



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

Análisis de la Distribución Urbana de Mercancías
(DUM) mediante la definición de indicadores
(KPIs): económicos, de sostenibilidad y de logística

Analysis of Urban Goods Distribution (UGD) through
the definition of Key Performance Indicators (KPIs):
Economic, Sustainability, and Logistics

Autor/es

Daniel Alcalde Sierra

Director/es

Jesús Antonio Royo Sánchez
María Pilar Lambán Castillo

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
2023

Análisis de la Distribución Urbana de Mercancías (DUM) mediante la definición de indicadores (KPIs): económicos, de sostenibilidad y de logística

Resumen

Mediante este Trabajo de Fin de Máster se ha realizado un estudio de **Distribución Urbana de Mercancías (DUM)**, mediante la definición y cálculo de **Key Performance Indicators (KPIs)** de forma normalizada en áreas de sostenibilidad, logística y economía, específicos de este tipo de distribución. Estos KPIs sirven para las empresas de DUM como guía normalizada. Para ello, se ha analizado la caracterización, operativa y problemática de la DUM.

Se ha creado un **cuadro de mando de KPIs** que permite a las empresas visualizar algunas de las variables más relevantes para sus intereses. Para ello se han desarrollado, mediante la herramienta **Microsoft Power BI**, una serie de paneles de visualización de alguno de los KPIs de mayor importancia en áreas de logística-operativa, eficiencia y sostenibilidad, que permiten a las empresas tener una visión completa y detallada de la actividad de sus vehículos. Los paneles desarrollados permiten el análisis diario de las paradas de los vehículos, del OEE, de la huella de carbono y de la eficiencia de entregas, así como el seguimiento de la evolución temporal de variables imprescindibles, como el OEE y la huella de carbono. De este modo se facilita la implantación de áreas de mejora y detección de problemas en determinados procesos.

La creación de estos paneles ha sido posible gracias a la colaboración con la **Empresa X**, dedicada a la DUM (distribución de alimentos refrigerados). Esta empresa ha proporcionado datos muy relevantes (como la información de su plataforma de control de flotas) que han sido utilizados para el cálculo de los KPIs, que han permitido visualizar la información en los paneles desarrollados.

Se ha mantenido una **comunicación constante** con el personal logístico de la empresa y, posteriormente, se les ha mostrado los resultados obtenidos en el proyecto y se han hecho sugerencias para complementar el estudio con nueva información que permita optimizar los KPIs para obtener medidas más precisas. Como resultado, el cuadro de mando de KPIs ha sido **implantado en la operativa de la empresa**, brindando un control exhaustivo de los KPIs de eficiencia y sostenibilidad, algo que no se realizaba antes de la elaboración del proyecto.

Índice

1. Introducción.....	1
1.1. Objetivos.....	1
1.2. Alcance	1
2. Distribución urbana de mercancías (DUM)	2
2.1. Definición y contexto.....	2
2.2. Caracterización del proceso	4
2.3. Agentes en la DUM	5
2.4. Problemática de la DUM	6
2.5. Iniciativas para la mejora en DUM.....	7
3. Establecimiento de Key Performance Indicators (KPIs) para DUM.....	8
3.1. KPIs establecidos	10
3.2. Overall Equipment Effectiveness (OEE)	12
3.3. Huella de carbono (HC).....	14
3.4. On time in full (OTIF)	17
4. Estudio e implementación en un caso real	18
4.1. Obtención de datos de la Empresa X. App de gestión de flotas	19
4.2. Establecimiento de KPIs para la Empresa X	21
5. Resultados	26
6. Análisis económico del proyecto	40
7. Conclusiones	42
7.1. Líneas futuras.....	43
8. Bibliografía	44
Índice de figuras	49
Índice de tablas	50
9. ANEXO I: Información complementaria de DUM y huella de carbono	52
9.1. Distribución urbana de mercancías.....	52
9.2. Proceso de DUM. Caracterización.....	53
9.3. Clasificación y principales actividades de la DUM.....	54
9.4. Problemática de la DUM. Desarrollo de los principales problemas.....	55
9.5. Iniciativas para la mejora en DUM.....	58
9.6. Huella de carbono	61
10. ANEXO II: Definición de KPIs.....	63
10.1. KPIs de logística.....	63
10.2. KPIs de sostenibilidad.....	81

10.3.	KPIs económicos.....	85
11.	ANEXO III: Obtención de variables	92
11.1.	Aplicación de control de flotas.....	92
11.2.	Cálculo de Huella de Carbono y OEE mensual	95
11.3.	Cambio de formato de tiempos en la base de datos	96
12.	ANEXO IV: Muestra ampliada de paneles del cuadro de mando de KPIs	97

1. Introducción

1.1. Objetivos

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Máster es el estudio y la caracterización de la Distribución Urbana de Mercancías (en adelante, DUM) para la definición y el cálculo de Key Performance Indicators (en adelante, KPIs) enfocados a áreas de sostenibilidad, logística y economía, que proporcionen una visión clara y cuantificable de los aspectos más importantes de este tipo de distribución.

