a la construcción de la misma.</li> <li>• Desde 2009, PMB ha implementado la iniciativa por la seguridad vial <i>Malaysians Unite For Road Safety</i> en escuelas secundarias [678].</li> <li>• Los proveedores y especialmente los contratistas deben adjuntar un Plan de cumplimiento de seguridad, salud y medio ambiente y Procedimientos de respuesta ante emergencias, y se realizan auditorias para verificar su cumplimiento [678].</li> </ul> |
| <p>Acceso a los recursos materiales<br/>5+1+1+1=8</p>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AM1</li> <li>• C-AM2</li> <li>• C-AM3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En el año 2016, la empresa redujo las emisiones de CO<sub>2</sub> del uso de hidrocarburos en un 13%, respecto al año anterior. Aunque se incrementaron las emisiones de CO<sub>2</sub> por el uso de electricidad comprada en un 16%. El consumo de agua aumentó en un 5% en el año 2016 a pesar de implementar sistemas de recolección de aguas lluvias. Por otro lado, la generación de residuos permaneció constante entre el 2015 y 2016. El Grupo UEM donó mano de obra, equipos y suministros de socorro y 2,3 millones de ringgits para afrontar las crisis comunitarias por desastres naturales en 2016 en Malasia [678]. En 2016, el grupo UEM, con una inversión de 1,06 millones de ringgits, desarrollo un programa de restauración de un orfanato, centros de adultos mayores y escuelas religiosas, beneficiando a 3200 personas [678].</li> <li>• No encontrados</li> <li>• A los proveedores, contratistas y subcontratistas de la empresa se les exigen una serie de requerimientos medioambientales y sociales, mediante un Plan de cumplimiento de seguridad, salud y medio ambiente, y se realizan auditorias para verificar su cumplimiento [678].</li> </ul>   |
| <p>Acceso a los recursos inmateriales<br/>5+1+1=7</p>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AI1</li> <li>• C-AI2</li> <li>• C-AI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La empresa realiza inversiones anuales por más de un millón de ringgits en programas educativos, becas de estudios en universidades públicas y programas de salud para las comunidades. Se apoya también a los profesores con cursos de mejoramiento de idiomas para enseñarle a sus estudiantes, programa que en 2015 benefició a 15 000 estudiantes. PMB invirtió en el periodo de 2015 a 2017 cerca de 300 000 ringgits en el <i>PINTAR School Adoption Programme</i>, adoptando 3 escuelas primarias y 3 secundarias, dando diferentes cursos motivacionales y en temas como Buenos hábitos en el manejo del dinero, creación de riqueza y hábitos inteligentes de compra. También el grupo UEM otorga becas para estudiar grados y postgrados en ingenierías en universidades de alto prestigio a nivel internacional. En total, en 2016, el grupo invirtió en programas educativos para la comunidad 18,4 millones de ringgits. Se promueve la participación de los empleados en las decisiones de los directivos de la empresa [678].</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| <p>Creación de empleo local<br/>5+1+1+1+1=9</p>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-CE1</li> <li>• C-CE2</li> <li>• C-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se tiene una política de contratación local, de las comunidades más cercanas a los proyectos [678]</li> <li>• La empresa afirma que se esfuerza para crear valor compartido con las comunidades centrándose en el abastecimiento local, la transferencia de conocimiento y el diálogo cercano con los proveedores [678].</li> <li>• Más del 99% de los empleados son contratados local/nacionalmente [678]</li> </ul>   |
| <p>Contribución a la economía nacional<br/>5+1+1+1=8</p>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-CE1</li> <li>• S-CE2</li> <li>• S-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La utilidad operativa del Grupo UEM en 2014 fue de 3893,3 millones de ringgits, con una nómina de 15 000 trabajadores [944], es decir, una productividad por trabajador de 259 553 ringgits.</li> <li>• El valor agregado del sector de la construcción fue de 63 200 millones de ringgits en 2015, con 1 290 474 trabajadores, por lo que la productividad por trabajador fue de 48 974 ringgits [926].</li> <li>• No determinado</li> </ul>   |
| <p>Prevención y mitigación de conflictos armados<br/>5</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-P1</li> <li>• S-P2</li> <li>• S-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| <p>Desarrollo tecnológico<br/>5+1+1=7</p>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-D1</li> <li>• S-D2</li> <li>• S-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay reportes.</li> <li>• No encontrados.</li> <li>• La empresa tiene diferentes convenios con universidades del país permiten que ambas partes exploren la cooperación y la colaboración potenciales en materia de responsabilidad corporativa, investigación y desarrollo, empleabilidad de los graduados y pasantías estudiantiles [678]. La empresa afirma que se esfuerza para crear valor compartido con las comunidades en la transferencia de conocimiento y el diálogo cercano con los proveedores [678].</li> </ul>   |

|  |   |  |
|--|---|--|
| Corrupción<br>5+1+1+1+1=9                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-C1</li> <li>• S-C2</li> <li>• S-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados.</li> <li>• El grupo UEM rechaza todas las formas de corrupción y no tolera comportamientos no éticos de sus trabajadores. Acciones disciplinarias son tomadas en contra de cualquier empleado hallado en cualquier situación que incumpla los requerimientos éticos de la empresa. Tienen también implementada la <i>Whistle Blower Policy</i>, con la cual los empleados pueden denunciar cualquier sospecha de comportamiento no éticos en la empresa [678]. El grupo UEM se ha comprometido públicamente con la Comisión Anticorrupción de Malasia firmando el <i>Corruption-Free Pledge</i> y han organizado eventos como el <i>Act Against Corruption</i> [944].</li> <li>• Se espera que los proveedores cumplan con los valores seguidos por las empresas del grupo UEM, entre las que se encuentran el rechazo a las prácticas de corrupción, y se realizan auditorías para verificar su cumplimiento [678]</li> </ul>  |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad<br>5+1-1=5 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-C1</li> <li>• A-C2</li> <li>• A-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En 2016 se elaboró el plan maestro HSE con metas para el 2020 de llegar a cero accidentes ocupacionales y medioambientales [678]. Las empresas del grupo UEM apoyan el desarrollo del <i>Malaysian Carbon Reduction and Environmental Sustainability Tool (MyCREST)</i> y el <i>Corruption-Free Pledge</i>.</li> <li>• No han datos recientes en sobre el valor agregado/utilidad bruta de la empresa para comparar la tasa de inversiones en temas de sostenibilidad. Sin embargo, durante el 2014 se redujeron los gastos sociales de 40,2 a 26,2 millones de ringgits. En el mismo periodo aumentaron los gastos en medioambiente de 7,8 a 15 millones de ringgits [944].</li> <li>• No se presentan metas de reducción de desechos y emisiones o de consumos energéticos y de agua, ya que cada año han aumentado o se han mantenido constantes, lo cual podría deberse a un aumento en las operaciones, pero no coincidiría con la reducción de la nómina a 12 149 trabajadores en 2016 después de estar compuesta por 15 000 trabajadores en 2014 [678,944].</li> </ul> |
| Relaciones con los proveedores<br>5                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-R1</li> <li>• A-R2</li> <li>• A-R3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• La empresa afirma que se esfuerza para crear valor compartido con las comunidades centrándose en el abastecimiento local, la transferencia de conocimiento y el diálogo cercano con los proveedores [678].</li> <li>• No determinada</li> </ul>   |
| Competencia desleal<br>5+1=6                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-CD1</li> <li>• A-CD2</li> <li>• A-CD3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El grupo UEM manifiesta el compromiso de actuar con ética y transparencia en todos sus negocios.</li> <li>• La empresa reporta que no se han presentado incidentes o quejas relacionados con la realización de prácticas monopolísticas y otras de competencia desleal [678]. Cuota de mercado no determinada.</li> <li>• No encontradas</li> </ul>   |

### Anexo G.7. Inventario de análisis específico para la empresa de transporte caso Malasia

| PROCESO: OPERACIÓN DE VEHÍCULOS<br>EMPRESA: PRIMA TRANSPORT & TRADING |   | ACTIVIDAD: TRANSPORTE DE MERCANCÍAS POR CARRETERA<br>UBICACIÓN: SERI KEMBANGAN, MALASIA   |
|---|---|---|
| Subcategoría de impacto   | Código indicador  | Información encontrada  |
| Trabajo infantil<br>5   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-T1</li> <li>• T-T2</li> <li>• T-T3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrado</li> <li>• No encontrado</li> <li>• No encontrado</li> </ul>   |
| Explotación (trabajo forzado)<br>5                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-E1</li> <li>• T-E2</li> <li>• T-E3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrado</li> <li>• No encontrado</li> <li>• No encontrado</li> </ul>   |
| Igualdad de oportunidades/<br>discriminación<br>5-1= 4                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-I1</li> <li>• T-I2</li> <li>• T-I3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrado</li> <li>• No hay mujeres. La tasa de mujeres en el sector del transporte en Malasia fue del 14% en el 2016 [560]</li> <li>• No encontrado</li> </ul>  |
| Libertad de asociación de<br>trabajadores 5                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-L1</li> <li>• T-L2</li> <li>• T-L3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay</li> <li>• No encontrado, por ser una empresa pequeña los empleados negocian directamente con gerente y dueño</li> <li>• No encontrado</li> </ul>   |
| Salario justo<br>5-1-1+1=4  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SJ1</li> <li>• T-SJ2</li> <li>• T-SJ3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El salario promedio mensual fue de 2000 ringgits en el 2016. Se da un bono de 500 ringgits en la fecha de festividades del empleado.</li> <li>• El salario promedio del estado de Selangor (estado en donde se encuentra Seri Kembangan) fue de 2972 ringgits al mes en 2016. Aunque, como Seri Kembangan se encuentra en el área metropolitana de Kuala Lumpur, el promedio mensual se podría comparar con el promedio de 3620 ringgits [939]</li> <li>• El salario promedio mensual en el país fue de 2463 ringgits y en el sector del transporte fue de 2550 ringgits el 2016 [939].</li> </ul> |

|   |   |   |
|---|---|---|
| Horario laboral justo<br>5+1+1+1-1=7                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-H1</li> <li>• T-H2</li> <li>• T-H3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En promedio trabajan 42 horas a la semana. Aunque hay algunos días que los conductores trabajan hasta 12 horas continuas para el recorrido de larga distancia, pero al día siguiente se les da día de descanso.</li> <li>• Alta flexibilidad que se negocia semanal o diariamente con el gerente.</li> <li>• Siempre se da el domingo libre para todos los empleados y algunos sábados.</li> </ul> |
| Salud y seguridad en el trabajo<br>5-1=4                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SS1</li> <li>• T-SS2</li> <li>• T-SS3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay un reporte, pero se afirma que es muy bajo. En 2015-2016 no se reportaron accidentes ni enfermedades laborales.</li> <li>• En el sector del transporte en Malasia el número de accidentes por cada 100 000 trabajadores fue de 808 en 2015 [560]</li> <li>• Una vez al año se realiza de capacitación a todos los empleados.</li> </ul>   |
| Beneficios sociales/seguridad social<br>5+1=6                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-B1</li> <li>• T-B2</li> <li>• T-B3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se otorgan los obligatorios por ley en Malasia (seguro de salud, pensiones, cesantías, bajas por enfermedad, etc.)</li> <li>• Hay buena estabilidad, normalmente la rotación de personal es por renuncia voluntaria del trabajador</li> <li>• No hay</li> </ul>  |
| Transparencia en temas sociales y medioambientales<br>5-1-1=3 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-T1</li> <li>• CL-T2</li> <li>• CL-T3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay reportes.</li> <li>• No hay página web y no se comunican los impactos de sus operaciones, por su desconocimiento.</li> <li>• No hay</li> </ul>  |
| Confidencialidad con la información de los clientes<br>5+1=6  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-C1</li> <li>• CL-C2</li> <li>• CL-C3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se informa sobre las políticas de tratamiento de datos personales</li> <li>• No hay</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes<br>5+1+1=7   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-M1</li> <li>• CL-M2</li> <li>• CL-M3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se reciben llamadas de quejas y reclamos directamente con el gerente, o por email con el dueño.</li> <li>• No hay</li> <li>• Es muy importante, tiene mucho peso en las decisiones a corto, mediano y largo plazo de la empresa.</li> </ul>  |
| Deslocalización y migración<br>5                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-D1</li> <li>• C-D2</li> <li>• C-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay</li> <li>• No hay</li> <li>• No hay</li> </ul>  |
| Respeto a las tradiciones y patrimonio cultural<br>5+1+1=7    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RT1</li> <li>• C-RT2</li> <li>• C-RT3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay</li> <li>• Se respeta las creencias y tradiciones de los empleados, se dan días libres por cualquier celebración de relacionada con su religión. La empresa se adapta a estas tradiciones y se dan incentivos monetarios y no monetarios para mantener la tradición.</li> <li>• No hay</li> </ul>   |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas<br>5      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RI1</li> <li>• C-RI2</li> <li>• C-RI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No hay</li> </ul>  |
| Participación de la comunidad<br>5+1=6                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-P1</li> <li>• C-P2</li> <li>• C-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay evidencia</li> <li>• No hay evidencia</li> <li>• Se apoya a fundaciones de adultos mayores con dinero y actividades voluntarias de los empleados.</li> </ul>  |
| Condiciones de vida saludables y seguras<br>5+1=6             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-C1</li> <li>• C-C2</li> <li>• C-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay reportes. La zona de operación es industrial.</li> <li>• Se controla la liberación de emisiones cerca de los restaurantes y áreas de oficinas de la zona.</li> <li>• No hay</li> </ul>  |
| Acceso a los recursos materiales<br>5                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AM1</li> <li>• C-AM2</li> <li>• C-AM3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontradas</li> <li>• No hay evidencia</li> <li>• No hay</li> </ul>  |
| Acceso a los recursos inmateriales<br>5                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AI1</li> <li>• C-AI2</li> <li>• C-AI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay</li> <li>• No hay evidencia</li> <li>• No hay</li> </ul>  |
| Creación de empleo local<br>5+1+1+1=8                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-CE1</li> <li>• C-CE2</li> <li>• C-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay políticas establecidas, pero los directivos demuestran preferencia por la contratación de trabajadores locales.</li> <li>• No hay políticas establecidas, los directivos informan que no hay preferencias en la compra local/nacional frente a lo importado</li> <li>• 100% locales</li> </ul>  |
| Contribución a la economía nacional<br>5                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-CE1</li> <li>• S-CE2</li> <li>• S-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No determinado (confidencial).</li> <li>• El valor agregado del sector del Transporte y almacenamiento fue de 43 700 millones de ringgits en 2016, empleado 411 273 trabajadores, por lo que la productividad por trabajador fue de 106 255 ringgits [926].</li> <li>• Los proveedores son nacionales, aunque la mayor parte de los productos son de fabricación extranjera</li> </ul>             |

|   |   |  |
|---|---|--|
| Prevención y mitigación de conflictos armados 5 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-P1</li> <li>• S-P2</li> <li>• S-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados.</li> <li>• No hay</li> <li>• No hay</li> </ul>  |
| Desarrollo tecnológico 5-1-1=3                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-D1</li> <li>• S-D2</li> <li>• S-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• La flota de camiones tiene en promedio 12 años de antigüedad</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Corrupción 5+1+1=7                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-C1</li> <li>• S-C2</li> <li>• S-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Se concienza a los empleados acerca de no promover la corrupción. En caso de multas de tráfico se pide no sobornar y llevar la multa a gerencia para su respectivo pago.</li> <li>• No hay</li> </ul> |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad 5 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-C1</li> <li>• A-C2</li> <li>• A-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay metas o planes relacionados con sostenibilidad.</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Relaciones con los proveedores 5+1=6            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-R1</li> <li>• A-R2</li> <li>• A-R3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontradas</li> <li>• No encontrados</li> <li>• 7 años</li> </ul>   |
| Competencia desleal 5                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-CD1</li> <li>• A-CD2</li> <li>• A-CD3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay.</li> <li>• No encontrados. Es muy baja.</li> <li>• No hay</li> </ul>  |

## Anexos H: Inventario de indicadores de análisis genérico y específico para los sectores y empresas identificadas en el ASCV caso a estudio en España