Se va a llevar a cabo una normalización de los KPIs recopilados, mediante la utilización de la norma ISO 2240, que permitirá que las empresas de DUM dispongan de una guía de KPIs normalizados que puedan utilizar para el análisis de su operativa.

Se va a diseñar un cuadro de mando que permita visualizar los KPIs más importantes de este tipo de distribución. Al implementar este panel en las empresas, tendrán una visión más completa y detallada de su actividad, para facilitar la toma de decisiones empresariales en base a datos objetivos.

Se va a utilizar información real de una empresa dedicada al sector de la DUM, que va a proporcionar la información de su flota de vehículos de distribución. Mediante esta información se van a calcular los KPIs específicos de la actividad de la empresa, que permitirán el desarrollo de los paneles interactivos del cuadro de mando.

Tras la creación del cuadro de mando específico de la empresa, formado por los diferentes paneles, se van a mostrar los resultados obtenidos a la empresa, para poder implementarlo en su operativa diaria. Le permitirá tener una visión detallada de distintas áreas de su desempeño de distribución, proporcionando información valiosa que se podrá utilizar para la toma de decisiones estratégicas y la identificación de áreas de mejora.

Al lograr estos objetivos, se pretende contribuir al desarrollo y mejora del sector de DUM, proporcionando a las empresas herramientas y conocimientos que permitan evaluar, gestionar y optimizar sus operaciones en cuanto a logística, economía y sostenibilidad.

1.2. Alcance

El proyecto está enfocado en el análisis y desarrollo de distintos KPIs en el ámbito de DUM, que permitan evaluar y obtener mejoras en áreas de logística, economía y de sostenibilidad.

Para la selección y el desarrollo de los KPIs es necesaria una puesta en contexto de la caracterización, proceso, agentes y problemática de este tipo de distribución, que permita conocer el desarrollo de la operativa y saber qué aspectos tienen mayor relevancia en el proceso. Esto ha permitido evaluar las distintas posibilidades de optimización y realización de mejoras en la distribución de última milla.

El siguiente paso es la definición y cálculo de KPIs para la realización de mediciones y seguimientos de la DUM. Para ello es necesario considerar distintas variables relevantes

en el proceso que permitan analizar este tipo de distribución (número de paradas, tiempos de parada, tiempos de movimiento de ruta, eficiencia de los vehículos, consumo de combustible o huella de carbono, entre otros).

A partir de estos KPIs establecidos en el estudio, se ha de aplicar al caso real de la Empresa X, dedicada a la DUM, en concreto, a la distribución de productos alimentarios refrigerados, como yogures. Esta empresa ha proporcionado las bases de datos de su flota de vehículos para poder calcular los KPIs definidos en el proyecto.

Se ha de aplicar la normativa ISO 2240 para la descripción y estandarización de los distintos KPIs definidos. Se ha de incluir información relevante, como la definición de cada KPI, sus fórmulas de cálculo, unidades de medida y límites de cálculo.

Se va a utilizar la herramienta Power BI para la visualización de los resultados obtenidos mediante el desarrollo de paneles de KPIs que permitan crear un cuadro de mando de KPIs enfocado a DUM. Este programa permite el desarrollo de elementos visuales como gráficos, que facilitan la interpretación de los datos, así como la identificación de patrones y tendencias. Se van a crear varios paneles, en su conjunto, mostrarán una información muy valiosa para las empresas en cuanto a logística y sostenibilidad, y cuya implantación significaría una importante fuente de información para estas.

Se va a presentar el cuadro de mando a la Empresa X, para mostrar la información que se puede obtener mediante su uso. Se propondrán distintas optimizaciones en la toma de medidas para la obtención de resultados más fiables de los distintos KPIs. Una vez validado, va a ser implementado en la operativa de la empresa, que les permitirá tener un control exhaustivo de los KPIs más importantes en cuanto a eficiencia y sostenibilidad. Esto les permitirá la toma de decisiones informadas que permitan la optimización de sus procesos.

2. Distribución urbana de mercancías (DUM)

2.1. Definición y contexto

La **Distribución Urbana de Mercancías (DUM)** se define como como “el conjunto de actividades de distribución comercial efectuadas en el interior del área urbana de una ciudad” [1].

Este tipo de distribución es un aspecto muy importante para el desarrollo económico de las ciudades. Los entornos urbanos han experimentado una constante adaptación y transformación, y las ciudades más importantes crecen cada vez más, absorbiendo núcleos urbanos, creando nuevos barrios o ampliando los ya existentes. Todos estos cambios en las ciudades conllevan una adaptación de la estrategia operacional por parte de las empresas distribuidoras de mercancías, que tienen la necesidad de obtener un equilibrio entre eficacia y eficiencia en el reparto urbano. La mayor parte de los movimientos al interior y exterior de los núcleos urbanos se produce durante los mismos periodos horarios, lo que conlleva grandes complicaciones que hacen que no siempre se cumpla la ordenanza vigente por parte de los repartidores, cuyo objetivo es satisfacer a

los clientes y realizar su trabajo a tiempo y de manera eficiente. En la *Figura 1* se muestra un ejemplo de realización de entrega en DUM.