### Anexo H.1. Inventario de análisis genérico (Nivel 1+) para el subsector de la construcción de carreteras en España

| <b>PROCESO: CONSTRUCCIÓN INFRAESTRUCTURA</b>         |   | <b>ACTIVIDAD: CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS</b> |
|--|---|--|
| <b>SECTOR: CONSTRUCCIÓN</b>                          |   | <b>UBICACIÓN: ESPAÑA</b>                     |
| <b>Subcategoría de impacto</b>                       | <b>Información encontrada para su indicador</b>   |  |
| Trabajo infantil 5                                   | No hay datos, no ocurre en este sector en España<br>+ <i>El sector no está en listados de productos con riesgo de trabajo infantil</i> [556]  |  |
| Explotación (trabajo forzado) 4                      | España tiene un índice de vulnerabilidad de 24,16/100 de acuerdo con The Global Slavery Index 2016 [557].<br>+ <i>El sector no está en listados de productos con riesgo de trabajo forzado</i> [556]  |  |
| Igualdad de oportunidades/discriminación 3-1=2       | España tiene un índice de Participación y oportunidades económicas de 0,657/1,00, ubicado en la posición 81/144 del ranking para este subíndice del Global Gender Gap Report 2017 [558].<br>+ <i>En el 2016, en el sector de la construcción en España, el 7,91% de los trabajadores eran mujeres. Mientras que la proporción de mujeres trabajadoras en el país era del 45,5%</i> [560].               |  |
| Libertad de asociación de trabajadores 4             | La valoración de España en The 2017 ITUC Global Rights Index es de 2 [559]<br>+ <i>No se encuentran. Por lo general, en el sector de la construcción, como en todos los sectores en España, dependiendo de la cantidad de empleados, cada empresa debe tener un número determinado de representantes sindicales. De esta manera, los derechos de los trabajadores son respetados regularmente</i> [951] |  |
| Salario justo 3                                      | El salario promedio en el país fue de 1894 euros y en el sector de la construcción fue de 1840 euros en el 2015 [560].  |  |
| Horario laboral justo 5                              | El promedio de horas reales trabajadas en el sector de la construcción fue de 39 horas en el 2016 [560]   |  |
| Salud y seguridad en el trabajo 1                    | El número de accidentes por cada 100 000 trabajadores en el sector de la construcción fue de 6771 en 2015, mientras que esta cifra a nivel nacional fue de 3241 [560]   |  |
| Beneficios sociales/seguridad social 5-1=4           | El porcentaje de la población en España cubierta por al menos un beneficio social fue del 80,9% en el 2015 [561].<br>+ <i>El porcentaje de la economía sumergida en España es cercano al 18,2% y en el sector de la construcción del 29%</i> [952]  |  |
| Transparencia en temas sociales y medioambientales 3 | Según el informe de KPMG del 2017, el 87% de las 100 empresas más grandes de España reportan los aspectos claves de la responsabilidad social corporativa [562].  |  |

|   |  |
|---|--|
| Confidencialidad con la información de los clientes 4   | Para el año 2016, España contaba con legislación vigente para la protección de los datos y privacidad de los consumidores en las 4 áreas consideradas: comercio electrónico, delitos cibernéticos, protección del consumidor y privacidad y protección de datos [563]  |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes 4      | España presenta en el reporte de competitividad global del WEF de 2016, un grado de orientación al cliente de 4,9 en una escala de 1 a 7 [564].  |
| Deslocalización y migración 3                           | No hay reportes de afectación negativas importantes a familias por la construcción de carreteras en España en los últimos años.<br>En cuanto a la acogida de refugiados, España se encuentra entre los estados con mayor tasa de incumplimiento en la cuota de recepción [953].  |
| Respeto a las tradiciones locales/patrimonio cultural 3 | El índice social de hostilidades (ISH) es considerado “moderado” en España [566]   |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas 3   | No aplica  |
| Participación de la comunidad 4                         | Índice de Gobierno Abierto (IGA) de España en el 2015 fue de 0,62/1,00 [569].  |
| Condiciones de vida saludables y seguras 5              | En España el número de DALYs fue de 162 por cada 100 000 habitantes en 2012 [570].<br>+ La construcción de las carreteras puede generar contaminación atmosférica, especialmente de material particulado, desestabilización de terrenos y principalmente la generación de ruido que afecta la salud de las comunidades, los cuales tratan de ser mitigados [954]   |
| Acceso a los recursos materiales 4                      | España obtuvo un Índice de Vitalidad del Ecosistema (IVE) de 67,85/100,00 en el 2017 [571].<br>+ No encontrados  |
| Acceso a los recursos inmateriales 4                    | España obtuvo un índice de 28/100 en el reporte de libertad de prensa en el 2016 [572].  |
| Creación de empleo local 4                              | España presenta en el reporte de competitividad global del WEF 2016, una valoración del indicador de Cantidad de Proveedores locales de 5,0 una escala de 1 a 7 [564].<br>+La proporción de trabajadores extranjeros en el sector de la construcción en España en 2015 fue de 9,7%, mientras que la proporción en todo el país fue de 6,6% [955,956]   |
| Contribución a la economía nacional 3                   | El valor añadido bruto por ocupado en el sector de la construcción en España en 2016 fue de 56 100 euros, mientras que el promedio en el país fue de 64 100 euros [957].   |
| Prevención y mitigación de conflictos armados 4         | En el Barómetro de Conflictos 2016, España solo ha presentado un nivel 3 de intensidad de conflictos en País Vasco [573]. Ninguno conflicto asociado a la operación del subsector.   |
| Desarrollo tecnológico 4                                | El <i>Innovation Output Sub-index</i> fue de 40,34/100,0 para España en el 2017, ubicándose en el puesto 26 entre 127 países [574].  |
| Corrupción 3  | El índice de percepción de corrupción en España fue de 58/100 en el 2016 [575].<br>+ El sector de la infraestructura es el segundo sector más corrupto tanto en Europa [784]   |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad 3+1=4     | Las 5 empresas más grandes del subsector de la Construcción de carreteras y autopistas en España en 2016 fueron FCC Construcción S.A., Dragados S.A, SACYR Construcción SAU, Vías y Construcciones S.A. y Puentes y Calzadas Infraestructuras S.L [958]. Sin embargo, entre los principales contratistas de obras con el Estado español entre 2009 y 2015 fueron [959]: Grupo ACS, Acciona, FCC Construcción S.A, Grupo Ferrovial y SACYR Construcción SAU. De estas empresas, 4 presentan compromisos o metas concretos con cifras objetivo para los próximos años [960-964]. |
| Relaciones con los proveedores 3                        | N/A  |
| Competencia desleal 3                                   | España presenta en el reporte de competitividad global del WEF 2016, una valoración del indicador de Efectividad de las políticas antimonopolistas de 4,1 una escala de 1 a 7 [564].<br>+ Las principales empresas constructoras en España (Grupo ACS, FCC, Sacyr) y Ferrovial( han sido multadas por colusión en contratos de gestión de residuos y saneamiento urbano [965,966], por lo que también se está investigando por la posible cartelización en los contratos de infraestructura vial [967]   |

## Anexo H.2. Inventario de análisis genérico para el subsector de fabricación de autopartes en Suecia

|  |  |
|--|--|
| <b>PROCESO:</b> FABRICACIÓN DE VEHÍCULOS | <b>ACTIVIDAD:</b> FABRICACIÓN COMPONENTES PARA VEHÍCULOS   |
| <b>SECTOR:</b> AUTOPARTES                | <b>UBICACIÓN:</b> SUECIA   |
| <b>Subcategoría de impacto</b>           | <b>Información encontrada para su indicador</b>  |
| Trabajo infantil 5                       | El trabajo infantil (niños entre 5-17 años) en 2016 en Suecia se considera casi cero ya que no hay información disponible para este país en las bases de datos sobre trabajo infantil [555]<br>+ No está en listados de productos con riesgo de trabajo infantil [556] |

|   |  |
|---|--|
| Explotación (trabajo forzado) 4                         | Suecia tiene un índice de vulnerabilidad de 22,63/100 de acuerdo con <i>The Global Slavery Index 2016</i> [557].<br>+ <i>No está en listados de productos con riesgo de trabajo forzado</i> [556]  |
| Igualdad de oportunidades/discriminación 4              | Suecia tiene un índice de Participación y oportunidades económicas de 0,809/ 1,00, ubicado en la posición 114/144 del ranking para este subíndice del <i>Global Gender Gap Report 2017</i> [558].  |
| Libertad de asociación de trabajadores 5                | La valoración de Suecia es igual a 1 en el <i>The 2017 ITUC Global Rights Index</i> [559]  |
| Salario justo 3   | El salario promedio mensual de la industria manufacturera en Suecia fue de 33 757 SEK [560] y el promedio del país fue de 29 800 SEK [968] en 2012.  |
| Horario laboral justo 5                                 | En el sector de la industria manufacturera en Suecia, las horas reales trabajadas por semana fueron en promedio 38 horas en 2016 [560].  |
| Salud y seguridad en el trabajo 1                       | En el sector de industria manufacturera en Suecia, el número de accidentes por cada 100 000 trabajadores fue de 1179 en 2016, mientras que ese año el promedio para todos los sectores fue de 710 accidentes [560].  |
| Beneficios sociales/seguridad social 5                  | El porcentaje de la población Suecia cubierta por al menos un beneficio social fue del 100% en el 2015 [561].  |
| Transparencia en temas sociales y medioambientales 3    | Según el informe de KPMG del 2017, el 88% de las 100 empresas más grandes de Suecia reportan los aspectos claves de la responsabilidad social corporativa [562]  |
| Confidencialidad con la información de los clientes 4   | Para el año 2016, Suecia contaba con legislación vigente para la protección de los datos y privacidad de los consumidores en las 4 áreas consideradas: comercio electrónico, delitos cibernéticos, privacidad y protección de datos y protección del consumidor [563]  |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes 5      | Suecia presenta en el reporte de competitividad global del WEF 2016, un grado de orientación al cliente de 6,0 en una escala de 1 a 7 [564]  |
| Deslocalización y migración 5                           | No hay hallazgos de deslocalización de personas o conflictos de tierras atribuibles al subsector de fabricación de autopartes en Suecia.<br>Suecia ha sido uno de los países que más acepta refugiados por número de habitantes y uno de los que más realiza donaciones a la Agencia de la ONU para los refugiados [916,925]   |
| Respeto a las tradiciones locales/patrimonio cultural 3 | El índice social de hostilidades (ISH) es considerado "moderado" en Suecia [566]   |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas 3   | No se encuentran reportes de incidentes del subsector de la fabricación de autopartes en Suecia frente a los derechos de las comunidades indígenas. La población nativa que habita en el país no se encuentra cerca de las áreas de operación de la industria.   |
| Participación de la comunidad 5                         | Índice de Gobierno Abierto (IGA) de Suecia en el 2015 fue de 0,81/1,00 [569].  |
| Condiciones de vida saludables y seguras 5              | En Suecia el número de DALYs fue de 3 por cada 100 000 habitantes en 2012 [570]  |
| Acceso a los recursos materiales 4                      | Suecia obtuvo un Índice de Vitalidad del Ecosistema (IVE) de 71,24/100,00 en el 2017 [571]   |
| Acceso a los recursos inmateriales 4                    | Suecia obtuvo un índice de 11/100 en el reporte de libertad de prensa en el 2016 [572]   |
| Creación de empleo local 4                              | Suecia presenta en el reporte de competitividad global del WEF 2016, una valoración del indicador de Cantidad de Proveedores locales de 4,6 una escala de 1 a 7 [564].   |
| Contribución a la economía nacional 3                   | El valor agregado del subsector de la fabricación de autopartes en 2016 en Suecia fue de 13 695 millones de SEK, empleando un total de 17 781 trabajadores, por lo que la productividad por trabajador fue de 770 204 SEK [968]. El valor agregado de todos los sectores en Suecia en 2016 fue de 2 387 420 millones de SEK, empleando 2 816 500 personas, por lo que la productividad fue de 847 654 SEK [968]. |
| Prevención y mitigación de conflictos armados 4         | En el Barómetro de Conflictos 2016, Suecia presenta conflictos nivel 3 en algunas ciudades por temas de xenofobia, no asociados a actividades económicas [573]   |
| Desarrollo tecnológico 5                                | El <i>Innovation Output Sub-index</i> fue de 57,92/100,0 para Suecia en el 2017, ubicándose en el puesto 3 entre 127 países [574].   |
| Corrupción 5  | El índice de percepción de corrupción en Suecia fue de 88/100 en el 2016 [575].<br>+ <i>El sector no es el más corrupto del continente</i>   |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad 3         | N/A  |

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Relaciones con los proveedores 3 | N/A   |
| Competencia desleal 1+1*=2       | Suecia presenta en el reporte de competitividad global del WEF 216, una valoración del indicador de Efectividad de las políticas antimonopolistas de 5,6 una escala de 1 a 7 [564].<br>+ Uno de los proveedores de autopartes suecos de Scania, la empresa SKF, fue multada por cartelización en la fijación de precios con otras empresas alemanas y japoneses [969] |

### Anexo H.3. Inventario de análisis genérico para el subsector de la producción de petróleo en Nigeria

| <b>PROCESO: PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES</b> <b>ACTIVIDAD: EXTRACCIÓN/PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS</b><br><b>SECTOR: PETRÓLEO &amp; GAS</b> <b>UBICACIÓN: NIGERIA</b> |  |
|--|--|
| Subcategoría de impacto  | Información encontrada para su indicador   |
| Trabajo infantil 1+1*=2  | El trabajo infantil en 2016 en Nigeria fue del 25% [555]<br>+ No está en listados de productos con riesgo de trabajo infantil [556]  |
| Explotación (trabajo forzado) 2+1*=3   | Nigeria tiene un índice de vulnerabilidad de 62,34/100 de acuerdo con <i>The Global Slavery Index 2016</i> [557]<br>+ No está en listados de productos con riesgo de trabajo forzado [556]   |
| Igualdad de oportunidades/ discriminación 3  | Nigeria tiene un índice de Participación y oportunidades económicas de 0,728/ 1,00, ubicado en la posición 37/144 del ranking para este subíndice del <i>Global Gender Gap Report 2017</i> [558].  |
| Libertad de asociación de trabajadores 1+1*=2  | La valoración de Nigeria es igual a 5 en el <i>The 2017 ITUC Global Rights Index</i> [559]   |
| Salario justo 5  | Para la industria de petróleo, gas, minas y energía en Nigeria el salario promedio mensual en 2016 fue de 889 438 NGN, mientras que el salario promedio mensual en el país fue de 514 941 NGN [970]  |
| Horario laboral justo 2  | En la industria de Minas y canteras en Nigeria, las horas reales trabajadas por semana fueron en promedio 49 horas en 2013 [560].  |
| Salud y seguridad en el trabajo 3  | Datos no disponibles para Nigeria [560].   |
| Beneficios sociales/seguridad social 1+1*=2  | El porcentaje de la población en Nigeria cubierta por al menos un beneficio social fue del 4,4% en 2015 [561].   |
| Transparencia en temas sociales y medioambientales 3   | Según el informe de KPMG del 2017, el 88% de las 100 empresas más grandes de Nigeria reportan los aspectos claves de la responsabilidad social corporativa [562].  |
| Confidencialidad con la información de los clientes 1  | Para el año 2016, Nigeria contaba con legislación vigente contra los delitos cibernéticos (1 de 4 áreas) [563]   |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes 3   | Nigeria presenta en el reporte de competitividad global del WEF 2016, un grado de orientación al cliente de 3,9 en una escala de 1 a 7 [564]   |
| Deslocalización y migración 1  | En 2015 la cifra de desplazados internos ascendía 2,1 millones de personas en Nigeria [565], muchos de ellos asociados a conflictos y contaminación generados por la explotación de petróleo en la región del Delta del río Níger [760,971].               |
| Respeto a las tradiciones locales/patrimonio cultural 1  | El índice social de hostilidades (ISH) es considerado "muy alto" en Nigeria [566]  |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas 1+1*=2   | Hay reiteradas denuncias de la afectación al medioambiente y a los derechos de los indígenas Ogonis en la región del Delta del río Níger, cuya responsabilidad se ha atribuido a las compañías petroleras en complicidad de las fuerzas públicas [972-974] |
| Participación de la comunidad 3  | Índice de Gobierno Abierto (IGA) de Nigeria en el 2015 fue de 0,46/1,00 [569].   |
| Condiciones de vida saludables y seguras 1   | En Nigeria, el número de DALYs fue de 1620 por cada 100 000 habitantes en 2012 [570].  |
| Acceso a los recursos materiales 4   | Nigeria obtuvo un Índice de Vitalidad del Ecosistema (IVE) de 66,84/100,00 en el 2017 [571].   |
| Acceso a los recursos inmateriales 3   | Nigeria obtuvo un índice de 51/100 en el reporte de libertad de prensa en el 2016 [572]  |
| Creación de empleo local 4   | Nigeria presenta en el reporte de competitividad global del WEF 2016, una valoración del indicador de Cantidad de Proveedores locales 4,7 una escala de 1 a 7 [564].   |

|   |   |
|---|---|
| Contribución a la economía nacional 5           | El valor agregado de la industria en Nigeria en 2015 fue de 19 189 billones de NGN, empleando 9 111 048 personas [975], por lo que la productividad fue de 2 106 124 NGN<br>El valor agregado (PIB) nacional de Nigeria en 2015 fue de 94 145 billones de NGN, con un total de 76 957 923 trabajadores [976], por lo que la productividad media fue de 1 223 330 NGN. |
| Prevención y mitigación de conflictos armados 2 | En el Barómetro de Conflictos 2016, se encuentra un nivel de conflicto nivel 3 en regiones como el Delta del río Níger, entre la población vs. el gobierno y las compañías petroleras [573]   |
| Desarrollo tecnológico 1                        | El <i>Innovation Output Sub-index</i> fue de 14,90/100,0 para Nigeria a en el 2017, ubicándose en el puesto 119 entre 127 países [574].   |
| Corrupción 2+1*=3                               | El índice de percepción de corrupción en Nigeria fue de 28/100 en el 2016 [575].<br>+El sector no es el más corrupto del continente [784].  |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad 3 | N/A   |
| Relaciones con los proveedores 3                | N/A   |
| Competencia desleal 2                           | Nigeria presenta en el reporte de competitividad global del <i>WEF 2016</i> , una valoración del indicador de Efectividad de las políticas antimonopolistas de 2,8 en una escala de 1 a 7 [564].<br>+ sin evidencias  |

#### **Anexo H.4. Inventario de análisis genérico para el subsector de la producción de materiales para pavimentación en España**

| <b>PROCESO: CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS      ACTIVIDAD: PRODUCCIÓN DE MATERIALES PARA PAVIMENTACIÓN</b> |  |
|--|--|
| <b>SECTOR: INDUSTRIAL/MANUFACTURA      UBICACIÓN: ESPAÑA</b>   |  |
| <b>Subcategoría de impacto</b>   | <b>Información encontrada para su indicador</b>  |
| Trabajo infantil 5   | No hay datos, no ocurre en este sector en España<br>+ El sector no está en listados de productos con riesgo de trabajo infantil [556]  |
| Explotación (trabajo forzado) 4  | España tiene un índice de vulnerabilidad de 24,16/100 de acuerdo con The Global Slavery Index 2016 [557].<br>+ El sector no está en listados de productos con riesgo de trabajo forzado [556]  |
| Igualdad de oportunidades/ discriminación 3  | España tiene un índice de Participación y oportunidades económicas de 0,657/1,00, ubicado en la posición 81/144 del ranking para este subíndice del Global Gender Gap Report 2017 [558].   |
| Libertad de asociación de trabajadores 4   | La valoración de España en The 2017 ITUC Global Rights Index es de 2 [559]   |
| Salario justo 3  | El salario promedio en el país fue de 1894 euros y en el sector de manufacturero fue de 2199 euros en el 2015 [560].   |
| Horario laboral justo 5  | El promedio de horas reales trabajadas en el sector de la manufacturero fue de 39 horas en el 2016 [560]   |
| Salud y seguridad en el trabajo 1  | El número de accidentes por cada 100 000 trabajadores en el sector manufacturero fue de 4943 en 2015, mientras que esta cifra a nivel nacional fue de 3241 [560]   |
| Beneficios sociales/seguridad social 5   | El porcentaje de la población en España cubierta por al menos un beneficio social fue del 80,9% en el 2015 [561].  |
| Transparencia en temas sociales y medioambientales 3   | Según el informe de KPMG del 2017, el 87% de las 100 empresas más grandes de España reportan los aspectos claves de la responsabilidad social corporativa [562].   |
| Confidencialidad con la información de los clientes 4  | Para el año 2016, España contaba con legislación vigente para la protección de los datos y privacidad de los consumidores en las 4 áreas consideradas: comercio electrónico, delitos cibernéticos, protección del consumidor y privacidad y protección de datos [563]              |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes 4   | España presenta en el reporte de competitividad global del WEF de 2016, un grado de orientación al cliente de 4,9 en una escala de 1 a 7 [564].  |
| Deslocalización y migración 3  | No hay reportes de afectación negativas importantes a familias por las fábricas de cemento/hormigón en España en los últimos años.<br>En cuanto a la acogida de refugiados, España se encuentra entre los estados con mayor tasa de incumplimiento en la cuota de recepción [953]. |
| Respeto a las tradiciones locales/patrimonio cultural 3  | El índice social de hostilidades (ISH) es considerado “moderado” en España [566]   |

|   |   |
|---|---|
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas 3 | N/A   |
| Participación de la comunidad 4                       | Índice de Gobierno Abierto (IGA) de España en el 2015 fue de 0,62/1,00 [569].   |
| Condiciones de vida saludables y seguras 5            | En España el número de DALYs fue de 162 por cada 100 000 habitantes en 2012 [570].  |
| Acceso a los recursos materiales 4                    | España obtuvo un Índice de Vitalidad del Ecosistema (IVE) de 67,85/100,00 en el 2017 [571].   |
| Acceso a los recursos inmateriales 4                  | España obtuvo un índice de 28/100 en el reporte de libertad de prensa en el 2016 [572].   |
| Creación de empleo local 4                            | España presenta en el reporte de competitividad global del WEF 2016, una valoración del indicador de Cantidad de Proveedores locales de 5,0 una escala de 1 a 7 [564].  |
| Contribución a la economía nacional 3                 | El valor añadido bruto por ocupado en el sector manufacturero en España en 2016 fue de 72 900 euros, mientras que el promedio en el país fue de 64 100 euros [957].   |
| Prevención y mitigación de conflictos armados 4       | En el Barómetro de Conflictos 2016, España solo ha presentado un nivel 3 de intensidad de conflictos en País Vasco [573]. Ninguno asociado a la operación del subsector.  |
| Desarrollo tecnológico 4                              | El <i>Innovation Output Sub-index</i> fue de 40,34/100,0 para España en el 2017, ubicándose en el puesto 26 entre 127 países [574].   |
| Corrupción 3  | El índice de percepción de corrupción en España fue de 58/100 en el 2016 [575].<br>+ <i>El sector no está entre los más corruptos de Europa</i> [784]   |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad 3       | N/A   |
| Relaciones con los proveedores 3                      | N/A   |
| Competencia desleal 1                                 | España presenta en el reporte de competitividad global del WEF 2016, una valoración del indicador de Efectividad de las políticas antimonopolistas de 4,1 una escala de 1 a 7 [564]. + <i>En España fueron multadas 23 cementeras por cartelización, acordando precios y repartiendo clientes durante mas 15 años</i> [977,978] |

#### Anexo H.5. Inventario de análisis específico para el fabricante de vehículos caso España

| PROCESO: VEHÍCULOS                                    |  | ACTIVIDAD: FABRICACIÓN/ENSAMBLE DE CAMIONES   |
|---|--|---|
| EMPRESA: SCANIA AB                                    |  | UBICACIÓN: SÖDERTÄLJE, SUECIA   |
| Subcategoría de impacto                               | Código indicador   | Información encontrada  |
| Trabajo infantil<br>5+1+1=7                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-T1</li> <li>• T-T2</li> <li>• T-T3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay evidencias</li> <li>• La empresa expresa el compromiso por no utilizar trabajo infantil y a no aceptar esta práctica en su proveedores y socios [979]. Scania apoya iniciativas de educación para niños en países en desarrollo en donde tienen operaciones como en India [980].</li> <li>• Se exige a los proveedores no utilizar prácticas de trabajo infantil y les recomienda tener códigos de conducta y planes para evitar y reducir esta práctica en su cadena de valor [981]. Para el 2016 la empresa estaba implementando la auditoria a todos los nuevos proveedores y para los antiguos se estaba haciendo esta evaluación, sin reportar cifras de cantidad de proveedores auditados [980]</li> </ul>  |
| Explotación (trabajo forzado)<br>5+1+1=7              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-E1</li> <li>• T-E2</li> <li>• T-E3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• La empresa expresa el compromiso por realizar prácticas de trabajo forzado o esclavitud moderna y a no aceptar esta práctica en su proveedores y socios [979]</li> <li>• Se exige a los proveedores no utilizar prácticas de trabajo forzado y les recomienda tener códigos de conducta y planes para evitar y reducir esta práctica en su cadena de valor [981]. Para el 2016 la empresa estaba implementando la auditoria a todos los nuevos proveedores y para los antiguos se estaba haciendo esta evaluación, sin reportar cifras de cantidad de proveedores auditados [980]</li> </ul>   |
| Igualdad de oportunidades/<br>discriminación<br>5+1=6 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-I1</li> <li>• T-I2</li> <li>• T-I3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• La empresa establece en su código de conducta que rechazan la discriminación al interior de la empresa [979]. Tienen presente la política de inclusión y diversidad en la empresa. La proporción de mujeres en las plantas de Suecia fue de 21%, 20%, 20% en 2016, 2015 y 2014, respectivamente [980,982]. En el sector de la manufactura la proporción fue del 23,5% en 2016 [560].</li> <li>• Se pide a los proveedores no utilizar prácticas de ningún tipo de discriminación ni acoso a sus empleados [981]. Para el 2016 la empresa estaba implementando la auditoria a todos los nuevos proveedores y para los antiguos se estaba haciendo esta evaluación, sin reportar cifras de cantidad de proveedores auditados [980].</li> </ul> |

|   |   |  |
|---|---|--|
| Libertad de asociación de trabajadores<br>5+1+1=7                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-L1</li> <li>• T-L2</li> <li>• T-L3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un tercio de los empleados están representados por el Sindicato Sueco de trabajadores metalúrgicos y todos los empleados están cubiertos por acuerdos colectivos [167].</li> <li>• El código de conducta del Scania expresa que se debe respetar el derecho a la libre asociación de los trabajadores. No se reportan las actuaciones relacionadas con los sindicatos [979].</li> <li>• Se pide a los proveedores que respeten el derecho de los trabajadores a la libre asociación y negociación colectiva [981].</li> </ul>   |
| Salario justo<br>5  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SJ1</li> <li>• T-SJ2</li> <li>• T-SJ3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El salario mensual promedio en la industria automotriz en Suecia fue de 33 655 SEK en 2012 [983]. Se reporta un beneficio extra para los pensionistas de Scania [980].</li> <li>• En el condado de Estocolmo, en donde queda ubicada la principal planta en la ciudad de Södertälj, el salario promedio mensual fue de 33 500 en el 2012 [968]</li> <li>• El salario promedio mensual de la industria manufacturera en Suecia fue de 33 757 SEK [560] y el promedio del país fue de 29 800 SEK [968] en 2012.</li> </ul>  |
| Horario laboral justo<br>5+1+1+1=8                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-H1</li> <li>• T-H2</li> <li>• T-H3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se informa. El promedio de horas trabajadas semanalmente en el sector manufacturero en Suecia fue de 38 horas en 2016 [560].</li> <li>• No se informa</li> <li>• No determinado. La legislación sueca no establece que el día de descanso deba coincidir con el fin de semana, algo que se refleja en la encuesta europea de condiciones laborales de 2015, en donde Suecia fue el país de la UE28 en donde mayor cantidad de empleados laboran uno o más domingos al mes [984].</li> </ul>  |
| Salud y seguridad en el trabajo<br>5-1+1=5                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SS1</li> <li>• T-SS2</li> <li>• T-SS3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 12 accidentes por millón de horas trabajadas 2014 en Scania Global, lo cual equivale a 2026 accidentes por cada 100 000 trabajadores; considerando 10 500 trabajadores en Suecia [167] y un promedio de horas de trabajo al año de 1688 por trabajador en Suecia en 2014 [968].</li> <li>• En el sector de industria manufacturera en Suecia, el número de accidentes por cada 100 000 trabajadores fue de 1099 en 2014 [560].</li> <li>• Tienen programas especiales de seguridad y salud de los trabajadores, sin embargo la tasa de accidentalidad se mantenido por encima de 10 accidentes por millón de horas trabajadas en los últimos años [980]</li> </ul>  |
| Beneficios sociales/ seguridad social<br>5+1=6                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-B1</li> <li>• T-B2</li> <li>• T-B3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se otorgan los beneficios sociales básicos. Se ofrece un plan de pensiones mejor que el básico [980]</li> <li>• La tasa de rotación externa en fue de 8,5% en 2016, 8,3% en 2015, 9% en 2014, 9,5% en 2013 y &gt;10% en 2012 [167,980,982]</li> <li>• Se pide a sus proveedores directos que cumplan las leyes y regulaciones laborales del país o de la OIT [981]</li> </ul>   |
| Transparencia en temas sociales y medioambientales<br>5+1+1+1+1=9 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-T1</li> <li>• CL-T2</li> <li>• CL-T3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hay reportes de sostenibilidad anuales de la empresa de acuerdo con la guía GRI G4 [167,980,982]</li> <li>• Se muestran las emisiones de CO<sub>2</sub>, consumo de agua y energía y generación de residuos anuales de la planta y por cada vehículo fabricado [980,982]</li> <li>• Falta información más precisa en temas de salarios, sindicatos, horarios de trabajo y flexibilidad, beneficios que tienen los empleados, gastos en temas medioambientales y sociales, entre otros.</li> <li>• Recomiendan a sus proveedores que tengan personal encargado de temas de sostenibilidad e establecer metas de mejoras de indicadores de sostenibilidad [981]. Para los proveedores se pide que tengan la certificación ISO 14001.</li> </ul> |
| Confidencialidad con la información de los clientes<br>5+1+1=7    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-C1</li> <li>• CL-C2</li> <li>• CL-C3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se informa en su página la política de privacidad [985]</li> <li>• En el código de conducta de empleados se referencia de manera explícita el deber de salvaguardar la confidencialidad de la información de los clientes [979].</li> <li>• No encontradas</li> </ul>   |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes<br>5+1+1=7       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-M1</li> <li>• CL-M2</li> <li>• CL-M3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Teléfono de contacto directo con cada departamento de la empresa y formulario de contacto en la página web. Disponible en redes sociales</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No determinada</li> </ul>   |
| Deslocalización y migración<br>5+1+1=7                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-D1</li> <li>• C-D2</li> <li>• C-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados.</li> <li>• Scania ha absorbido en su nómina un alto número de inmigrantes/refugiados que han llegado a Suecia de diferentes partes del mundo, lo que confirma la aplicación de su política de inclusión y diversidad [986,987]</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Respeto a las tradiciones locales/patrimonio cultural<br>5        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RT1</li> <li>• C-RT2</li> <li>• C-RT3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas<br>5          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RI1</li> <li>• C-RI2</li> <li>• C-RI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |

|  |   |  |
|--|---|--|
| Participación de la comunidad<br>5+1=6                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-P1</li> <li>• C-P2</li> <li>• C-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> <li>• La empresa apoya equipos deportivos locales de la ciudad de Södertälje [167]. La empresa apoya iniciativas de salud y educación en otros países fuera de Europa en donde han identificado necesidades en las que pueden aportar.</li> </ul>   |
| Condiciones de vida saludables y seguras 5               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-C1</li> <li>• C-C2</li> <li>• C-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Acceso a los recursos materiales<br>5+1=6                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AM1</li> <li>• C-AM2</li> <li>• C-AM3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se diseñan métodos para la reducción de desperdicios, agua y energía utilizada y emisiones de CO<sub>2</sub> por vehículo fabricado, consiguiendo reducir estas cifras ligeramente cada año [980]</li> <li>• No encontrados.</li> <li>• En el código de conducta se estable los proveedores deben realizar sus operaciones de manera responsable con el medio ambiente, reduciendo el uso de recursos y utilizando las mejores alternativas para un impacto ambiental menor [981]</li> </ul>  |
| Acceso a los recursos inmateriales<br>5+1=6              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AI1</li> <li>• C-AI2</li> <li>• C-AI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Scania administra una escuela secundaria en Södertälje en donde ofrece educación técnica de alta calidad enfocada a la preparación vocacional del estudiante o para la preparación para el ingreso a la universidad [980]</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Creación de empleo local<br>5-1-1=3                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-CE1</li> <li>• C-CE2</li> <li>• C-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrado</li> <li>• No encontrado</li> <li>• En la planta principal de Södertälje, el 55% de los trabajadores son locales [980].</li> </ul>  |
| Contribución a la economía nacional<br>5+1=6             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-CE1</li> <li>• S-CE2</li> <li>• S-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El valor agregado del Sub sector de la fabricación de vehículos a motor (código NACE: 29.1) fue de 54 262 millones de SEK, empleando un 42 993 personas en Suecia en 2016, por lo que la productividad fue de 1 262 112 SEK [968].</li> <li>• El valor agregado de todos los sectores en Suecia en 2016 fue de 2 387 420 millones de SEK, empleando 2 816 500 personas, por lo que la productividad fue de 847 654 SEK [968].</li> <li>• No determinado</li> </ul>  |
| Prevención y mitigación de conflictos armados<br>5+1=6   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-P1</li> <li>• S-P2</li> <li>• S-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados.</li> <li>• No encontrados.</li> <li>• Se especifica en el código de conducta de proveedores la necesidad de que estos verifiquen su cadena de suministro, especialmente sus proveedores de minerales, para identificar los riesgos de que indirectamente se financie los conflictos armados [981].</li> </ul>   |
| Desarrollo tecnológico<br>5+1+1+1+1=10                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-D1</li> <li>• S-D2</li> <li>• S-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La inversión en I+D ha aumentado cada año, alcanzando una cifra de 7,2 billones de SEK en 2016, y de 5,6 billones de SEK en 2015, lo que equivale al 29% y 26% de la utilidad bruta del año anterior, respectivamente, [980,982].</li> <li>• No encontrado.</li> <li>• Scania realiza alianzas con proveedores, universidades y centros de investigación para proyectos de I+D, como proyectos de electrificación de autovías, trabajando con el competidor MAN y con la colaboración de Ericsson y Siemens. Scania también utiliza el laboratorio de investigación del transporte del <i>KTH Royal Institute of Technology</i> para sus desarrollos y pruebas [980]</li> </ul> |
| Corrupción<br>5+1+1=7                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-C1</li> <li>• S-C2</li> <li>• S-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Scania ha firmado el <i>UN Global Compact</i> en donde uno de sus principios es eliminar la corrupción. En el código de conducta de empleados se informa que no se tolera la corrupción [979]. Se capacita a los empleados sobre el comportamiento ético en estos aspectos, cubriendo un 41,6% de personal capacitado en 2016 [980].</li> <li>• El código de conducta se informa que Scania rechaza todo tipo de corrupción, por lo que espera que los proveedores también la rechacen en todas su cadena de valor [981]</li> </ul>   |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad<br>5+1+1=7 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-C1</li> <li>• A-C2</li> <li>• A-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Scania establece metas de reducción del 25% de las emisiones de CO<sub>2</sub> del 2012 para 2020, reducir los viajes aéreos en 17 millones de SEK y reducir la cifra de accidentes a 5 por millón de horas trabajadas [167]. Fueron los primeros fabricantes en lanzar camiones cumpliendo tecnología de control de emisiones Euro VI en 2011, adelantándose a su implantación en 2014 [167].</li> <li>• No encontrados. Solo se reportan los gastos en I+D.</li> <li>• No encontrados</li> </ul>  |
| Relaciones con los proveedores<br>5+1=6                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-R1</li> <li>• A-R2</li> <li>• A-R3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Se solicita que los proveedores se certifiquen en normas de calidad ambiental y cumplan los códigos de conducta de Scania y los principios del <i>UN Global Compact</i> [980].</li> <li>• No determinada</li> </ul>   |

|                                |   |  |
|--------------------------------|---|--|
| Competencia desleal<br>5+1-1=5 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-CD1</li> <li>• A-CD2</li> <li>• A-CD3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El código de conducta de Scania se informa que como principio corporativo está el competir éticamente, siempre cumpliendo las reglas y la legislación. Se afirma que la empresa no se involucra en acuerdo anticompetitivos con competidores, proveedores o clientes [979].</li> <li>• Scania fue multado por 880 millones de euros por colusión con otros 5 fabricantes, con los que se acordaban precios de mercado, plazos para la introducción de normativa de control de emisiones y el traslado de los costos de las nuevas tecnologías de control de emisiones a los clientes, prácticas que se realizaron por 14 años por todo Europa [988,989]. La cuota de mercado de Scania en 2016 fue de 16,5% en Europa [990]</li> <li>• En el código de conducta de proveedores se especifica que deben cumplir con todas las leyes sobre competencia y antimonopolio [981]. Sin embargo, Scania ha mantenido relaciones con proveedores que han sido sancionados por competencia desleal [969,991]</li> </ul> |
|--------------------------------|---|--|