Figura 1. Entrega de mercancías en DUM [2]

A estos hechos, es necesario añadir la enorme **evolución del e-commerce**, que afecta de manera directa al desarrollo de la DUM. Este aumento de compras por internet hace que el volumen de mercancías a entregar a los usuarios sea cada vez mayor. Es tanta la evolución de este tipo de comercio que, para el año 2020, la frecuencia de compra online fue de 3,5 veces al mes [3] y, actualmente, un 52% de la gente encuestada en España realizan la mayor parte de sus compras de manera online [4]. Esto se debe a factores como los problemas de stock a corto plazo.

En el gráfico (*Figura 2*) se puede apreciar la evolución del volumen total de negocio y la variación interanual del e-commerce desde el año 2017 hasta el tercer trimestre del año 2022 en España [5]. Se puede apreciar que el volumen total del negocio se ha triplicado desde 2017, y este aumento se prevé que cada vez sea mayor.

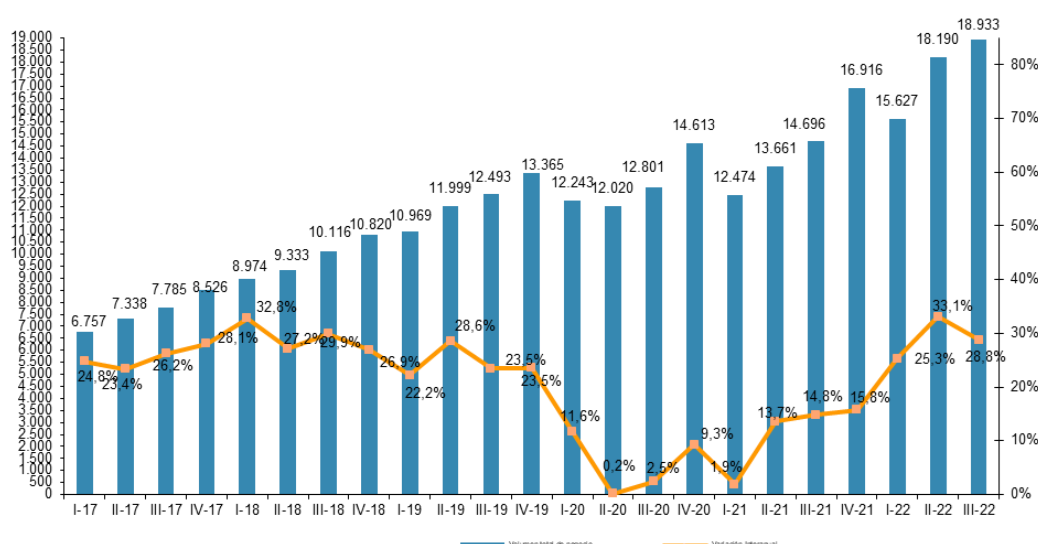


Figura 2. Evolución del e-commerce (2017 - 2022) [5]

Cada vez son más las ciudades que tienen en cuenta la integración del DUM en el desarrollo urbanístico. Además, se crean nuevos centros o áreas comerciales que permiten

la planificación de carga y descarga. En Zaragoza, esto ocurre, sobre todo, en centros comerciales y plataformas logísticas [1].

2.2. Caracterización del proceso

Las **características de la DUM** tienen grandes diferencias en comparación al transporte por carretera de media y larga distancia. Sin embargo, ambas actividades están relacionadas con la logística y el transporte de bienes, y son fundamentales para un correcto funcionamiento de la cadena de suministro. La distribución de última milla consta de una menor distancia de recorrido, una necesidad de mayor accesibilidad de los vehículos (por calles más estrechas) y la obligación de hacer frente a restricciones de horarios de entrega. El transporte por carretera se realiza en rutas mucho más largas y con mayor planificación, ya que son más fáciles de estimar. En la *Figura 3* se muestra un ejemplo de vehículo de transporte de larga distancia y otro de un vehículo de DUM.



Figura 3. Vehículo de transporte por carretera (izquierda) [6] y vehículo de DUM (derecha) [7]

Si se habla del **tipo de vehículos** utilizados, también se pueden encontrar diferencias considerables. En el transporte por carretera predomina la utilización de camiones de gran capacidad y peso, a diferencia del caso de la DUM, donde se utilizan vehículos de menor tamaño, como furgonetas o camiones ligeros. La carga en la DUM suele ser más diversa que en la distribución por carretera, que consta de carga más homogénea y de gran volumen. [8]

La DUM puede requerir tecnología y equipamiento específicos, como vehículos eléctricos o bicicletas de carga. En función del tipo de producto, se podrá utilizar un medio de transporte u otro, teniendo en cuenta aspectos como el rendimiento, consumo de combustible o desgaste del vehículo, entre otros. En el caso de productos de tamaño pequeño y trayectos cortos de entrega, las empresas pueden utilizar transportes como bicicletas o patinetes eléctricos, promoviendo la sostenibilidad y la reducción del impacto medioambiental. En caso de productos de mayor tamaño, se utilizan vehículos más grandes como camiones pequeños o furgonetas.