### Anexo H.6. Inventario de análisis específico para el refino y distribución de combustibles caso España

| <b>PROCESO:</b> COMBUSTIBLES<br><b>EMPRESA:</b> REPSOL S.A  |  | <b>ACTIVIDAD:</b> REFINO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES<br><b>UBICACIÓN:</b> MADRID, ESPAÑA  |  |
|---|--|--|--|
| Subcategoría de impacto                                     | Código indicador   | Información encontrada   |  |
| Trabajo infantil<br>5+1+1+1=8                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-T1</li> <li>• T-T2</li> <li>• T-T3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrado.</li> <li>• Se otorgan becas a través de diferentes programas para jóvenes residentes en los entornos de influencia de las operaciones de la empresa en España, especialmente para formación universitaria [992]</li> <li>• El rechazo del trabajo infantil se incluye en el Código de ética y conducta de Proveedores. Se realizan procesos de calificación y auditoria al 100% de nuevos proveedores. En 2016 no se identificaron proveedores que hayan realizado explotación infantil [993]</li> </ul>   |  |
| Explotación (trabajo forzado)<br>5+1+1+1=8                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-E1</li> <li>• T-E2</li> <li>• T-E3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrado.</li> <li>• Se ofrece un curso online sobre Fundamentos de los Derechos Humanos a los empleados. A 2016 el curso lo había completado un total de 1307 empleados [993].</li> <li>• El rechazo del trabajo forzoso se incluye en el Código de ética y conducta de Proveedores. Se realizan procesos de calificación y auditoria al 100% de nuevos proveedores. En 2016 no se identificaron proveedores que hayan realizado alguna forma de trabajo forzoso [993]</li> </ul>   |  |
| Igualdad de oportunidades/<br>discriminación<br>5+1+1+1+1=9 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-I1</li> <li>• T-I2</li> <li>• T-I3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se informan los incidentes de discriminación de personal propio; en 2016 se presentaron 5 denuncias por acoso en España que fueron archivadas por no apreciarse acoso [993]. El salario de los hombres es en promedio entre 11% y 16% más alto que el de las mujeres según el cargo [993]. Aunque se indica que hay una escala de salarios por cargo que no varía por cuestiones de género.</li> <li>• Se ofrecen cursos a los empleados sobre integración en el entorno laboral de personas con discapacidad y prevención de situaciones de acoso, tomados por 1480 y 995 empleados, respectivamente. Hay un nuevo curso sobre igualdad de género [993]. La proporción de mujeres en la empresa fue de 29,6% en 2016, 29,2% en 2015 y 28,4% en 2014 [993]. La proporción en el sector de la manufactura en España fue de 25,1% [560]</li> <li>• El rechazo a la discriminación se incluye en el Código de ética y conducta de Proveedores. Se realizan procesos de calificación y auditoria al 100% de nuevos proveedores [992]</li> </ul>   |  |
| Libertad de asociación de<br>trabajadores<br>5+1+1+1+1=9    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-L1</li> <li>• T-L2</li> <li>• T-L3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En Repsol España el 100% de los empleados están adscritos al convenio colectivo de trabajo [993]. Los sindicatos en España son: Comisiones Obreras Industria, Unión General de Trabajadores-Industria y Trabajadores Agrarios (UGT-FITAG) y Sindicato de Trabajadores de Repsol (S.T.R.). En España por regla general no coexisten pactos colectivos y sindicatos con acuerdos o tratos distintos para cada colectivo. Por obligación en España las empresas deben tener un número determinado de representantes sindicales por número de empleados, con los que se realiza el convenio colectivo para todos los trabajadores.</li> <li>• Se mantiene vías de comunicación con los representantes de los trabajadores y con las comisiones negociadoras, mediante comités y comisiones para realizar el seguimiento y garantía de los convenios colectivos y pactos de aplicación de las sociedades del grupo. Se creó una Comisión de Seguridad y Salud Laboral compuesta por 3 representantes de la dirección y 3 de cada uno de los sindicatos [994]. En el convenio colectivo se han pactado diversos beneficios extralegales para los empleados como ayudas para la adquisición de vivienda, créditos, licencias y prestaciones por traslados, horarios y jornadas laborales, descansos compensatorios, transporte, comidas, etc. [995]</li> <li>• La libertad de asociación y el derecho a la negociación colectiva son derechos que se incluyen en el Código de ética y conducta de Proveedores. Se realizan procesos de calificación y auditoria al 100% de nuevos proveedores. En 2016 no se identificaron proveedores que hayan infringido los derechos de libertad de asociación o negociación colectiva de sus empleados [993]</li> </ul> |  |

|   |   |   |
|---|---|---|
| Salario justo<br>5+1+1+1+1+1=10                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SJ1</li> <li>• T-SJ2</li> <li>• T-SJ3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El salario promedio bruto anual en la industria del refino de petróleo en España fue de 93 900 euros en 2014 [996]. Los trabajadores reciben un prima o gratificación extralegal la cual aumenta con relación a la antigüedad en la empresa, una bonificación cada 4 años, un plus de asistencia, un plus global de turno y plus de nocturnidad, por reten y llamada, complementos por incapacidad temporal e incentivos a la formación [995].</li> <li>• El salario promedio bruto anual para 2014 en las comunidades autónomas en donde hay operación de Repsol más cercanas a Zaragoza, fue de 27 787 euros en País Vasco y de 23 927 euros en Cataluña [997].</li> <li>• El salario promedio bruto anual en la industria manufacturera fue de 26 477 euros, mientras que el promedio en España fue de 22 790 euros en 2014 [997].</li> </ul>   |
| Horario laboral justo<br>5+1+1+1+1+1=10                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-H1</li> <li>• T-H2</li> <li>• T-H3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En el sector manufacturero en España las horas reales trabajadas por semana fueron en promedio 39 horas en 2016 [560].</li> <li>• Es posible realizar teletrabajo en varias modalidades: 20% de la jornada laboral, 2 tardes y el viernes o dos días completos. El número de personas que optan por teletrabajar es de 1811 [994]</li> <li>• De acuerdo con el Real Decreto Legislativo 2/2015 [998]: "Los trabajadores tendrán derecho a un descanso mínimo semanal, acumulable por períodos de hasta catorce días, de día y medio ininterrumpido que, como regla general, comprenderá la tarde del sábado o, en su caso, la mañana del lunes y el día completo del domingo".</li> </ul>  |
| Salud y seguridad en el trabajo<br>5+1+1+1+1=9                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SS1</li> <li>• T-SS2</li> <li>• T-SS3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En el 2016 se reportó un Índice de Frecuencia Total de accidentes de 1,46 en Repsol Global, lo que se traduce en 263 accidentes no fatales por cada 100 000 trabajadores; considerando una plantilla total de 24 532 trabajadores [994] y 1800 horas de trabajo aprox. al año en el sector industrial [681].</li> <li>• En España el número promedio de accidentes no fatales por cada 100 000 trabajadores en el sector manufacturero fue de 5193 en 2016 [560]</li> <li>• Una las 6 líneas de acción del plan de sostenibilidad de Repsol es la Seguridad en las Operaciones, implementando un programa de seguridad anticipativa que ha logrado disminuir la accidentalidad en 2016 en un 35% respecto a 2015 [994]. Hay planes de salud ocupacional para reducir enfermedades en el trabajador y educación para la salud de familiares [993].</li> </ul>   |
| Beneficios sociales/seguridad social<br>5+1+1=7                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-B1</li> <li>• T-B2</li> <li>• T-B3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se otorgan todos los beneficios y prestaciones por ley. Se dan beneficios extras según el país de operación como ayudas de alimentación, estudios universitario para el empleado o los hijos, seguro de vida y accidentes, subvenciones de préstamos para adquisición de vivienda [992]</li> <li>• La tasa de rotación en las operaciones de Repsol en Europa fue del 3% en 2015 y del 8% en 2016, debido al proceso de desvinculaciones de acuerdo al compromiso de eficiencia contemplado en el Plan Estratégico 2016-2020 [993]</li> <li>• Se requiere que los proveedores cumplan con las prácticas laborales exigidas por la legislación internacional y local, lo cual es verificado mediante auditorias y evaluaciones de desempeño [992]</li> </ul>  |
| Transparencia en temas sociales y medioambientales<br>5+1+1+1+1=9 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-T1</li> <li>• CL-T2</li> <li>• CL-T3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La empresa publica anualmente reportes de sostenibilidad y en su página publica discriminadamente resúmenes de los temas medioambientales, sociales y económicos [993,999].</li> <li>• Se reportan las emisiones de GEI, de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub>DM y agua captada y vertida para cada área de operación de la empresa total y por tonelada de crudo procesada. Se comenta acerca de la calidad y contenido de contaminantes de las gasolinas y gasóleos producidos [993]. Se reportan cifras de rotación de personal, nuevas contrataciones, diferencias salariales en ratios, accidentes, horas de capacitación, entre otros, desglosados por género. Se reportan los casos de discriminación y las faltas al código de conducta anuales al interior de la empresa. Hace falta información acerca de los salarios promedio en la empresa. Se comentan los potenciales impactos negativos en la comunidad de la operación de las refinerías de manera general, no se especifican los casos.</li> <li>• No encontrado</li> </ul> |
| Confidencialidad con la información de los clientes<br>5+1+1+1=8  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-C1</li> <li>• CL-C2</li> <li>• CL-C3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se comunica en la página web de Repsol la política de tratamiento de datos personales en idioma inglés y en castellano [999].</li> <li>• Se tiene un programa de formación de empleados en Seguridad de la Información, para sensibilizarlos en el uso adecuado de la información de los activos informáticos y así prevenir ataques cibernéticos y pérdida de información confidencial [993].</li> <li>• No encontradas.</li> </ul>   |
| Mecanismos de retroalimentación con los clientes<br>5+1+1+1+1=9   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-M1</li> <li>• CL-M2</li> <li>• CL-M3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Línea de contacto telefónico de atención al cliente de pago compartido (901), correo electrónico, área exclusiva de clientes y redes sociales [999].</li> <li>• Se realizan encuestas de satisfacción. En 2014 la satisfacción de clientes directos fue de 4,41, frente a un 4,24 en 2012 (1: insatisfecho; 5: muy satisfecho) [1000].</li> <li>• No determinado</li> </ul>  |
| Deslocalización y migración<br>5+1=6                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-D1</li> <li>• C-D2</li> <li>• C-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se encuentra afectación en España en los últimos años.</li> <li>• Se realizan actividades de voluntariado en donde los empleados se relacionan con la comunidad a través de varios programas administrados por la Fundación Repsol [1001].</li> <li>• No se encuentran códigos específicos.</li> </ul>  |

|  |   |   |
|--|---|---|
| Respeto a las tradiciones locales/patrimonio cultural<br>5+1+1+1=8 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RT1</li> <li>• C-RT2</li> <li>• C-RT3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Se desarrollan actividades culturales y artísticas con las comunidades aledañas a las operaciones mediante el programa de desarrollo de las comunidades [992]. La empresa patrocina fiestas patronales de los municipios en donde tienen operación y diversas festividades como la Semana Santa y festivales que hacen parte del patrimonio inmaterial [1002], como también colabora con la restauración de monumentos históricos y en la edición de libros de historia de las ciudades [1003].</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas<br>5+1+1=7     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RI1</li> <li>• C-RI2</li> <li>• C-RI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En el Código de Ética y Conducta de los empleados, se indica el compromiso con el respeto a los Derechos Humano de grupos vulnerables como las comunidades indígenas [1004].</li> <li>• No aplica para España</li> <li>• En el Código de Ética y Conducta de los proveedores se indica el compromiso con el respeto a los Derechos Humano de grupos vulnerables y existe una normativa especial de Repsol para el trato a las comunidades indígenas [1005].</li> </ul>   |
| Participación de la comunidad<br>5+1+1+1+1+1=10                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-P1</li> <li>• C-P2</li> <li>• C-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para la elaboración de los planes de sostenibilidad específicos para cada refinería/complejo industrial se tienen en cuenta las opiniones de las comunidades, las cuales son recogidas mediante estudios de identificación de expectativas. Para esto se realizan foros de debate y especialmente con el Panel Público Asesor para cada comunidad como canal de diálogo, constituido por representantes de diversos colectivos de la sociedad y la empresa. A partir de estas expectativas se crean acciones como cursos de formación, planes de igualdad/inclusión, programas ambientales, culturales, deportivos y de voluntariado, mejoras en la seguridad de las plantas, etc. [992].</li> <li>• No encontradas</li> <li>• La mayoría de las acciones planeadas y ejecutadas de los planes de sostenibilidad específicos y generales de la empresa derivan de propuestas o iniciativas de la comunidad, las cuales son patrocinadas y/o coordinadas con el apoyo de la empresa y/o empleados a través de voluntariado. La mayoría de iniciativas con educativas y culturales, como también deportivas y ambientales [992,1003].</li> </ul> |
| Condiciones de vida saludables y seguras<br>5+1+1+1+1-1=8          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-C1</li> <li>• C-C2</li> <li>• C-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hay una sanción por no informar oportunamente uno de estos en la planta de Petronor [1006,1007]. También se han presentado muchas quejas por emisiones, olores y falta de información a la comunidad cuando hay incidentes en las plantas [1008–1012]. Se reporta también que las emisiones contaminantes de Petronor en Muskiz afectan la salud de las personas, incrementando la mortalidad de sus habitantes en 14% en hombres 12% en mujeres [1013].</li> <li>• En términos de impacto ambiental las plantas intentan mitigar los impactos de sus operaciones mediante estudios de riesgos, medidas de reducción de ruido y emisiones atmosféricas, tanto en las plantas de producción como en los vehículos que entran y salen de ellas [1014–1016].</li> <li>• Se realizan auditorías previas de la contratación y evaluaciones de desempeño de los proveedores para la verificación de aspectos de seguridad y medioambiente implantados [992].</li> </ul>  |
| Acceso a los recursos materiales<br>5+1+1+1=8                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AM1</li> <li>• C-AM2</li> <li>• C-AM3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se reduce cada año las emisiones de CO<sub>2</sub> por la utilización de transporte más eficiente y proyectos de movilidad eléctrica con la administración pública [993]. Colaboración con la Federación Española de Bancos de Alimentos en 2013</li> <li>• No encontrados</li> <li>• El Código de Ética y Conducta de proveedores indica que se deben desarrollar actividades que minimicen los impactos medioambientales negativos. Se realizan evaluaciones y se encontró en 2016 que 55 proveedores tenían una valoración inferior a 5 sobre 10. Después de identificar los aspectos negativos se acordaron mejoras con el 100% de los proveedores [993].</li> </ul>   |
| Acceso a los recursos inmateriales<br>5+1+1+1+1=9                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AI1</li> <li>• C-AI2</li> <li>• C-AI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A través de la Fundación Repsol se invierte en programas de educación para jóvenes de las comunidades aledañas a la operación. Se han lanzado 5 convocatorias de becas; entre 2014 y 2015 se dieron un total 203 becas para grados medio y superior. Becas con los Consejos Sociales de las Universidades para favorecer la entrada en el mercado laboral local de estudiantes en riesgo de exclusión para estudiar en las universidades de Castilla-La Mancha, Politécnica de Cartagena y la Rovira i Virgili de Tarragona. Cátedras universitarias para estudiantes de los últimos cursos que les ayuda a completar su docencia y facilitar el laboral en la industria energética e hidrocarburos, entre otras programas [992]. También promueven visitas de estudiantes o colectivos de la comunidad a sus instalaciones [992,1002,1003]</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Creación de empleo local<br>5+1=6                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-CE1</li> <li>• C-CE2</li> <li>• C-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Se tiene una política de promoción de empleo local contratando proveedores de servicios locales. Por ejemplo, en las paradas programadas y proyectos de mantenimiento en Puertollano, el porcentaje de contratación de mano de obra local es superior al 90%. En la refinería de A Coruña se adjudicaron 143 contratos en 2015, 90 de ellos a empresas de ámbito local/autonómico [992]</li> <li>• No determinado</li> </ul>   |

|  |   |  |
|--|---|--|
| Contribución a la economía nacional<br>5+1+1=7               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-CE1</li> <li>• S-CE2</li> <li>• S-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La productividad por trabajador en la industria del refino de petróleo en España en 2014 fue de 115 400 euros [957].</li> <li>• La productividad del sector industrial en 2014 en España fue de 66 019 euros [681].</li> <li>• En general, en España el gasto en proveedores locales fue del 86,41% en 2015 y de 83% en 2016 [992]</li> </ul>   |
| Prevención y mitigación de conflictos armados<br>5+1=6       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-P1</li> <li>• S-P2</li> <li>• S-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> <li>• Entre los aspectos requeridos y evaluados en los proveedores se encuentran la gestión de las fuerzas de seguridad y formación y respeto de los derechos humanos [992].</li> </ul>   |
| Desarrollo tecnológico<br>5+1+1+1+1+1=10                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-D1</li> <li>• S-D2</li> <li>• S-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La inversión de Repsol Global en I+D en 2016 fue de 78 millones de euros [993], lo que corresponde al 1,02% de la utilidad bruta (valor económico retenido + impuestos pagos e inversiones en comunidades) del año anterior [992]. La empresa invierte en varios proyectos de investigación, de los cuales su mayoría van encaminados a las tecnologías limpias y más eficientes [992,993]. La refinería de Cartagena es considerada una de las más modernas de Europa, la cual se modernizó en 2012 con la mayor inversión industrial de la historia de España [1017]. Los trabajadores son capacitados constantemente y se dan incentivos para la formación continua en los mejores centros [993,995].</li> <li>• No se encuentran reportes para las refinerías en España</li> <li>• Se participa en proyectos de investigación como el de desarrollo de baterías para coches eléctricos en colaboración con CIDETEC. También el proyecto Spain 2017 (Sistema de Propulsión Avanzado Integrado), proyecto Graphenea, entre otros [993]</li> </ul>   |
| Corrupción<br>5+1+1+1+1=9                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-C1</li> <li>• S-C2</li> <li>• S-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay reportados casos de corrupción probados asociados a las operaciones en España en los últimos 5 años.</li> <li>• Hay una política Anticorrupción con diversos mecanismos de acción. Se forma a los empleados con programas como el Código de Ética y Conducta, Modelo de prevención de Delitos y Prevención del Lavado de Activos y Financiación del Terrorismo, lo cuales han sido realizado por 3001 empleados en 2016 [993]. Se realizan auditorías y controles de Prevención de Delitos en los proyectos operados por la empresa. Se utiliza el modelo JOA (<i>Joint Operating Agreement</i>) sobre el cual se realizan mejoras para reforzar las cláusulas anticorrupción [993].</li> <li>• El 100% de los proveedores de Repsol son informados sobre la normativa anticorrupción [993] y se analiza su desempeño y sus prácticas anticorrupción [993].</li> </ul>   |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad<br>5+1+1+1-1=7 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-C1</li> <li>• A-C2</li> <li>• A-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La empresa presenta un Plan Global de Sostenibilidad con objetivos al 2020 para 6 líneas de acción: Ética y transparencia; Personas, Operación segura; Medioambiente; Cambio climático; e Innovación tecnológica. Para los objetivos trazados en cada línea se realiza un seguimiento anual, se presenta el porcentaje de los avances y se establecen cada año mecanismos para alcanzar los objetivos [1018]. Proyectos de movilidad eléctrica con la administración pública, como el proyecto CLIMA [993]</li> <li>• El gasto en inversión social voluntaria por Repsol Global en millones de euros fue de 19,83 en 2016, 22,74 en 2015 y 26,03 en 2014 [993], es decir, el 0,38%, el 2,11% y el 2,14% del valor económico retenido del año anterior, respectivamente [992].</li> <li>• No determinados</li> </ul>   |
| Relaciones con los proveedores<br>5+1+1+1=8                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-R1</li> <li>• A-R2</li> <li>• A-R3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• Hay una política de gestión responsable de proveedores con la que se evalúa y califican diversos aspectos de la sostenibilidad. En 2014 se decidió que los proveedores con situación económica desfavorable pudieran presentar una garantía económica que les permitiera salvar los requisitos económicos-financieros, y pudieran participar como proveedor de Repsol, mejorando su situación y viabilidad de sus empresas [1019]. Se elaboró en 2015 la Guía de Relación con Proveedores para establecer relaciones estables o prolongadas con los proveedores y capturar el máximo valor posible del mercado [992]. Se desarrolla un plan de tracción de proveedores para impulsar las empresas de bienes y servicios industriales y conexos, aportando un valor añadido que les haga más competitivos en sus sectores [992]. En 2016 Repsol Global invirtió 4 millones de euros en iniciativas para el desarrollo local de negocio y oportunidades para proveedores locales [993].</li> <li>• No determinada.</li> </ul> |
| Competencia desleal<br>5+1-1-1=4                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-CD1</li> <li>• A-CD2</li> <li>• A-CD3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• En el Código de Ética y Conducta de los empleados se expresa el compromiso en la defensa de la competencia libre y abierta. Sugiere a los empleados no suscribir acuerdos con competidores que lleven a prácticas de colusión, manipulación de licitaciones, contratos vinculados y prácticas predatorias [1004].</li> <li>• La empresa fue sancionada en 2015 por acuerdos de precios en la distribución de combustibles por 22,6 millones de euros [1020]. En 2017 la multa fue anulada por un asunto de forma, pero no por no haberse cometido la infracción [1021]. La cuota de mercado de Repsol en distribución minorista ha superado el 30% de varias regiones de España, por lo que tiene restringida su expansión de gasolineras desde 2017. La participación de Repsol en el mercado minorista de combustibles es aproximadamente del 37% [1022], mientras que en el refino su participación fue 58% del total de barriles diarios procesados en España.</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |

**Anexo H.7. Inventario de análisis específico para la empresa de transporte caso España**

| <b>PROCESO: OPERACIÓN DE VEHÍCULOS</b>                              |   | <b>ACTIVIDAD: TRANSPORTE DE MERCANCÍAS POR CARRETERA</b>   |
|---|---|--|
| <b>EMPRESA: VÍA AUGUSTA</b>   |   | <b>UBICACIÓN: ZARAGOZA, ESPAÑA</b>   |
| <b>Subcategoría de impacto</b>                                      | <b>Código indicador</b>   | <b>Información encontrada</b>  |
| Trabajo infantil<br>5+1=6   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-T1</li> <li>• T-T2</li> <li>• T-T3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrado</li> <li>• Se aceptan menores de 16-18 años solo para prácticas estudiantiles en verano.</li> <li>• No encontrado</li> </ul>  |
| Explotación<br>(trabajo forzado)<br>5                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-E1</li> <li>• T-E2</li> <li>• T-E3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrado</li> <li>• No encontrado</li> <li>• No encontrado</li> </ul>  |
| Igualdad de oportunidades/<br>discriminación<br>5-1=4               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-I1</li> <li>• T-I2</li> <li>• T-I3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrado</li> <li>• La proporción de mujeres en la empresa es del 12%, cifra que se ha mantenido en los últimos años. En el sector del transporte y almacenamiento la proporción de mujeres fue del 18% en 2017 [560].</li> <li>• No encontrado</li> </ul>   |
| Libertad de asociación de<br>trabajadores<br>5+1+1=7                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-L1</li> <li>• T-L2</li> <li>• T-L3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hay 14 representantes de los trabajadores, asociados a la Unión General de Trabajadores - UGT y Comisiones Obreras- CCOO. La legislación española obliga a tener una cantidad determinada de representantes por número de trabajadores.</li> <li>• Se negocia libremente con los trabajadores y no hay repercusiones negativas sobre los representantes sindicales. Las peticiones de los trabajadores se negocian a nivel provincial, estableciendo un convenio colectivo que aplica para todas las empresas de transporte de la ciudad</li> <li>• No encontrado</li> </ul>  |
| Salario justo<br>5+1+1+1=8  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SJ1</li> <li>• T-SJ2</li> <li>• T-SJ3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El salario promedio mensual fue de 2000 euros en el 2016. Se da una prima extra anual, es decir, 15 pagas anuales en total.</li> <li>• El salario promedio anual en Aragón fue de 22249 euros en 2016 [1023].</li> <li>• El sector del transporte y almacenamiento el salario promedio anual fue de 23912 el 2016 [1024], mientras que el promedio nacional fue de 23156 euros [1023].</li> </ul>   |
| Horario laboral<br>justo<br>5+1-1=5                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-H1</li> <li>• T-H2</li> <li>• T-H3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Son reglamentarias 45 horas semanales, pero con horas extras en promedio trabajan 48 horas a la semana.</li> <li>• Hay flexibilidad para ir a estudiar. Los demás tipos permisos están reglamentados por el convenio provincial del transporte de Zaragoza.</li> <li>• Se garantizan al menos dos domingos al mes libres.</li> </ul>  |
| Salud y seguridad<br>en el trabajo<br>5+1=6                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-SS1</li> <li>• T-SS2</li> <li>• T-SS3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No reportado</li> <li>• En el sector del transporte y almacenamiento en España el número de accidentes por cada 100 000 trabajadores fue de 5 331 en 2016 [560]</li> <li>• Una vez al año se realiza de capacitación a todos los empleados. Se permite un máximo de conducción diaria de 9 horas o máximo 10 horas solo dos veces en la semana. Por cada 4,5 horas de conducción debe descansar 45 min, lo cual en la empresa se hace fraccionado en beneficio del conductor. Luego de la jornada de conducción se otorga un descanso mínimo ininterrumpido de 11 horas. La empresa fue evaluada en SQAS (Safety Quality Assessment System), como garantía de que las operaciones se llevan a cabo con seguridad y calidad para la protección de la salud de los empleados y el público.</li> </ul> |
| Beneficios<br>sociales/seguridad<br>social<br>5+1+1=7               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• T-B1</li> <li>• T-B2</li> <li>• T-B3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se otorgan los obligatorios por ley en España (seguro de salud, pensiones, cesantías, bajas por enfermedad, etc.) y se da un seguro de vida y accidentes extra.</li> <li>• Es baja, se trata de mantener el mismo personal de confianza.</li> <li>• No hay</li> </ul>   |
| Transparencia en<br>temas sociales y<br>medioambientales<br>5+1=6   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-T1</li> <li>• CL-T2</li> <li>• CL-T3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La última memoria de responsabilidad social de la empresa fue publicada en 2008.</li> <li>• La empresa presenta en su página web (via-augusta.com) las certificaciones de calidad ISO 9001, medioambiental ISO14001 y de seguridad SQAS.</li> <li>• No hay</li> </ul>   |
| Confidencialidad<br>con la información<br>de los clientes<br>5+1=6  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-C1</li> <li>• CL-C2</li> <li>• CL-C3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se informa sobre las políticas de tratamiento de datos personales en la web.</li> <li>• No hay</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Mecanismos de<br>retroalimentación<br>con los clientes<br>5+1+1+1=8 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• CL-M1</li> <li>• CL-M2</li> <li>• CL-M3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se reciben llamadas de quejas y reclamos directamente con el comercial o con el coordinar técnico, formulario de contacto web, área de clientes en el portal web</li> <li>• Se realizan encuestas de satisfacción con una calificación de 4/5.</li> <li>• Es importante, tiene peso en las decisiones a corto, mediano y largo plazo de la empresa.</li> </ul>  |
| Deslocalización y<br>migración<br>5                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-D1</li> <li>• C-D2</li> <li>• C-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay</li> <li>• No hay</li> <li>• No hay</li> </ul>   |

|   |   |  |
|---|---|--|
| Respeto a las tradiciones locales/patrimonio cultural 5 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RT1</li> <li>• C-RT2</li> <li>• C-RT3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay</li> <li>• No aplica</li> <li>• No hay</li> </ul>  |
| Respeto a los derechos de las comunidades indígenas 5   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-RI1</li> <li>• C-RI2</li> <li>• C-RI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay</li> <li>• No aplica</li> <li>• No hay</li> </ul>  |
| Participación de la comunidad 5                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-P1</li> <li>• C-P2</li> <li>• C-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No aplica</li> <li>• No aplica</li> <li>• No aplica</li> </ul>  |
| Condiciones de vida saludables y seguras 5+1+1=7        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-C1</li> <li>• C-C2</li> <li>• C-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay reportes. La zona de operación es industrial.</li> <li>• Se adquieren camiones a gas natural que generan menos ruido y contaminación atmosférica.</li> <li>• No hay</li> </ul>   |
| Acceso a los recursos materiales 5                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AM1</li> <li>• C-AM2</li> <li>• C-AM3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontradas</li> <li>• No hay evidencia</li> <li>• No hay</li> </ul>   |
| Acceso a los recursos inmateriales 5+1=6                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-AI1</li> <li>• C-AI2</li> <li>• C-AI3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La empresa realiza donaciones a la Fundación Federico Ozanam, la cual cuenta con una residencia para adultos mayores, un programa de inserción laboral y creación de empresa, capacitando a adultos y jóvenes de la comunidad.</li> <li>• No hay evidencia</li> <li>• No hay</li> </ul>   |
| Creación de empleo local 5+1+1=7                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• C-CE1</li> <li>• C-CE2</li> <li>• C-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay políticas establecidas. Se prefiere la contratación de locales, pero por escasas de conductores se contrata el que haya disponible.</li> <li>• No hay políticas establecidas, pero se prefiere negociar con proveedores locales o que al menos tengan una sucursal o representación en el país.</li> <li>• &gt;90% locales</li> </ul>  |
| Contribución a la economía nacional 5+1+1=7             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-CE1</li> <li>• S-CE2</li> <li>• S-CE3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El valor agregado de la empresa fue de aproximadamente 12 millones de euros con una plantilla de 192 trabajadores en 2015, por lo que la productividad por trabajador ha sido de 60 000 euros aproximadamente.</li> <li>• La productividad por trabajador en el subsector del transporte de mercancías por carretera y servicios de mudanza en 2015 fue de 36 761 euros [1024].</li> <li>• La mayoría del gasto (&gt;80%) es en proveedores nacionales, principalmente en proveedores de combustible, repuestos e insumos.</li> </ul> |
| Prevención y mitigación de conflictos armados 5         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-P1</li> <li>• S-P2</li> <li>• S-P3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados.</li> <li>• No hay</li> <li>• No hay</li> </ul>  |
| Desarrollo tecnológico 5+1+1+1+1-1=8                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-D1</li> <li>• S-D2</li> <li>• S-D3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se capacita anualmente a los empleados en conducción eficiente y actualización sobre nuevas tecnologías</li> <li>• La flota de camiones tiene en promedio 5 años de antigüedad</li> <li>• La empresa tiene una alta predisposición para participar en proyectos de innovación tecnológica con instituciones públicas y privadas y en la adquisición de tecnologías limpias.</li> </ul>  |
| Corrupción 5  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• S-C1</li> <li>• S-C2</li> <li>• S-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontrados</li> <li>• No hay</li> <li>• No hay</li> </ul>   |
| Compromiso público en temas de sostenibilidad 5         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-C1</li> <li>• A-C2</li> <li>• A-C3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay metas o planes relacionados con sostenibilidad publicados en los últimos años; lo último fue publicado en la memoria de responsabilidad social de 2008.</li> <li>• No encontrados</li> <li>• No encontrados</li> </ul>   |
| Relaciones con los proveedores 5+1+1=7                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-R1</li> <li>• A-R2</li> <li>• A-R3</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No encontradas</li> <li>• No encontrados</li> <li>• Con mayoría de los proveedores se tienen relaciones por más de 10 años. Sin embargo, en volumen de gasto, en donde el mayor gasto es el combustible, el proveedor es directamente CLH, pero la marca del combustible puede variar.</li> </ul>   |
| Competencia desleal 5+1=6                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A-CD1</li> <li>• A-CD2</li> <li>• A-CD3</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• La empresa se encuentra vinculada a diversas asociaciones de transportadores en donde se lucha contra la competencia desleal.</li> <li>• No encontrados. La cuota de mercado es menor al 1%.</li> <li>• No hay</li> </ul>   |

**Anexo F.11. Resultados evaluación de impactos agrupados por categorías caso Colombia**

| Categorías de impacto             | Subcategorías de impacto                               | Nivel 3            | Nivel 2                          |  |                                    |                                | Nivel 1+                                    | Nivel 1  |  |   | Valoración ponderada del sistema Subcateg. | Valoración Sistema Categorías |
|-----------------------------------|--|--------------------|----------------------------------|--|------------------------------------|--------------------------------|---|--|--|---|--|-------------------------------|
|                                   |  | Empresa transporte | Refino combustibles (resto país) | Distribución combustibles (resto país) | Fabricación vehículos (resto país) | Fin de vida vehículos (<100km) | Construcción carreteras (sector en el país) | Fabricación de componentes para vehículos (en el país) | Explotación/ producción de petróleo (en el país) | Producción de materiales pavimentación (en el país) |  |                               |
| Derechos humanos                  | Trabajo infantil                                       | 3,00               | 4,60                             | 4,60                                   | 3,40                               | 3,80                           | 2,00  | 2,00   | 3,00   | 2,00  | 3,26                                       | 3,14                          |
|                                   | Explotación/ trabajo forzado                           | 3,00 2,89          | 4,20 4,04                        | 4,20 4,26                              | 3,00 3,17                          | 3,80 3,58                      | 3,00 2,30                                   | 3,00 2,58  | 3,00 3,00  | 3,00 2,58   | 3,25                                       |                               |
|                                   | Igualdad de oportunidades/ discriminación              | 2,60               | 3,00                             | 3,80                                   | 3,00                               | 3,00                           | 2,00  | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 2,82                                       |                               |
| Derechos trabajadores             | Libre asociación de trabajadores                       | 3,00               | 3,00                             | 3,00                                   | 2,20                               | 1,80                           | 2,00  | 1,00   | 2,00   | 1,00  | 2,69                                       | 3,18                          |
|                                   | Salario justo  | 2,60               | 5,00                             | 3,00                                   | 4,60                               | 3,80                           | 3,00  | 4,00   | 5,00   | 3,00  | 3,24                                       |                               |
|                                   | Horario laboral justo                                  | 3,00 3,06          | 2,20 4,01                        | 3,00 3,56                              | 3,40 3,62                          | 3,00 3,12                      | 3,00 2,25                                   | 3,00 2,76  | 2,00 2,77  | 3,00 2,50   | 2,93                                       |                               |
|                                   | Seguridad y salud en el trabajo                        | 3,40               | 4,60                             | 4,20                                   | 3,80                               | 3,80                           | 1,00  | 2,00   | 1,00   | 2,00  | 3,38                                       |                               |
|                                   | Beneficios sociales/seguridad social                   | 3,40               | 4,60                             | 4,60                                   | 3,40                               | 2,60                           | 2,00  | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,51                                       |                               |
| Patrimonio cultural y comunidades | Deslocalización y migración                            | 3,00               | 3,40                             | 3,00                                   | 3,00                               | 3,00                           | 2,00  | 3,00   | 1,00   | 3,00  | 2,94                                       | 3,18                          |
|                                   | Respeto a las tradiciones locales/ patrimonio cultural | 3,00               | 3,40                             | 3,40                                   | 3,40                               | 3,40                           | 4,00  | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 3,26                                       |                               |
|                                   | Respeto a los derechos de las comunidades indígenas    | 3,00               | 3,80                             | 3,00                                   | 3,00                               | 3,00                           | 2,00  | 3,00   | 1,00   | 4,00  | 3,01                                       |                               |
|                                   | Participación de la comunidad                          | 3,80 3,00          | 4,20 3,83                        | 3,40 3,40                              | 3,40 3,36                          | 3,40 3,31                      | 3,00 2,95                                   | 3,00 3,37  | 3,00 2,87  | 3,00 3,51   | 3,64                                       |                               |
|                                   | Condiciones de vida seguras y saludables               | 3,00               | 2,60                             | 3,40                                   | 2,60                               | 3,40                           | 3,00  | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 3,08                                       |                               |
|                                   | Acceso a recursos materiales                           | 3,00               | 4,20                             | 3,00                                   | 3,80                               | 3,80                           | 4,00  | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 3,35                                       |                               |
|                                   | Acceso a recursos inmateriales                         | 3,00               | 4,20                             | 3,80                                   | 3,80                               | 4,20                           | 3,00  | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,30                                       |                               |
|                                   | Transparencia en temas sociales/ medioambientales      | 2,20               | 5,00                             | 4,20                                   | 4,20                               | 2,60                           | 3,00  | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 2,95                                       |                               |
| Repercusiones socio-económicas    | Creación de empleo local                               | 4,60               | 5,00                             | 4,60                                   | 3,40                               | 3,00                           | 4,00  | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 4,39                                       | 3,68                          |
|                                   | Contribución a la economía nacional                    | 3,80               | 5,00                             | 5,00                                   | 3,40                               | 4,20                           | 4,00  | 3,00   | 5,00   | 3,00  | 3,99                                       |                               |
|                                   | Prevención y mitigación de conflictos armados          | 2,20               | 3,80                             | 3,40                                   | 3,80                               | 3,40                           | 2,00  | 2,00   | 1,00   | 2,00  | 2,59                                       |                               |
|                                   | Desarrollo tecnológico                                 | 2,60 3,51          | 3,80 4,48                        | 4,20 4,26                              | 4,20 3,80                          | 3,40 3,52                      | 3,00 3,49                                   | 3,00 3,29  | 3,00 3,57  | 3,00 3,29   | 3,09                                       |                               |
|                                   | Relaciones con los proveedores                         | 3,40               | 4,20                             | 3,80                                   | 4,20                               | 3,80                           | 3,00  | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,55                                       |                               |
|                                   | Confidencialidad con la información de los clientes    | 3,40               | 4,20                             | 3,80                                   | 3,80                               | 3,40                           | 4,00  | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 3,63                                       |                               |
|                                   | Mecanismos de retroalimentación con los clientes       | 3,40               | 4,60                             | 4,20                                   | 4,60                               | 3,40                           | 4,00  | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 3,78                                       |                               |
| Gobernanza                        | Compromiso público en temas de sostenibilidad          | 3,00               | 4,20                             | 4,20                                   | 4,60                               | 3,00                           | 3,00  | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,37                                       | 3,12                          |
|                                   | Corrupción   | 2,60 3,08          | 2,20 3,05                        | 3,80 3,56                              | 3,40 3,76                          | 3,80 3,56                      | 2,00 2,61                                   | 2,00 2,61  | 2,00 2,61  | 2,00 2,00   | 2,71                                       |                               |
|                                   | Competencia desleal                                    | 3,80               | 3,00                             | 2,60                                   | 3,40                               | 3,80                           | 3,00  | 3,00   | 3,00   | 1,00  | 3,40                                       |                               |
| PROMEDIO                          |  | 3,11               | 3,92                             | 3,74                                   | 3,57                               | 3,37                           | 2,85  | 3,04   | 2,96   | 2,96  | 3,27                                       |                               |
| INDICE DESEMPEÑO SOCIAL           |  | 3,09               | 3,90                             | 3,81                                   | 3,54                               | 3,39                           | 2,63  | 2,86   | 2,94   | 2,70  | 3,24                                       |                               |