Si se analiza la **caracterización general de la DUM**, se pueden tener en cuenta los puntos significativos que se mencionan a continuación. [1]

- Recorridos cortos
- Poco tiempo de conducción efectiva

- Elevados tiempos de parada de vehículos
- Gran importancia de la configuración logística del espacio
- Importancia de las infraestructuras de tráfico
- Hincapié en la concienciación medioambiental
- Numerosas regulaciones gubernamentales para la realización de la operativa

Según el **tipo de actividades** a las que se destina el transporte de última milla, se puede distinguir entre distintos tipos. Cada tipo suele tener características muy diferenciadas entre ellos en cuanto a condiciones de la entrega y operativa de transporte, variando mucho el tipo de paquete a repartir y los vehículos utilizados. Entre las actividades más importantes destacan: suministro a tiendas y establecimientos; hoteles, restaurantes y cafeterías (HORECA); mercancías especiales; productos de alimentación; grandes superficies comerciales; y suministro a viviendas [1]. La clasificación de la DUM y los tipos de actividad se encuentran desarrollados de forma más amplia en el punto 3 del *ANEXO I: Información complementaria de DUM y huella de carbono*. En la *Figura 4* se pueden apreciar las actividades que se acaban de comentar.



Figura 4. Actividades principales en DUM (elaboración propia)

2.3. Agentes en la DUM

La creciente demanda de entregas de productos en entornos urbanos, junto con los que siempre se han demandado, hace que la DUM sea un tema cada vez más relevante. Es de vital importancia identificar y conocer los principales agentes implicados en la DUM, ya que cada uno de ellos protagoniza un papel clave en el proceso de entrega de los productos.

Entre los **principales agentes** (*Figura 5*) destacan: los productores, que se encargan de fabricar y, a veces, transportar y distribuir los productos al usuario final; los operadores logísticos, que proporcionan servicios de gestión y coordinación de la cadena de suministro; los distribuidores, encargados de comprar productos diversos y concentrarlos en plataformas logísticas para su posterior distribución; los transportistas, que llevan las mercancías desde los almacenes o centros de distribución hasta el usuario final; los clientes y residentes, desde empresas hasta usuarios; y la administración y las autoridades locales, encargadas del establecimiento de regulaciones y políticas sobre DUM. [1].



Figura 5. Agentes de DUM (elaboración propia)

Para mejorar la eficiencia de la distribución de última milla, los agentes han de llevar a cabo **diversas estrategias** en materia de tecnologías innovadoras, cooperación entre los diferentes actores e implementación de políticas gubernamentales. De este modo, se busca minimizar, en lo posible, el impacto en las ciudades debido a este proceso, y garantizar la eficiencia en las operaciones de distribución.

2.4. Problemática de la DUM

La distribución de última milla conlleva numerosos desafíos en el transporte de bienes en entornos urbanos, lo que hace que su estudio sea una cuestión clave en la logística moderna, debido a su impacto en la economía, el medio ambiente y la calidad de vida de las personas. La DUM puede, además, tener grandes implicaciones en la cadena de suministro de las empresas, los costes operativos, la satisfacción del cliente y la competitividad en el mercado. También conlleva grandes efectos negativos, como la congestión del tráfico, o la contaminación del aire y el ruido, que pueden tener consecuencias con respecto a la calidad de vida, la salud y la sostenibilidad. Identificar y comprender los desafíos y oportunidades asociados a la distribución en áreas urbanas, así como el desarrollo de estrategias y soluciones adecuadas para abordarlos, es uno de los retos más importantes del sector para el futuro.

Entre los **principales problemas** de la DUM (*Figura 7*) se encuentran las **calles y carreteras estrechas** que impiden al vehículo de distribución realizar el reparto de forma adecuada (suele suceder en las zonas céntricas de las ciudades) [9]. También es importante tener en cuenta la **congestión** que se genera en las vías principales en determinadas horas del día, así como en zonas con **alta confluencia de vehículos y peatones** [10], que hacen que la DUM se realice de forma menos efectiva y con un mayor coste; o las **regulaciones especiales de tráfico** que limitan los accesos a ciertos tipos de vehículo por motivos de peso, dimensiones o tipo de mercancías [1]. En las siguientes imágenes (*Figura 6*) se puede observar alguna dificultad operativa de la DUM (calles estrechas y atascos).



Figura 6. Congestión de vías y dificultad de realización de DUM [11][12]

Además, es común que en determinadas zonas de las ciudades se produzcan **incompatibilidades de horarios** entre comercios y accesos de vehículos [13], o incluso **cambios de normativas entre distintas ciudades**. Estas problemáticas se encuentran desarrolladas de forma más específica en el punto 4 del *ANEXO I: Información complementaria de DUM y huella de carbono*.

PROBLEMÁTICA DE DUM
Congestión del tráfico
Contaminación del aire
Ruido
Calles y carreteras estrechas
Confluencia de vehículos y peatones
Regulaciones especiales de tráfico
Incompatibilidades de horarios

Figura 7. Problemática en la DUM (elaboración propia)

2.5. Iniciativas para la mejora en DUM

Como se ha podido observar en el apartado anterior, la DUM lleva consigo impactos negativos en cuanto a la calidad de vida urbana. Es por ello de vital importancia poner hincapié en la realización de iniciativas que permitan obtener mejoras en este tipo de distribución, en busca de una mayor eficiencia, sostenibilidad y calidad en las zonas urbanas. Por este motivo, es necesario llevar a cabo estrategias con el objetivo de mejorar este tipo de transporte y disminuir su impacto negativo.

La creciente demanda de movilidad existente en la actualidad hace que exista un constante interés en cuanto a investigación de sistemas de transporte con mayor eficacia y sostenibilidad, mediante el uso de tecnologías como dispositivos de control, técnicas para optimizar la red existente y los sistemas de información, y diseño de distintas metodologías que permitan optimizar este tipo de distribución desde un punto de vista sistemático. La utilización de **vehículos no contaminantes** o de bajas emisiones es uno de los principales retos en la actualidad. [14]

Un ejemplo de este tipo de mejoras puede ser el uso de **horarios de entrega escalonados**, para evitar que los vehículos de reparto lleguen al mismo lugar en el mismo periodo de tiempo, generando tiempos de espera innecesarios [15]. También es una buena estrategia la utilización de **zonas de consolidación** que permitan agrupar las mercancías de uno o varios proveedores que llegan en vehículos de mayor tamaño para, desde allí, distribuirlos de forma optimizada en vehículos más pequeños [16]. En el punto 5 del *ANEXO I: Información complementaria de DUM y huella de carbono* se explica de forma detallada la importancia de estos puntos de mejora.

Para la realización adecuada de cualquier mejora, es necesario que los distintos **agentes de la DUM** se encuentren coordinados en todo momento, para realizar de forma adecuada cualquier tipo de planificación y obtener de este modo una mayor eficiencia en los procesos. [17]

La definición y seguimiento mediante KPIs también es una buena forma de obtener optimizaciones y mejoras constantes en la distribución urbana, ya que permiten evaluar el desempeño de las distintas partes del proceso y determinar el cumplimiento o no cumplimiento de los objetivos establecidos mediante la utilización de datos objetivos y cuantitativos. Es en este punto de mejora en el que se ha puesto mayor hincapié para la realización de este proyecto.

3. Establecimiento de Key Performance Indicators (KPIs) para DUM

Un **Key Performance Indicator (KPI)** es una métrica o medida cuantificable y bien definida que permite identificar si una acción o conjunto de iniciativas están cumpliendo los objetivos propuestos por una organización [18]. En ámbito de producción, se trata de una medida determinada que se utiliza para evaluar el rendimiento a lo largo del tiempo. Las empresas utilizan KPIs específicos para supervisar, analizar y optimizar operaciones [19]. En este caso, se emplea para la medición del desempeño en áreas de transporte, en concreto, de DUM. El uso de KPIs en tiempo real, permite a las empresas detectar de forma rápida los distintos problemas ocasionados en la operativa y, a lo largo del tiempo, permite conocer la evolución de las distintas variables tras la implantación de cambios o mejoras.

La **operativa de la DUM** es muy diferente a la de otros tipos de transporte, como el de carretera. El caso del transporte de carretera se basa en la optimización y traslado de la mercancía de un lugar a otro, mediante trayectos a velocidad prácticamente constante y con una predicción bastante sencilla de muchas de las variables. Este tipo de transporte

(por carretera) consta de numerosos indicadores, ya definidos, que utilizan las empresas para realizar un seguimiento de las rutas de sus vehículos.

Este no es el caso de la DUM, cuya operativa es muy diferente y de mayor complejidad. Este tipo de distribución se desarrolla en el interior de las áreas urbanas densamente pobladas, donde el tráfico, la congestión y otros factores como las restricciones de acceso, dificultan que las entregas se realicen de forma eficiente y requiere de una planificación muy cuidadosa de las rutas. Por estos motivos, muchos de los factores que hay que tener en cuenta en la operativa de la DUM no son tan importantes en el caso del transporte por carretera. Existen algunos KPIs específicos de este tipo de distribución, mientras que otros han tenido que ser adaptados tomando como base los KPIs del transporte por carretera.

En este punto, han sido definidos distintos KPIs que pueden ser de utilidad para el desarrollo, optimización y seguimiento de la DUM en áreas de logística, sostenibilidad y economía.

Atendiendo a la **problemática logística** del transporte de última milla que ha sido analizada en el presente documento, algún inconveniente como la estrechez de las calles, las regulaciones de tráfico o la falta de homogeneización entre ciudades, son difícilmente solucionables. Esto se debe a que son factores que no dependen directamente de las empresas y es muy complicado establecer medidas por parte de estas que permitan disminuirlos. Por este motivo, las empresas de distribución urbana han de adaptarse a las características de las ciudades y tenerlas en cuenta a la hora de optimizar sus procesos.