**Anexo F.12. Resultados evaluación de impactos agrupados por stakeholders caso Colombia**

| Stakeholder     | Subcategoría de impacto                               | Nivel 3            | Nivel 2                            |                                       |                                   |                                | Nivel 1+                                    | Nivel 1  |  |   | Valoración ponderada del sistema Subcateg. | Valoración Sistema Categorías |
|-----------------|---|--------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---|--|--|---|--|-------------------------------|
|                 |   | Empresa transporte | Refino de combustibles (restopaís) | Distribución combustibles (restopaís) | Fabricación vehículos (restopaís) | Fin de vida vehículos (<100km) | Construcción carreteras (sector en el país) | Fabricación de componentes para vehículos (en el país) | Explotación/ producción de petróleo (en el país) | Producción de materiales pavimentación (en el país) |  |                               |
| Trabajadores    | Trabajo infantil                                      | 3,00               | 4,60                               | 4,60                                  | 3,40                              | 3,80                           | 2,00  | 2,00   | 3,00   | 2,00  | 3,26                                       | 3,09                          |
|                 | Explotación/ trabajo forzado                          | 3,00               | 4,20                               | 4,20                                  | 3,00                              | 3,80                           | 3,00  | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,25                                       |                               |
|                 | Igualdad de oportunidades/ discriminación             | 2,60               | 3,00                               | 3,80                                  | 3,00                              | 3,00                           | 2,00  | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 2,82                                       |                               |
|                 | Libre asociación de trabajadores                      | 3,00               | 3,00                               | 3,00                                  | 2,20                              | 1,80                           | 2,00  | 1,00   | 2,00   | 1,00  | 2,69                                       |                               |
|                 | Salario justo   | 2,60               | 5,00                               | 3,00                                  | 4,60                              | 3,80                           | 3,00  | 4,00   | 5,00   | 3,00  | 3,24                                       |                               |
|                 | Horario laboral justo                                 | 3,00               | 2,20                               | 3,00                                  | 3,40                              | 3,00                           | 3,00  | 3,00   | 2,00   | 3,00  | 2,93                                       |                               |
|                 | Seguridad y salud en el trabajo                       | 3,40               | 4,60                               | 4,20                                  | 3,80                              | 3,80                           | 1,00  | 2,00   | 1,00   | 2,00  | 3,38                                       |                               |
|                 | Beneficios sociales/seguridad social                  | 3,40               | 4,60                               | 4,60                                  | 3,40                              | 2,60                           | 2,00  | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,51                                       |                               |
| Clientes        | Transparencia en temas sociales/ medioambientales     | 2,20               | 5,00                               | 4,20                                  | 4,20                              | 2,60                           | 3,00  | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 2,95                                       | 3,31                          |
|                 | Confidencialidad con la información de los clientes   | 3,40               | 4,20                               | 3,80                                  | 3,80                              | 3,40                           | 4,00  | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 3,63                                       |                               |
|                 | Mecanismos de retroalimentación con los clientes      | 3,40               | 4,60                               | 4,20                                  | 4,60                              | 3,40                           | 4,00  | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 3,78                                       |                               |
| Comunidad local | Deslocalización y migración                           | 3,00               | 3,40                               | 3,00                                  | 3,00                              | 3,00                           | 2,00  | 3,00   | 1,00   | 3,00  | 2,94                                       | 3,54                          |
|                 | Respeto a las tradiciones locales/ patrimonio cultura | 3,00               | 3,40                               | 3,40                                  | 3,40                              | 3,40                           | 4,00  | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 3,26                                       |                               |
|                 | Respeto a los derechos de las comunidades indígenas   | 3,00               | 3,80                               | 3,00                                  | 3,00                              | 3,00                           | 2,00  | 3,00   | 1,00   | 4,00  | 3,01                                       |                               |
|                 | Participación de la comunidad                         | 3,80               | 4,20                               | 3,40                                  | 3,40                              | 3,40                           | 3,00  | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,64                                       |                               |
|                 | Condiciones de vida seguras y saludables              | 3,00               | 2,60                               | 3,40                                  | 2,60                              | 3,40                           | 3,00  | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 3,08                                       |                               |
|                 | Acceso a recursos materiales                          | 3,00               | 4,20                               | 3,00                                  | 3,80                              | 3,80                           | 4,00  | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 3,35                                       |                               |
|                 | Acceso a recursos inmateriales                        | 3,00               | 4,20                               | 3,80                                  | 3,80                              | 4,20                           | 3,00  | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,30                                       |                               |
|                 | Creación de empleo local                              | 4,60               | 5,00                               | 4,60                                  | 3,40                              | 3,00                           | 4,00  | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 4,39                                       |                               |
| Sociedad        | Contribución a la economía nacional                   | 3,80               | 5,00                               | 5,00                                  | 3,40                              | 4,20                           | 4,00  | 3,00   | 5,00   | 3,00  | 3,99                                       | 3,23                          |
|                 | Prevención y mitigación de conflictos armados         | 2,20               | 3,80                               | 3,40                                  | 3,80                              | 3,40                           | 2,00  | 2,00   | 1,00   | 2,00  | 2,59                                       |                               |
|                 | Desarrollo tecnológico                                | 2,60               | 3,80                               | 4,20                                  | 4,20                              | 3,40                           | 3,00  | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,09                                       |                               |
|                 | Corrupción  | 2,60               | 2,20                               | 3,80                                  | 3,40                              | 3,80                           | 2,00  | 2,00   | 2,00   | 2,00  | 2,71                                       |                               |
| Otros actores   | Compromiso público en temas de sostenibilidad         | 3,00               | 4,20                               | 4,20                                  | 4,60                              | 3,00                           | 3,00  | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,37                                       | 3,45                          |
|                 | Relaciones con los proveedores                        | 3,40               | 4,20                               | 3,80                                  | 3,80                              | 4,04                           | 3,80  | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,55                                       |                               |
|                 | Competencia desleal                                   | 3,80               | 3,00                               | 2,60                                  | 3,40                              | 3,80                           | 3,00  | 3,00   | 3,00   | 1,00  | 3,40                                       |                               |
| <b>PROMEDIO</b> |   | <b>3,11</b>        | <b>3,92</b>                        | <b>3,74</b>                           | <b>3,57</b>                       | <b>3,37</b>                    | <b>2,85</b>                                 | <b>3,04</b>  | <b>2,96</b>                                      | <b>2,96</b>   | <b>3,27</b>                                |                               |

**Anexo G.8. Resultados evaluación de impactos agrupados por categorías caso Malasia**

| Categorías de impacto             | Subcategoría de impacto                                | Nivel 3            | Nivel 2                          |   |  | Nivel 1  |  |   | Valoración ponderada del sistema Subcateg. | Valoración Sistema Categorías |
|-----------------------------------|--|--------------------|----------------------------------|---|--|--|--|---|--|-------------------------------|
|                                   |  | Empresa transporte | Construcción carreteras (<100km) | Refinación y distribución combustibles (<100km) | Fabricación vehículos (fuera del país) | Fabricación de componentes para vehículos (fuera del país) | Explotación/ producción de petróleo (en el país) | Producción de materiales pavimentación (en el país) |  |                               |
| Derechos humanos                  | Trabajo infantil                                       | ● 3,00             | ● 4,60                           | ● 3,80  | ● 3,80                                 | ● 5,00   | ● 5,00   | ● 5,00  | ● 3,82                                     | ● 3,52                        |
|                                   | Explotación/ trabajo forzado                           | ● 3,00 ● 2,88      | ● 4,20 ● 4,24                    | ● 3,40 ● 3,56                                   | ● 3,80 ● 3,80                          | ● 4,00 ● 4,11  | ● 4,00 ● 4,11                                    | ● 4,00 ● 4,11                                       | ● 3,52                                     |                               |
|                                   | Igualdad de oportunidades/ discriminación              | ● 2,60             | ● 3,80                           | ● 3,40  | ● 3,80                                 | ● 3,00   | ● 3,00   | ● 3,00  | ● 3,11                                     |                               |
| Derechos trabajadores             | Libre asociación de trabajadores                       | ● 3,00             | ● 3,40                           | ● 3,40  | ● 3,40                                 | ● 4,00   | ● 3,00   | ● 2,00  | ● 3,18                                     | ● 3,30                        |
|                                   | Salario justo  | ● 2,60             | ● 3,40                           | ● 5,00  | ● 3,00                                 | ● 3,00   | ● 5,00   | ● 3,00  | ● 3,25                                     |                               |
|                                   | Horario laboral justo                                  | ● 3,80 ● 3,05      | ● 3,40 ● 3,49                    | ● 2,60 ● 3,92                                   | ● 4,20 ● 3,54                          | ● 4,00 ● 3,52  | ● 2,00 ● 3,26                                    | ● 2,00 ● 2,39                                       | ● 3,47                                     |                               |
|                                   | Seguridad y salud en el trabajo                        | ● 2,60             | ● 3,00                           | ● 4,20  | ● 3,40                                 | ● 3,00   | ● 3,00   | ● 2,00  | ● 2,99                                     |                               |
|                                   | Beneficios sociales/seguridad social                   | ● 3,40             | ● 4,60                           | ● 4,20  | ● 3,80                                 | ● 4,00   | ● 3,00   | ● 3,00  | ● 3,70                                     |                               |
| Patrimonio cultural y comunidades | Deslocalización y migración                            | ● 3,00             | ● 3,80                           | ● 3,40  | ● 3,40                                 | ● 4,00   | ● 4,00   | ● 4,00  | ● 3,41                                     | ● 3,42                        |
|                                   | Respeto a las tradiciones locales/ patrimonio cultural | ● 3,80             | ● 4,20                           | ● 3,80  | ● 3,40                                 | ● 3,00   | ● 2,00   | ● 2,00  | ● 3,50                                     |                               |
|                                   | Respeto a los derechos de las comunidades indígenas    | ● 3,00             | ● 3,80                           | ● 3,40  | ● 3,00                                 | ● 3,00   | ● 4,00   | ● 3,00  | ● 3,20                                     |                               |
|                                   | Participación de la comunidad                          | ● 3,40 ● 3,13      | ● 3,80 ● 3,74                    | ● 3,40 ● 3,70                                   | ● 3,00 ● 3,69                          | ● 4,00 ● 3,91  | ● 3,00 ● 3,12                                    | ● 3,00 ● 3,00                                       | ● 3,38                                     |                               |
|                                   | Condiciones de vida seguras y saludables               | ● 3,40             | ● 3,80                           | ● 3,80  | ● 4,20                                 | ● 5,00   | ● 3,00   | ● 3,00  | ● 3,70                                     |                               |
|                                   | Acceso a recursos materiales                           | ● 3,00             | ● 4,20                           | ● 4,60  | ● 4,60                                 | ● 4,00   | ● 3,00   | ● 3,00  | ● 3,67                                     |                               |
|                                   | Acceso a recursos inmateriales                         | ● 3,00             | ● 3,80                           | ● 3,80  | ● 4,20                                 | ● 4,00   | ● 2,00   | ● 2,00  | ● 3,34                                     |                               |
|                                   | Transparencia en temas sociales/ medioambientales      | ● 2,20             | ● 2,60                           | ● 3,40  | ● 3,80                                 | ● 4,00   | ● 4,00   | ● 4,00  | ● 3,01                                     |                               |
| Repercusiones socio-económicas    | Creación de empleo local                               | ● 4,20             | ● 4,60                           | ● 3,40  | ● 3,00                                 | ● 5,00   | ● 4,00   | ● 4,00  | ● 4,00                                     | ● 3,66                        |
|                                   | Contribución a la economía nacional                    | ● 3,00             | ● 4,20                           | ● 4,20  | ● 3,80                                 | ● 4,00   | ● 5,00   | ● 3,00  | ● 3,62                                     |                               |
|                                   | Prevención y mitigación de conflictos armados          | ● 3,00             | ● 3,00                           | ● 3,00  | ● 3,40                                 | ● 4,00   | ● 4,00   | ● 4,00  | ● 3,26                                     |                               |
|                                   | Desarrollo tecnológico                                 | ● 2,20 ● 3,30      | ● 3,80 ● 3,97                    | ● 4,20 ● 3,67                                   | ● 5,00 ● 3,83                          | ● 5,00 ● 4,17  | ● 4,00 ● 4,16                                    | ● 4,00 ● 3,79                                       | ● 3,52                                     |                               |
|                                   | Relaciones con los proveedores                         | ● 3,40             | ● 3,00                           | ● 3,00  | ● 3,40                                 | ● 3,00   | ● 3,00   | ● 3,00  | ● 3,22                                     |                               |
|                                   | Confidencialidad con la información de los clientes    | ● 3,40             | ● 3,80                           | ● 3,80  | ● 4,20                                 | ● 3,00   | ● 4,00   | ● 4,00  | ● 3,66                                     |                               |
|                                   | Mecanismos de retroalimentación con los clientes       | ● 3,80             | ● 5,00                           | ● 3,80  | ● 4,20                                 | ● 5,00   | ● 5,00   | ● 5,00  | ● 4,25                                     |                               |
| Gobernanza                        | Compromiso público en temas de sostenibilidad          | ● 3,00             | ● 3,00                           | ● 3,40  | ● 3,80                                 | ● 3,00   | ● 3,00   | ● 3,00  | ● 3,18                                     | ● 3,42                        |
|                                   | Corrupción   | ● 3,80 ● 3,32      | ● 4,60 ● 3,78                    | ● 3,80 ● 3,56                                   | ● 4,20 ● 3,82                          | ● 4,00 ● 2,71  | ● 3,00 ● 3,35                                    | ● 2,00 ● 2,94                                       | ● 3,82                                     |                               |
|                                   | Competencia desleal                                    | ● 3,00             | ● 3,40                           | ● 3,40  | ● 3,40                                 | ● 1,00   | ● 4,00   | ● 4,00  | ● 3,12                                     |                               |
| PROMEDIO                          |  | 3,14               | 3,80                             | 3,68  | 3,74                                   | 3,77   | 3,54   | 3,23  | 3,46                                       |                               |
| INDICE DESEMPEÑO SOCIAL           |  | ● 3,11             | ● 3,85                           | ● 3,69  | ● 3,73                                 | ● 3,67   | ● 3,63   | ● 3,24  | ● 3,45                                     |                               |

**Anexo G.9. Resultados evaluación de impactos agrupados por stakeholders caso Malasia**

| Stakeholder     | Subcategoría de impacto                                | Nivel 3            |                                  |   | Nivel 2                                |  |  | Nivel 1   |             |      | Valoración ponderada del sistema Subcateg. | Valoración Sistema Categorías |
|-----------------|--|--------------------|----------------------------------|---|--|--|--|---|-------------|------|--|-------------------------------|
|                 |  | Empresa transporte | Construcción carreteras (<100km) | Refinación y distribución combustibles (<100km) | Fabricación vehículos (fuera del país) | Fabricación de componentes para vehículos (fuera del país) | Explotación/ producción de petróleo (en el país) | Producción de materiales pavimentación (en el país) |             |      |  |                               |
| Trabajadores    | Trabajo infantil                                       | 3,00               | 4,60                             | 3,80  | 3,80                                   | 5,00   | 5,00   | 5,00  | 3,82        | 3,39 |  |                               |
|                 | Explotación/ trabajo forzado                           | 3,00               | 4,20                             | 3,40  | 3,80                                   | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 3,52        |      |  |                               |
|                 | Igualdad de oportunidades/ discriminación              | 2,60               | 3,80                             | 3,40  | 3,80                                   | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,11        |      |  |                               |
|                 | Libre asociación de trabajadores                       | 3,00               | 3,40                             | 3,40  | 3,40                                   | 4,00   | 3,00   | 2,00  | 3,18        |      |  |                               |
|                 | Salario justo  | 2,60               | 3,40                             | 5,00  | 3,00                                   | 3,00   | 5,00   | 3,00  | 3,25        |      |  |                               |
|                 | Horario laboral justo                                  | 3,80               | 3,40                             | 2,60  | 4,20                                   | 4,00   | 2,00   | 2,00  | 3,47        |      |  |                               |
|                 | Seguridad y salud en el trabajo                        | 2,60               | 3,00                             | 4,20  | 3,40                                   | 3,00   | 3,00   | 2,00  | 2,99        |      |  |                               |
|                 | Beneficios sociales/seguridad social                   | 3,40               | 4,60                             | 4,20  | 3,80                                   | 4,00   | 3,00   | 3,00  | 3,70        |      |  |                               |
| Clientes        | Transparencia en temas sociales/ medioambientales      | 2,20               | 2,60                             | 3,40  | 3,80                                   | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 3,01        | 3,43 |  |                               |
|                 | Confidencialidad con la información de los clientes    | 3,40               | 3,80                             | 3,80  | 4,20                                   | 3,00   | 4,00   | 4,00  | 3,66        |      |  |                               |
|                 | Mecanismos de retroalimentación con los clientes       | 3,80               | 5,00                             | 3,80  | 4,20                                   | 5,00   | 5,00   | 5,00  | 4,25        |      |  |                               |
| Comunidad local | Deslocalización y migración                            | 3,00               | 3,80                             | 3,40  | 3,40                                   | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 3,41        | 3,59 |  |                               |
|                 | Respeto a las tradiciones locales/ patrimonio cultural | 3,80               | 4,20                             | 3,80  | 3,40                                   | 3,00   | 2,00   | 2,00  | 3,50        |      |  |                               |
|                 | Respeto a los derechos de las comunidades indígenas    | 3,00               | 3,80                             | 3,40  | 3,00                                   | 3,00   | 4,00   | 3,00  | 3,20        |      |  |                               |
|                 | Participación de la comunidad                          | 3,40               | 3,80                             | 3,40  | 3,00                                   | 4,00   | 3,00   | 3,00  | 3,38        |      |  |                               |
|                 | Condiciones de vida seguras y saludables               | 3,40               | 3,80                             | 3,80  | 4,20                                   | 5,00   | 3,00   | 3,00  | 3,70        |      |  |                               |
|                 | Acceso a recursos materiales                           | 3,00               | 4,20                             | 4,60  | 4,60                                   | 4,00   | 3,00   | 3,00  | 3,67        |      |  |                               |
|                 | Acceso a recursos inmateriales                         | 3,00               | 3,80                             | 3,80  | 4,20                                   | 4,00   | 2,00   | 2,00  | 3,34        |      |  |                               |
|                 | Creación de empleo local                               | 4,20               | 4,60                             | 3,40  | 3,00                                   | 5,00   | 4,00   | 4,00  | 4,00        |      |  |                               |
| Sociedad        | Contribución a la economía nacional                    | 3,00               | 4,20                             | 4,20  | 3,80                                   | 4,00   | 5,00   | 3,00  | 3,62        | 3,61 |  |                               |
|                 | Prevención y mitigación de conflictos armados          | 3,00               | 3,00                             | 3,00  | 3,40                                   | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 3,26        |      |  |                               |
|                 | Desarrollo tecnológico                                 | 2,20               | 3,80                             | 4,20  | 5,00                                   | 5,00   | 4,00   | 4,00  | 3,52        |      |  |                               |
|                 | Corrupción   | 3,80               | 4,60                             | 3,80  | 4,20                                   | 4,00   | 3,00   | 2,00  | 3,82        |      |  |                               |
| Otros actores   | Compromiso público en temas de sostenibilidad          | 3,00               | 3,00                             | 3,40  | 3,80                                   | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,18        | 3,17 |  |                               |
|                 | Relaciones con los proveedores                         | 3,40               | 3,00                             | 3,00  | 3,40                                   | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,22        |      |  |                               |
|                 | Competencia desleal                                    | 3,00               | 3,40                             | 3,40  | 3,40                                   | 1,00   | 4,00   | 4,00  | 3,12        |      |  |                               |
| <b>PROMEDIO</b> |  | <b>3,14</b>        | <b>3,80</b>                      | <b>3,68</b>                                     | <b>3,74</b>                            | <b>3,77</b>  | <b>3,54</b>                                      | <b>3,23</b>   | <b>3,46</b> |      |  |                               |