Otros problemas de este tipo de distribución se podrían solucionar con una correcta planificación de las rutas. La optimización de los horarios de las entregas para evitar las vías principales en los momentos de mayor congestión o evitar la confluencia de los vehículos de distribución con peatones, usuarios de la vía y otros servicios, son algunas de las medidas que pueden tomar las empresas para mejorar su calidad de servicio. Además, es muy importante analizar otras cuestiones de gran interés para el desarrollo de la distribución de última milla como la ocupación de los vehículos o la eficiencia global del proceso, segmentada en resistencias específicas de cada proceso.

La **sostenibilidad** cada día adquiere más valor y reconocimiento para las empresas. Las prácticas centradas en la mejora medioambiental y la reducción de emisiones a la atmósfera tienen una muy buena reputación y sirven para contribuir en la mejora de las condiciones de vida terrestres. El cálculo de KPIs, como la huella de carbono, permitirá a las empresas conocer el nivel de sostenibilidad de sus procesos y contar con medidas que les permitan obtener mejoras al respecto.

Es de gran interés, además, la selección y creación de nuevos indicadores que permitan gestionar la **actividad económica** de las empresas, conocer los gastos más importantes y estar al tanto de la evolución de cada uno de los costes.

Para definir y caracterizar los distintos KPIs se ha utilizado el ejemplo de la tabla mostrada en la **ISO 2240** [20]. La **tabla genérica** que se ha aplicado a cada KPI, siguiendo la norma que se acaba de mencionar, es la siguiente (*Tabla 1*):

Tabla 1. Ejemplo genérico de tabla de indicadores

Nombre	Nombre del indicador
Descripción	Descripción del indicador
Identificación	Siglas con las que se identifica
Alcance	Distintos elementos para los que tiene relevancia el indicador
Variables	Variables necesarias para el cálculo del indicador
Fórmula	Fórmula mediante la cual se calcula el indicador
Unidad de medida	Unidad mediante la cual se puede medir el indicador
Rango	Límites inferior y superior del indicador
Tendencia	Identificación de la tendencia (positiva o negativa) que ha de tener el indicador para que su repercusión ayude al cumplimiento de objetivos
Timing	En tiempo real (a medida que se crean los datos), bajo demanda (tras pedir unos datos determinados en un determinado periodo de tiempo) o de forma periódica
Audiencia	Operadores (usuarios directos del equipo), supervisores (responsables de las operaciones del operador), mánager (responsables de la distribución de última milla)
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías (DUM)

3.1. KPIs establecidos

En el actual entorno de la DUM existe una gran competitividad. Debido a este motivo, el seguimiento y la evaluación de los distintos **indicadores clave de rendimiento (KPIs)** ha pasado a ser una práctica esencial para las empresas que desean realizar optimizaciones en su eficiencia operativa y ofrecer un buen servicio a sus clientes.

El objetivo principal de este proyecto es el de seleccionar y definir los KPIs más importantes de la DUM y proporcionar herramientas que permitan a las empresas visualizarlos mediante un cuadro de mando de KPIs. Con esta idea, se han seleccionado y definido los indicadores que pueden tener un mayor interés para la evaluación de este tipo de distribución, y se muestran en la *Tabla 2*. Estos indicadores se encuentran definidos en su totalidad de forma normalizada en el *ANEXO II: Definición de KPIs*. En puntos posteriores de este proyecto, se han utilizado los indicadores que se han identificado como de mayor interés para su aplicación al caso de una empresa real.

Estos indicadores se pueden clasificar en función del ámbito con el que están relacionados. Se han definido **tres tipos principales** de indicadores (**de logística, de sostenibilidad y económicos**), en función de los objetivos de cada uno de ellos:

Tabla 2. Indicadores definidos en el proyecto (E.P.: elaboración propia)