**Anexo H.8. Resultados evaluación de impactos agrupados por categorías caso España**

| Categorías de impacto             | Subcategoría de impacto                                | Nivel 3            | Nivel 2   |  | Nivel 1+                             | Nivel 1  |  |   | Valoración ponderada del sistema Subcateg. | Valoración Sistema Categorías |
|-----------------------------------|--|--------------------|---|--|--------------------------------------|--|--|---|--|-------------------------------|
|                                   |  | Empresa transporte | Refino y distribución combustibles (en el país) | Fabricación vehículos (fuera del país) | Construcción carreteras (en el país) | Fabricación de componentes para vehículos (fuera del país) | Explotación/ producción de petróleo (fuera del país) | Producción de materiales pavimentación (en el país) |  |                               |
| Derechos humanos                  | Trabajo infantil                                       | 3,40               | 4,20  | 3,80                                   | 5,00                                 | 5,00   | 2,00   | 5,00  | 3,93                                       | 3,45                          |
|                                   | Explotación/ trabajo forzado                           | 3,00 2,97          | 4,20 4,34                                       | 3,80 3,66                              | 4,00 3,57                            | 4,00 4,28  | 3,00 2,72  | 4,00 3,93   | 3,53                                       |                               |
|                                   | Igualdad de oportunidades/ discriminación              | 2,60               | 4,60  | 3,40                                   | 2,00                                 | 4,00   | 3,00   | 3,00  | 3,00                                       |                               |
| Derechos trabajadores             | Libre asociación de trabajadores                       | 3,80               | 4,60  | 3,80                                   | 4,00                                 | 5,00   | 2,00   | 4,00  | 3,90                                       | 3,74                          |
|                                   | Salario justo  | 4,20               | 5,00  | 3,00                                   | 3,00                                 | 3,00   | 5,00   | 3,00  | 3,79                                       |                               |
|                                   | Horario laboral justo                                  | 3,00 3,64          | 5,00 4,64                                       | 4,20 3,43                              | 5,00 3,73                            | 5,00 4,04  | 2,00 2,99  | 5,00 3,91   | 3,91                                       |                               |
|                                   | Seguridad y salud en el trabajo                        | 3,40               | 4,60  | 3,00                                   | 3,00                                 | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,33                                       |                               |
|                                   | Beneficios sociales/seguridad social                   | 3,80               | 3,80  | 3,40                                   | 4,00                                 | 5,00   | 2,00   | 5,00  | 3,88                                       |                               |
| Patrimonio cultural y comunidades | Deslocalización y migración                            | 3,00               | 3,40  | 3,80                                   | 3,00                                 | 5,00   | 1,00   | 3,00  | 3,18                                       | 3,52                          |
|                                   | Respeto a las tradiciones locales/ patrimonio cultural | 3,00               | 4,20  | 3,00                                   | 3,00                                 | 3,00   | 1,00   | 3,00  | 3,04                                       |                               |
|                                   | Respeto a los derechos de las comunidades indígenas    | 3,00               | 3,80  | 3,00                                   | 3,00                                 | 3,00   | 2,00   | 3,00  | 3,04                                       |                               |
|                                   | Participación de la comunidad                          | 3,00 3,26          | 5,00 4,29                                       | 3,40 3,46                              | 4,00 3,78                            | 5,00 4,15  | 3,00 2,24  | 4,00 3,78   | 3,59                                       |                               |
|                                   | Condiciones de vida seguras y saludables               | 3,80               | 4,20  | 3,00                                   | 5,00                                 | 5,00   | 1,00   | 5,00  | 3,92                                       |                               |
|                                   | Acceso a recursos materiales                           | 3,00               | 4,20  | 3,40                                   | 4,00                                 | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 3,50                                       |                               |
|                                   | Acceso a recursos inmateriales                         | 3,40               | 4,60  | 3,40                                   | 4,00                                 | 4,00   | 3,00   | 4,00  | 3,67                                       |                               |
|                                   | Transparencia en temas sociales/ medioambientales      | 3,40               | 4,60  | 4,60                                   | 3,00                                 | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,60                                       |                               |
| Repercusiones socio-económicas    | Creación de empleo local                               | 3,80               | 3,40  | 2,20                                   | 4,00                                 | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 3,55                                       | 3,70                          |
|                                   | Contribución a la economía nacional                    | 3,80               | 3,80  | 3,40                                   | 3,00                                 | 3,00   | 5,00   | 3,00  | 3,57                                       |                               |
|                                   | Prevención y mitigación de conflictos armados          | 3,00               | 3,40  | 3,40                                   | 4,00                                 | 4,00   | 2,00   | 4,00  | 3,34                                       |                               |
|                                   | Desarrollo tecnológico                                 | 4,20 3,77          | 5,00 4,03                                       | 5,00 3,46                              | 4,00 3,69                            | 5,00 3,94  | 1,00 2,92  | 4,00 3,69   | 4,27                                       |                               |
|                                   | Relaciones con los proveedores                         | 3,80               | 4,20  | 3,40                                   | 3,00                                 | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,53                                       |                               |
|                                   | Confidencialidad con la información de los clientes    | 3,40               | 4,20  | 3,80                                   | 4,00                                 | 4,00   | 1,00   | 4,00  | 3,61                                       |                               |
|                                   | Mecanismos de retroalimentación con los clientes       | 4,20               | 4,60  | 3,80                                   | 4,00                                 | 5,00   | 3,00   | 4,00  | 4,11                                       |                               |
| Gobernanza                        | Compromiso público en temas de sostenibilidad          | 3,00               | 3,80  | 3,80                                   | 4,00                                 | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,32                                       | 3,16                          |
|                                   | Corrupción   | 3,00 3,13          | 4,60 3,64                                       | 3,80 3,53                              | 3,00 3,37                            | 5,00 3,26  | 3,00 2,67  | 3,00 2,33   | 3,38                                       |                               |
|                                   | Competencia desleal                                    | 3,40               | 2,60  | 3,00                                   | 3,00                                 | 2,00   | 2,00   | 1,00  | 2,79                                       |                               |
| PROMEDIO                          |  | 3,40               | 4,22  | 3,52                                   | 3,65                                 | 4,00   | 2,58   | 3,62  | 3,55                                       |                               |
| INDICE DESEMPEÑO SOCIAL           |  | 3,40               | 4,22  | 3,50                                   | 3,64                                 | 3,94   | 2,76   | 3,57  | 3,54                                       |                               |

**Anexo H.9. Resultados evaluación de impactos agrupados por stakeholders caso España**

| Stakeholder     | Subcategoría de impacto                                | Nivel 3            | Nivel 2   |  | Nivel 1+                             | Nivel 1  |  |   | Valoración ponderada del sistema Subcateg. | Valoración Sistema Categorías |
|-----------------|--|--------------------|---|--|--------------------------------------|--|--|---|--|-------------------------------|
|                 |  | Empresa transporte | Refino y distribución combustibles (en el país) | Fabricación vehículos (fuera del país) | Construcción carreteras (en el país) | Fabricación de componentes para vehículos (fuera del país) | Explotación/ producción de petróleo (fuera del país) | Producción de materiales pavimentación (en el país) |  |                               |
| Trabajadores    | Trabajo infantil                                       | 3,40               | 4,20  | 3,80                                   | 5,00                                 | 5,00   | 2,00   | 5,00  | 3,93                                       | 3,68                          |
|                 | Explotación/ trabajo forzado                           | 3,00               | 4,20  | 3,80                                   | 4,00                                 | 4,00   | 3,00   | 4,00  | 3,53                                       |                               |
|                 | Igualdad de oportunidades/ discriminación              | 2,60               | 4,60  | 3,40                                   | 2,00                                 | 4,00   | 3,00   | 3,00  | 3,00                                       |                               |
|                 | Libre asociación de trabajadores                       | 3,80               | 4,60  | 3,80                                   | 4,00                                 | 5,00   | 2,00   | 4,00  | 3,90                                       |                               |
|                 | Salario justo  | 4,20               | 5,00  | 3,00                                   | 3,00                                 | 3,00   | 5,00   | 3,00  | 3,79                                       |                               |
|                 | Horario laboral justo                                  | 3,00               | 5,00  | 4,20                                   | 5,00                                 | 5,00   | 2,00   | 5,00  | 3,91                                       |                               |
|                 | Seguridad y salud en el trabajo                        | 3,40               | 4,60  | 3,00                                   | 3,00                                 | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,33                                       |                               |
|                 | Beneficios sociales/seguridad social                   | 3,80               | 3,80  | 3,40                                   | 4,00                                 | 5,00   | 2,00   | 5,00  | 3,88                                       |                               |
| Clientes        | Transparencia en temas sociales/ medioambientales      | 3,40               | 4,60  | 4,60                                   | 3,00                                 | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,60                                       | 3,69                          |
|                 | Confidencialidad con la información de los clientes    | 3,40               | 4,20  | 3,80                                   | 4,00                                 | 4,00   | 1,00   | 4,00  | 3,61                                       |                               |
|                 | Mecanismos de retroalimentación con los clientes       | 4,20               | 4,60  | 3,80                                   | 4,00                                 | 5,00   | 3,00   | 4,00  | 4,11                                       |                               |
| Comunidad local | Deslocalización y migración                            | 3,00               | 3,40  | 3,80                                   | 3,00                                 | 5,00   | 1,00   | 3,00  | 3,18                                       | 3,57                          |
|                 | Respeto a las tradiciones locales/ patrimonio cultural | 3,00               | 4,20  | 3,00                                   | 3,00                                 | 3,00   | 1,00   | 3,00  | 3,04                                       |                               |
|                 | Respeto a los derechos de las comunidades indígenas    | 3,00               | 3,80  | 3,00                                   | 3,00                                 | 3,00   | 2,00   | 3,00  | 3,04                                       |                               |
|                 | Participación de la comunidad                          | 3,00               | 5,00  | 3,40                                   | 4,00                                 | 5,00   | 3,00   | 4,00  | 3,59                                       |                               |
|                 | Condiciones de vida seguras y saludables               | 3,80               | 4,20  | 3,00                                   | 5,00                                 | 5,00   | 1,00   | 5,00  | 3,92                                       |                               |
|                 | Acceso a recursos materiales                           | 3,00               | 4,20  | 3,40                                   | 4,00                                 | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 3,50                                       |                               |
|                 | Acceso a recursos inmateriales                         | 3,40               | 4,60  | 3,40                                   | 4,00                                 | 4,00   | 3,00   | 4,00  | 3,67                                       |                               |
|                 | Creación de empleo local                               | 3,80               | 3,40  | 2,20                                   | 4,00                                 | 4,00   | 4,00   | 4,00  | 3,55                                       |                               |
| Sociedad        | Contribución a la economía nacional                    | 3,80               | 3,80  | 3,40                                   | 3,00                                 | 3,00   | 5,00   | 3,00  | 3,57                                       | 3,74                          |
|                 | Prevención y mitigación de conflictos armados          | 3,00               | 3,40  | 3,40                                   | 4,00                                 | 4,00   | 2,00   | 4,00  | 3,34                                       |                               |
|                 | Desarrollo tecnológico                                 | 4,20               | 5,00  | 5,00                                   | 4,00                                 | 5,00   | 1,00   | 4,00  | 4,27                                       |                               |
|                 | Corrupción   | 3,00               | 4,60  | 3,80                                   | 3,00                                 | 5,00   | 3,00   | 3,00  | 3,38                                       |                               |
| Otros actores   | Compromiso público en temas de sostenibilidad          | 3,00               | 3,80  | 3,80                                   | 4,00                                 | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,32                                       | 3,20                          |
|                 | Relaciones con los proveedores                         | 3,80               | 4,20  | 3,40                                   | 3,00                                 | 3,00   | 3,00   | 3,00  | 3,53                                       |                               |
|                 | Competencia desleal                                    | 3,40               | 2,60  | 3,00                                   | 3,00                                 | 2,00   | 2,00   | 1,00  | 2,79                                       |                               |
| <b>PROMEDIO</b> |  | <b>3,40</b>        | <b>4,22</b>                                     | <b>3,52</b>                            | <b>3,65</b>                          | <b>4,00</b>  | <b>2,58</b>  | <b>3,62</b>   | <b>3,55</b>                                |                               |

**Anexo I.1. Subcriterios utilizados en estudios basados en AHP para alternativas sostenibles en proyectos de transporte**

La revisión bibliográfica en el Anexo I.1 solo considera estudios revisados por pares que no solo incluyeron criterios técnicos y económicos, sino también criterios medioambientales y sociales. La clasificación de criterios no representa exactamente los criterios considerados en cada estudio. Los autores referenciados clasificaron los subcriterios de diferentes maneras. Por ejemplo, en algunos estudios, los subcriterios de seguridad y congestión fueron clasificados en criterios sociales, mientras que otros los clasificaron en criterios técnicos u operativos. De manera similar, el subcriterio de ruido fue clasificado en el criterio medioambiental y algunas veces en el criterio social. Por esa razón, además de los criterios económicos, medioambientales y sociales, fueron agregados otros criterios a la clasificación.

| Referencia | Enfoque del estudio   | Criterio   |  |  |                                 |                                       |             |
|------------|---|--|--|--|---------------------------------|---------------------------------------|-------------|
|            |   | Técnico/operativo  | Económico  | Medioambiental   | Social                          | Seguridad                             | Legislación |
| [705]      | Análisis de un sistema de enrutamiento de tráfico inteligente           | Tiempo individual de viaje<br>Tiempo de viaje vehículo comercial<br>Dificultad de conducción   | Costos tributarios   | Emisiones atmosféricas<br>Uso de energía                     |                                 | Colisiones                            |             |
| [706]      | Identificación de prioridades para el sistema de tráfico urbano         | Dificultades de acceso   |  | Ruido<br>Uso de suelos                                       |                                 | Seguridad de peatones                 |             |
| [707]      | Combustibles alternativos para el transporte de pasajeros por carretera | Seguridad de suministro<br>Soporte técnico local<br>Nueva infraestructura  | Costos del productor y del consumidor                                | Emisiones de gases nocivos                                   | Preferencias del consumidor     | Seguridad                             |             |
| [708]      | Inversiones en infraestructura vial                                     |  | Costo-beneficio  | Ruido y contaminantes del aire<br>Calidad del paisaje        |                                 | Seguridad                             |             |
| [709]      | Combustibles alternativos para el transporte de pasajeros por carretera | Congestión   | Costo de inversión   | Contaminantes del aire<br>Uso de suelos                      |                                 |                                       |             |
| [699]      | Inversiones en infraestructura vial                                     | Madurez/disponibilidad tecnológica<br>Adaptabilidad<br>Barreras de implementación  | Costes   | Potencial de reducción de emisiones<br>Eficiencia energética |                                 |                                       |             |
| [710]      | Tecnologías avanzadas de asistencia al conductor                        | Reducción de tiempos<br>Factibilidad técnica<br>Comodidad del conductor  | Costos del usuario<br>Gasto público                                  | Ruido<br>Emisiones   | Aceptabilidad social y política | Seguridad del conductor y de terceros |             |
| [703]      | Combustibles alternativos para el transporte público de pasajeros       | Fiabilidad del suministro de energía<br>Disponibilidad de tecnología y vías<br>Velocidad del flujo vehicular<br>Sensación de comodidad | Costos de implementación y mantenimiento<br>Relaciones con industria | Contaminantes del aire<br>Ruido<br>Eficiencia energética     |                                 |                                       |             |

(continúa en la página siguiente)

## Anexo I.1. (continuación)

| Referencia | Enfoque del estudio  | Criterio   |   |  |   |  |  |
|------------|--|--|---|--|---|--|--|
|            |  | Técnico/operativo  | Económico   | Medioambiental   | Social  | Seguridad  | Legislación  |
| [711]      | Inversiones en infraestructura vial                                    | Aplicabilidad técnica<br>Compatibilidad con el plan de tráfico de pasajeros<br>Capacidad de tráfico generada   | Costos de op. y mntto.<br>Impacto en el sistema de transp.te.   | Impacto en el ecosistema   | Desarrollo social<br>Impacto en patrimonio material<br>Compatibilidad con el desarrollo de la ciudad y el país      |  |  |
| [698]      | Inversiones en infraestructura vial                                    | Tiempos de viaje,<br>Reducción de retrasos<br>Accesibilidad  | Costos de inversión, operación y mntto.                         | Ruido, contaminación de aire, obstrucción visual<br>Ahorros energético                                 |   | Reducción de accidentes                          |  |
| [288]      | Producción de combustibles alternativos                                |  | Valor presente neto   | Potenciales impactos medioambientales  |   |  |  |
| [712]      | Inversión en infraestructura vial                                      | Instalaciones públicas y accesibilidad del transporte<br>Conectividad de comunidades   |   | Impacto en el aire, agua, suelo y biodiversidad<br>Ruido y desechos sólidos<br>Uso de suelo y paisajes | Destrucción del patrimonio cultural<br>Afectación a la calidad de vida<br>Afectación actividades económicas         |  |  |
| [713]      | Evaluar los impactos de diferentes modos de transporte                 | Capacidad de transporte del vehículo<br>Infraestructura de la red de transporte<br>Efectos estacionales  |   | Ruido, reducción de CO <sub>2</sub><br>Efectos en suelo, biodiversidad, uso de energía                 |   | Safety   |  |
| [714]      | Ubicación de terminales de carga intermodal                            | Operación intermodal: tiempo, servicios disponible, coordinación, calidad, conectividad, interoperabilidad<br>Volumen de importación/exportación, movilidad y congestión                   | Coste de transporte<br>Accesibilidad a mercados internacionales | CO <sub>2</sub><br>Uso de suelos<br>Materiales peligrosos<br>Uso de energía                            | Desarrollo socioeconómico<br>Desarrollo espacial  | Accidentes                                       | Cruce fronterizo<br>Estabilidad política, económica y social |
| [715]      | Inversión en infraestructura vial                                      | Líneas férreas: adaptabilidad, accesibilidad, coordinación<br>Pasajeros: accesibilidad, tiempo de viaje, proximidad  | Retorno de la inversión   | Ruido, aire, contaminación visual<br>Arquitectura y urbanismo<br>Usos del suelo                        | Costo de oportunidad de los trabajos existentes<br>Valor agregado para la región<br>Costos ahorrados para pasajeros |  | Coordinación con planes de desarrollo urbano                 |
| [700]      | Soluciones de transporte de pasajeros                                  | Satisfacción del usuario, niveles de congestión, número de usuarios, accesibilidad   | Costos  | Calidad del aire<br>Percepción de ruido<br>Consumo de combustible                                      |   | Seguridad  |  |
| [716]      | Inversión en infraestructura vial                                      | Accesibilidad  | Costos-beneficios   | Paisaje<br>Vida animal y vegetal   | Desarrollo urbano   |  |  |
| [717]      | Ubicación de terminales de carga intermodales                          | Accesibilidad a las carreteras principales<br>Accesibilidad a los destinos de carga<br>Incompatibilidad de camiones y carreteras, terminales y vecindarios.<br>Carga y descarga inadecuada | Costo de construcción<br>Costo de operación                     | Contaminación de aire  |   | Seguridad de tráfico<br>Seguridad de la terminal |  |
| [718]      | Política para promover el transporte limpio de pasajeros por carretera | Km conducidos<br>Factibilidad técnica  | Factibilidad financiera   | Emissiones (CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , MP)<br>Ecoscore promedio                               | Aceptación sociopolítica  |  |  |