Indicador	Siglas	Medida	Tipo	Fuente
Número de paradas planificadas	NPP	Nº paradas	Logístico	E.P.
Paquetes pendientes de entrega	PP	Nº paquetes	Logístico	E.P.
Entregas pendientes	EP	Nº entregas	Logístico	E.P.
Índice de entregas realizadas	IER	%	Logístico	E.P.
Índice de paquetes entregados	IPE	%	Logístico	E.P.
Tiempo medio de paradas planificadas por vehículo	tPPM	min	Logístico	E.P.
Tiempo medio de movimientos de ruta	tMM	min	Logístico	E.P.
Duración real de la ruta	tRR	min	Logístico	E.P.
Tiempo de ruta medio por entrega	tRME	min/entrega	Logístico	E.P.
Tiempo de ruta medio por paquete	tRMP	min/paquete	Logístico	E.P.
Tiempo de parada medio por entrega	tPME	min/entrega	Logístico	E.P.
Tiempo de parada medio por paquete	tPMP	min/paquete	Logístico	E.P.
Índice de actividad del vehículo	IAV	%	Logístico	E.P.
Índice de inactividad del vehículo	IIV	%	Logístico	E.P.
On time in full	OTIF	%	Logístico	[21]
Consumo de combustible del vehículo	CC	L	Logístico	E.P.
Eficiencia de paradas del vehículo	EP	%	Logístico	[22]
Índice de ocupación	IO	%	Logístico	[22]
Eficiencia de tráfico	ET	%	Logístico	[22]
Rendimiento	R	%	Logístico	E.P.
Disponibilidad del vehículo	D	%	Logístico	[21]
Calidad	C	%	Logístico	[23]
Overall equipment effectiveness	OEE	%	Logístico	[21]
Carga transportada por vehículo	QV	kg	Logístico	E.P.
Distancia recorrida por paquete	DRP	km	Logístico	E.P.
Distancia recorrida por entrega	DRE	km	Logístico	E.P.
Entregas por hora por vehículo	EH	entregas/h	Logístico	E.P.
Huella de carbono	HC	Kg CO ₂ e	Sostenibilidad	E.P.
Huella de carbono por entrega	HCE	Kg CO ₂ e/ent.	Sostenibilidad	E.P.
Huella de carbono por paquete	HCP	Kg CO ₂ e/paq.	Sostenibilidad	E.P.
Huella de carbono por ruta	HCR	Kg CO ₂ e/ruta	Sostenibilidad	E.P.
Coste de vehículo por kilómetro recorrido	CVKM	€/km	Económico	E.P.
Coste de inventario por ruta	CIR	€/ruta	Económico	E.P.
Coste de devoluciones por ruta	CDR	€/ruta	Económico	E.P.
Coste de amortización por ruta	CAR	€/ruta	Económico	[22]
Coste de financiación por ruta	CFinR	€/ruta	Económico	[22]
Coste del conductor por ruta	CConR	€/ruta	Económico	[24]
Coste del seguro por ruta	CSR	€/ruta	Económico	[22]
Coste fiscal por ruta	CFisR	€/ruta	Económico	[22]
Coste de combustible por ruta	CComR	€/ruta	Económico	[22]
Coste de mantenimiento del vehículo por ruta	CMVR	€/ruta	Económico	[22]
Coste de reparación del vehículo por ruta	CRVR	€/ruta	Económico	[22]
Coste total de la ruta	CR	€/ruta	Económico	E.P.
Coste total del paquete por ruta	CP	€/paquete	Económico	E.P.
Coste total de la entrega por ruta	CE	€/entrega	Económico	E.P.

Gran parte de los KPIs que se muestran en esta tabla han sido definidos en el presente proyecto, otros han sido seleccionados de algunos informes de KPIs [21][22][23][24].

A continuación, se va a hablar en profundidad de alguno de los KPIs más importantes definidos en este proyecto, la mayoría utilizados en los puntos posteriores para su aplicación en el caso de una empresa real.

3.2. Overall Equipment Effectiveness (OEE)

El OEE es un KPI que, comúnmente, se utiliza para la gestión de producción y operaciones, mediante la medición de la eficiencia y la utilización de los equipos de fabricación. Este indicador permite obtener el **rendimiento global del proceso**.

En el contexto de DUM, donde no se utilizan equipos tradicionales de fabricación, a priori, puede ser una aplicación limitada. En este proyecto, sin embargo, se ha realizado una reconversión de este indicador teniendo en cuenta las variables más importantes en DUM.

El equipo utilizado más importante en la distribución de última milla es la **flota de vehículos de transporte** de las que disponen las empresas dedicadas a este ámbito. Por este motivo, para el cálculo del OEE es necesario determinar los factores más importantes que influyen en la eficiencia de la realización del proceso de distribución por parte de estos equipos. El cálculo del OEE se realiza mediante el producto de estos factores (en forma de eficiencias). Algunos de los indicadores más importantes que se han utilizado para el cálculo del OEE en DUM son los que se muestran a continuación:

- **Disponibilidad (D):** tiempo del turno en el que el vehículo se encuentra disponible. El tiempo no disponible del vehículo se corresponde con el tiempo no utilizado para realizar la distribución de mercancías (mantenimiento, descansos, reparaciones...). Según se ha definido en este estudio, correspondería con la suma de los tiempos de paradas no planificadas (tPNP) (Ec. 1).

$$D = [1 - (\sum tPNP / tT)] * 100 \quad (1)$$

- **Calidad (C):** Porcentaje de entregas realizadas correctamente respecto a las entregas totales a realizar (realizadas correctamente (ER) + fallidas (ERF)) (Ec. 2).

$$C = ER / (ER + ERF) * 100 \quad (2)$$

- **Eficiencia de paradas del vehículo (EP):** Rendimiento en la realización de las paradas planificadas para la entrega de paquetes. Se calcula mediante la relación entre tiempos teóricos de parada por entrega (tTPE) y los tiempos reales de parada por entrega (tRPE) (Ec. 3).

$$EP = (\sum tTPE / \sum tRPE) * 100 \quad (3)$$

- **Eficiencia de tráfico (ET):** Rendimiento del vehículo en la realización de desplazamientos derivados del reparto. Relación entre el tiempo real de movimientos en ruta ($tRMR$) y el tiempo teórico de la ruta ($tTMR$) (Ec. 4). Lo que se tarda en realizar los movimientos en la realidad (tM) frente a lo que se tardaría de forma teórica (tMT). Una buena práctica para el cálculo de los tiempos teóricos de los movimientos es la información proporcionada por Google Maps.