(continúa en la página siguiente)

## Anexo I.1. (continuación)

| Referencia | Enfoque del estudio  | Criterio   |   |  |   |            |                      |
|------------|--|--|---|--|---|------------|----------------------|
|            |  | Técnico/operativo  | Económico   | Medioambiental   | Social  | Seguridad  | Legislación          |
| [719]      | Análisis de preferencias de usuarios en el transporte urbano en autobús    | Accesibilidad, inmediatez, disponibilidad de tiempo, perspicuidad, información antes y durante el viaje, fiabilidad, comodidad física y mental   |   |  |   |            | Seguridad del viaje  |
| [720]      | Combustibles alternativos para el transporte aéreo                         | Capacidad de producción<br>Nivel de disponibilidad de combustible<br>Compatibilidad  | Coste del combustible<br>Costo capital<br>Costo operacional                 | Impactos en el agua, el aire y el suelo  |   |            |                      |
| [721]      | Combustibles alternativos para el transporte de pasajeros por carretera    | Seguridad energética   | Costo de implementación,<br>Costo de madurez<br>tecnológica y de la energía | Emisiones de CO <sub>2</sub>   | Empleo<br>Bienestar Social  |            |                      |
| [722]      | Identificación de mercados potenciales para vehículos eléctricos           | Densidad de vehículos<br>Comportamiento de conmutación<br>Disponibilidad de infraestructura<br>Proyectos de demostración existentes  | Ahorro en coste de combustible  | Temperatura media<br>Emisiones de CO <sub>2</sub> (combustible)<br>Emisiones de CO <sub>2</sub> (automóvil)<br>Energía utilizada |   |            | Incentivos estatales |
| [723]      | Inversión en infraestructura vial  | Accesibilidad<br>Confiabilidad<br>Confort mental   |   | Contaminación del aire<br>Ruido  | Asequibilidad, espacios para peatones, bicicleta y transporte público<br>Afectación a la propiedad          | Seguridad  |                      |
| [724]      | Políticas de reducción de la contaminación para el transporte de pasajeros |  | Costo operacional<br>Variación del costo para el usuario                    | Emisiones de CO <sub>2</sub> y CO<br>Ruido<br>Consumo de combustible   | Propensión al servicio<br>Calidad de vida de la comunidad   |            |                      |
| [725]      | Soluciones de transporte urbano de pasajeros                               | Distribución de modos de transporte, intensidad de servicio, factor de carga, ratio de aparcamientos y carriles, modos no motorizados y efecto del depósito público en transbordo de mercancía |   | GEI<br>Contaminantes del aire<br>Proximidad a las áreas sensibles<br>Energía usada   | Movilidad de adultos mayores y personas discapacitadas<br>Subvención del transporte en áreas remotas        | Accidentes |                      |
| [702]      | Combustibles alternativos para el transporte de pasajeros por carretera    | Madurez tecnológica<br>Disponibilidad de infraestructura<br>Seguridad energética   | Costo de producción<br>Costo de inversión<br>Costo de infraestructura       | Emisiones de CO <sub>2</sub>   | Aceptación pública<br>Competencia con alimentos<br>Creación de empleo                                       |            |                      |
| [726]      | Redes de carreteras para el transporte de mercancías                       | Infraestructura de carga pesada<br>Congestión<br>Accesibilidad local y supra local   | Implementación y costos operacionales<br>Valor de la propiedad              | Ruido y contaminantes del aire<br>Impacto en la biodiversidad<br>Efectos de barrera  | Convivencia con el tráfico (vibración, emisiones y ruido)   | Accidentes |                      |
| [727]      | Soluciones de transporte público de pasajeros                              | Comodidad (congestión, tiempo de espera de viaje, fiabilidad, sistema de información de viaje)   | Costo monetario (ticket)  | Contaminación del aire<br>Contaminación acústica<br>Impacto visual   |   | Seguridad  |                      |
| [728]      | Inversión en infraestructura vial  | Longitud de la carretera<br>Tortuosidad del camino   | Costos de construcción  | Impacto en la conservación de áreas protegidas y corredores de vida silvestre<br>Influencia en el paisaje                        | Edificios residenciales cercanos<br>Edificios a ser demolidos<br>Número de parcelas para compra obligatoria |            |                      |

(continúa en la página siguiente)

## Anexo I.1. (continuación)

| Referencia | Enfoque del estudio  | Criterio   |  |  |                                 |  |                                  |
|------------|--|--|--|--|---------------------------------|--|----------------------------------|
|            |  | Técnico/operativo  | Económico  | Medioambiental   | Social                          | Seguridad                                    | Legislación                      |
| [729]      | Ubicación de puertos de carga marítimos                                    | Ubicación geoestratégica<br>Nivel de servicio<br>Competitividad  |  |  |                                 | Calidad de vida<br>Desarrollo socioeconómico | Seguridad y protección           |
| [730]      | Políticas de reducción de la contaminación para el transporte de pasajeros | Congestión   | Costos de inversión  | Contaminación del aire<br>Impacto en los hábitats naturales  |                                 |  |                                  |
| [731]      | Rutas multimodales para el transporte de mercancías                        | Riesgos operacionales, riesgos de infraestructura y equipos, riesgos de daño de mercancía<br>Tiempo de transporte  | Costos de transporte<br>Riesgos macroeconómicos  | Cambio climático,<br>Desechos tóxicos<br>Paisaje visual  |                                 |  | Riesgos políticos y legislativos |
| [732]      | Soluciones de transporte público de pasajeros                              | Tiempo de viaje, índice recorridos, nivel de integración, confiabilidad y disponibilidad del sistema de transporte público urbano  | Rentabilidad del sistema de transporte público urbano<br>Costos de inversión             | Impactos en el medioambiente   |                                 |  | Seguridad en los viajes          |
| [733]      | Política para mejorar la movilidad de los pasajeros                        | Conmutación (km vehículo recorridos y minutos recorridos por el vehículo)  | Costo de inversión   | CO, NOx, COV<br>Consumo energético   |                                 |  |                                  |
| [445]      | Recursos para la producción de biocombustibles                             |  | Viabilidad financiero-económica (TIR, costo de capital)                                  | Acidificación, eutrofización, creación de ozono fotoquímico, agotamiento abiótico y potencial de calentamiento global                                    | Potencial de creación de empleo |  |                                  |
| [704]      | Combustibles alternativos para el transporte de pasajeros por carretera    | Capacidad del vehículo, infraestructura vial, velocidad de tráfico, comodidad, suministro de energía, distancia a la estación de servicio, número de opciones de vehículos disponibles | Costos de implementación y mantenimiento<br>Relación industrial<br>Coste del combustible | Potencial de calentamiento global<br>Contaminación atmosférica y acústica<br>Potencial de agotamiento de recursos no renovables<br>Eficiencia energética |                                 |  |                                  |
| [734]      | Selección de modos de transporte de mercancías                             | Tiempo de transporte<br>Tiempo de congestión   | Precio del transporte  | CO <sub>2</sub><br>Ruido   |                                 |  | Riesgo de accidentes             |
| [735]      | Combustibles alternativos para el transporte marítimo                      | Madurez  | Costo de inversión y de operación  | SOx, NOx, MP<br>GEI  | Aceptabilidad social            |  | Apoyo estatal                    |
| [736]      | Soluciones de transporte de pasajeros                                      | Accesibilidad<br>Movilidad<br>Comodidad  | Costo de inversión   | Uso de suelos, protección del hábitat, contaminación, ruido y uso de energía   |                                 |  | Seguridad                        |
| [737]      | Políticas para mejorar la movilidad de los pasajeros                       | Tiempo de viaje<br>Comodidad   | Costo inicial<br>Costo de operación<br>Costo ambiental<br>Precio de viaje                | Contaminación<br>Ruido<br>Huella de carbono  | Salud                           |  |                                  |

### Anexo I.2. Datos para cada indicador en el caso a estudio en España

| Subcriterio                               | Vehículos    |         |         | Infraestructura |         |         | Combustibles |            |             |
|---|--------------|---------|---------|-----------------|---------|---------|--------------|------------|-------------|
|   | GNL          | Diésel  | HVO     | GNL             | Diésel  | HVO     | GNL          | Diésel     | HVO         |
| Coste inicial y de operación <sup>a</sup> | 100 K, + 10% | 70 K    | 70 K    | -               | -       | -       | 26,21        | 39,34      | 35,20       |
| Fiabilidad <sup>b</sup>                   | - 10%        | -       | 0       | 19              | >1000   | 81      | Bueno        | Bueno      | Bueno       |
| Legislación <sup>c</sup>                  | Subsidios    | Ninguno | Ninguno | Directiva       | Ninguno | Ninguno | -impuesto    | Ninguno    | Ninguno     |
| Emisiones de GEI <sup>d</sup>             | -            | -       | -       | -               | -       | -       | 1,1 – 1,2    | 1 – 1,25   | 1,15 – 1,43 |
| NOx y MP <sup>e</sup>                     | -            | -       | -       | -               | -       | -       | 0,2,         | 0,4, 0,006 | 0,4, 0,006  |
| Ruido <sup>f</sup>                        | -50%         | -       | 0       | 0               | -       | 0       | 0,0004       | -          | -           |
| Empleo <sup>g</sup>                       | -            | -       | -       | Bueno           | Neutro  | Neutro  | Pobre        | Bueno      | Neutro      |
| Beneficios sociales <sup>h</sup>          | -            | -       | -       | Bueno           | Neutro  | Neutro  | Bueno        | Pobre      | Neutro      |
| Aceptabilidad social <sup>i</sup>         | Bueno        | Neutro  | Neutro  | Neutro          | Neutro  | Neutro  | Bueno        | Pobre      | Neutro      |

<sup>a</sup> Vehículos: [742,743] y entrevistas, Combustibles: [332,742,745,765]

<sup>b</sup> Vehículos: [743] y entrevistas, Infraestructura: [745], Combustibles: [648,739,751–755]

<sup>c</sup> Vehículos: [744,747–749], Infraestructura: [51], Combustibles: [746]

<sup>d</sup> Combustibles: [210,332,333]

<sup>e</sup> Combustibles: [210,765,766]

<sup>f</sup> Vehículos: [210,748]

<sup>g</sup> Infraestructura: [742], Combustibles: [437,438,742]

<sup>h</sup> Infraestructura: [742], Combustibles: [46,437,438,648,739,742,759–761]

<sup>i</sup> Vehículos, infraestructura y combustibles: [742] y entrevistas

### Anexo J.1. Abreviaturas y acrónimos

|                 |  |
|-----------------|--|
| ACCV            | Análisis de Costes del Ciclo de Vida                                       |
| ACCV-f          | Análisis de Costes del Ciclo de Vida financiero                            |
| ACCV-m          | Análisis de Costes del Ciclo de Vida medioambiental                        |
| ACCV-mc         | Análisis de Costes del Ciclo de Vida medioambiental completo               |
| ACCV-s          | Análisis de Costes del Ciclo de Vida social                                |
| ACLCA           | American Center for Life Cycle Assessment                                  |
| ACV             | Análisis de Ciclo de Vida  |
| ACVS            | Análisis del ciclo de vida para la sostenibilidad                          |
| AEMA            | Agencia Europea del Medio Ambiente   |
| AHP             | Proceso de Análisis Jerárquico   |
| ALVW            | Adjusted Loaded Vehicle Weight   |
| ANP             | Proceso de Análisis en Red   |
| ASCV            | Análisis Social y socioeconómico del Ciclo de Vida                         |
| BGC             | Biogás Comprimido  |
| BPCs            | Bifenilos Policlorados   |
| BTL             | Biomass-To-Liquid  |
| CE              | Consumo Energético   |
| CEN             | Comité Europeo de Estandarización  |
| CFC             | Clorofluorocarbonos  |
| CH <sub>4</sub> | Metano   |
| CO              | Monóxido de carbono  |
| CO <sub>2</sub> | Dióxido de carbono   |
| COFRET          | Carbon Footprint of Freight Transport                                      |
| COL             | Colombia   |
| COPs            | Contaminantes Orgánicos Persistentes                                       |
| COV             | Compuestos Orgánicos Volátiles   |
| COVDM           | Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano                        |
| DALYs           | Años de vida ajustados por discapacidad                                    |
| DAP             | Declaración Ambiental de Producto  |
| DCB             | Diclorobenceno   |
| DDPCs           | Dibenzo Dioxinas Policloradas  |
| DFPCs           | Dibenzo Furanos Policlorados   |
| DME             | Dimetil Éter   |
| ECE             | Esquema de Comercio de Emisiones   |
| ECOSOC          | Declaración de la ONU sobre los derechos económicos, sociales y culturales |

|                  |   |
|------------------|---|
| EEA              | European Environmental Agency                                       |
| EEV              | Vehículo Eléctrico  |
| EICV             | Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida                            |
| EMEP             | European Monitoring and Evaluation Programme                        |
| EPA              | Environmental Protection Agency                                     |
| EPS              | Environmental Priority Strategies                                   |
| ES               | España  |
| ETBE             | Etil Terbutil Éter  |
| ExternE          | Externalities of Energy   |
| FAME             | Fatty acid methyl/ethyl esters (ésteres metílicos de ácidos grasos) |
| FC               | Factor de Carga   |
| FE               | Factor de Emisiones   |
| FNCE             | Fuentes No Convencionales de Energía                                |
| GEI              | Gases de Efecto Invernadero   |
| GLO              | Global  |
| GLP              | Gas Licuado de Petróleo   |
| GN               | Gas Natural   |
| GNC              | Gas Natural Comprimido  |
| GNL              | Gas Natural Licuado   |
| GREET            | Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy Transportation    |
| GTAP             | Global Trade Analysis Project                                       |
| Gtkm             | Toneladas brutas por kilometro                                      |
| GTL              | Gas-to-liquid   |
| GWP              | Global Warming Potential  |
| HAPs             | Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos                               |
| HC               | Hidrocarburos inquemados  |
| HCM              | Highway Capacity Manual   |
| HDM              | Highway Development and Management                                  |
| HVO              | Hydrotreated Vegetable Oil  |
| ICGP             | Comité Interinstitucional sobre las directrices y principios        |
| ICV              | Inventario del Ciclo de Vida  |
| IDS              | Índice de Desempeño Social  |
| ILUC             | Cambio indirecto del uso del suelo                                  |
| IOA              | Input-Output analysis   |
| IPCC             | Intergovernmental Panel on Climate Change                           |
| ISO              | Organización internacional de normalización                         |
| ITV              | Inspección Técnica Vehicular  |
| LCC              | Life Cycle Costing  |
| LCF              | Factor de corrección de carga                                       |
| LIME             | Life cycle Impact assessment Method based on Endpoints              |
| LVW              | Loaded Vehicle Weight   |
| MCA              | Análisis multi-criterio   |
| MCDA             | Análisis de decisión multi-criterio                                 |
| MCN              | Matrices de Comparación Normalizadas                                |
| MCP              | Matrices de Comparación por Pares                                   |
| MCPS             | Matriz de Comparación por Pares de Subcriterios                     |
| MDL              | Mecanismo de Desarrollo Limpio                                      |
| MJ               | Mega Julios   |
| MOO              | Optimización multi-objetivo   |
| MOVES            | Motor Vehicle Emission Simulator                                    |
| MP               | Materia Particulada   |
| MPB              | Modelo de presupuestos multi-periodo                                |
| MY               | Malasia   |
| N <sub>2</sub> O | Óxido nitroso   |
| NO <sub>2</sub>  | Dióxido de nitrógeno  |
| NOx              | Óxidos de nitrógeno   |
| NSE              | North-Eouth Expressway  |
| OBD              | On-board Diagnostics  |
| OIT              | Organización Internacional del Trabajo                              |
| OMS              | Organización Mundial de la Salud                                    |
| ONG              | Organización No Gubernamental                                       |
| PBV              | Peso Bruto Vehicular  |
| PCG              | Potencial de Calentamiento Global                                   |
| PEN              | Plan Energético Nacional  |
| PIB              | Producto Interior Bruto   |
| pkm              | Pasajeros-kilómetro   |
| PM               | Matriz de Prioridad   |
| PRP              | Performance Reference Points  |
| Pt               | Puntos  |
| RECORDIT         | Real cost reduction of door-to-door intermodal transport            |

|                 |   |
|-----------------|---|
| RoW             | Resto del mundo (sin europa)  |
| RSC             | Responsabilidad Social Corporativa                                  |
| SCF             | Factor de corrección por la velocidad                               |
| SETAC           | Society of Environmental Toxicology And Chemistry                   |
| SHDB            | Social Hotspot Database   |
| si              | Índices de sostenibilidad   |
| SO <sub>2</sub> | Dióxido de azufre   |
| SOV             | Sistema de Operación del Vehículo                                   |
| SPV             | Vector de Prioridad de Subcriterio                                  |
| SV              | Vector de Sostenibilidad  |
| t               | Toneladas   |
| TCO             | Total Cost of Ownership   |
| TJ              | Tera Julio  |
| tkm             | Tonelada-kilometro  |
| TMP             | Total de Materia Particulada  |
| TTW             | Tank-to-Wheels  |
| U235            | Uranio-235  |
| UE              | Unión europea   |
| ULSD            | Ultra Low Sulphur Diesel  |
| UNEP            | United Nations Environment Programme                                |
| UNITE           | Unification of accounts and marginal costs for transport efficiency |
| vkm             | Vehículo-kilometro  |
| WBCSD           | Consejo empresarial mundial para el desarrollo sostenible           |
| WTA             | Willingness to Accept   |
| WTP             | Willingness to Pay  |
| WTT             | Well-to-Tank  |
| WTW             | Well-to-Wheels  |