$$ET = tRR / tRT * 100 = \sum tM / \sum tMT * 100 \quad (4)$$

- **Índice de ocupación (IO):** Porcentaje de aprovechamiento de la capacidad de mercancía total del vehículo. Se calcula mediante el sumatorio del volumen exacto de cada una de las entregas (VE) entre la capacidad del vehículo (CV) (Ec. 5). En el caso de que no se conozca el volumen exacto de cada entrega, se puede calcular mediante el uso del volumen medio de las entregas (VME) y el número total de envíos a entregar (NE), obteniendo un resultado aproximado (Ec. 6).

$$IO \text{ (exacto)} = \frac{\sum VE}{CV} * 100 \quad (5)$$

$$IO \text{ (aprox.)} = (NE * VME) / CV * 100 \quad (6)$$

- **Rendimiento (R):** Este indicador se puede calcular como el producto de los porcentajes de eficacia de tráfico, eficacia de paradas e índice de ocupación (Ec. 7). Sirve para calcular la eficiencia del vehículo teniendo en cuenta el aprovechamiento de la mercancía, la realización de paradas y la realización de movimientos de reparto.

$$R = ET * EP * IO \quad (7)$$

Estos indicadores se encuentran definidos de forma normalizada en el *ANEXO II: Definición de KPIs* (puntos 1.17, 1.18, 1.19, 1.20, 1.21 y 1.22).

El OEE, como se ha comentado anteriormente, es **el rendimiento global de un proceso de producción**, en este caso de la DUM. Se utiliza para la medición de la eficiencia de los vehículos de transporte, permitiendo identificar oportunidades de mejora en el proceso que permitan obtener mayor eficiencia, reducir costes y mejorar la calidad del servicio. Puede ser utilizado para comparar el rendimiento de diferentes vehículos y establecer objetivos de mejora.

Está formado por el producto de las eficiencias que se han mostrado anteriormente y su valor depende directamente de estas (Ec. 8).

$$OEE = D * C * R \quad (8)$$

Al tratarse de un porcentaje, el OEE ideal sería del 100% y, en función de los valores de los KPIs explicados, su valor tiende a disminuir. Esas disminuciones producidas por cada uno de estos KPIs pueden tomarse como pérdidas con respecto al caso ideal. Este concepto se puede apreciar mediante el gráfico mostrado en la *Figura 8*.

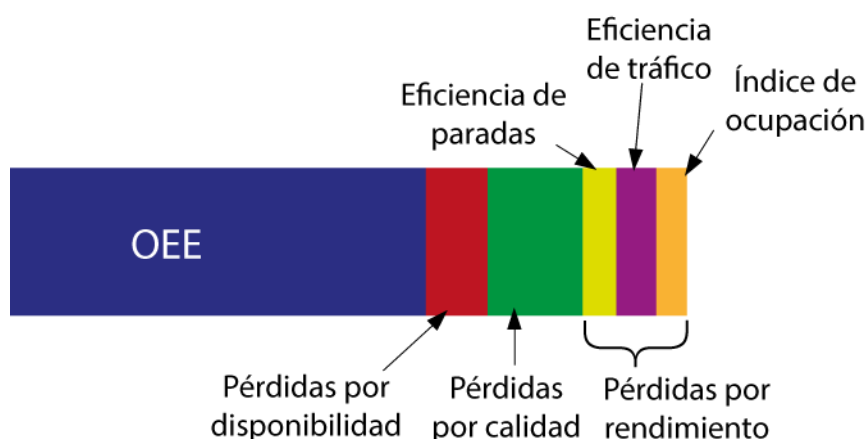


Figura 8. Gráfico de OEE. Identificación de las pérdidas en su cálculo (elaboración propia)

En la *Tabla 3* se muestra la definición del OEE según la norma estandarizada.

Tabla 3. Descripción de indicador. Overall equipment effectiveness (OEE)

Nombre de KPI	Overall equipment effectiveness
Descripción	Eficacia de la maquinaria o equipamiento que permite obtener el rendimiento global de un proceso de producción
Identificación	OEE
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- D (disponibilidad) [%] - C (calidad) [%] - R (rendimiento) [%]
Fórmula	$OEE = D * C * R$
Unidad de medida	Porcentaje
Rango	0 – 100%
Tendencia	Positiva
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánagers
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

3.3. Huella de carbono (HC)

El cambio climático se ha convertido en uno de los retos principales que enfrenta la humanidad. Esto se debe a las graves implicaciones que conlleva para la naturaleza y para el bienestar del ser humano. El aumento de los **gases de efecto invernadero (GEI)** en la atmósfera altera de manera significativa el equilibrio del clima del planeta, generando

problemas como la elevación del nivel del mar, el aumento de frecuencia y gravedad de fenómenos climáticos o la pérdida de la biodiversidad [25].

El sector del transporte juega un papel muy importante en la lucha contra el cambio climático, ya que es la causa de elevadas emisiones de CO₂ generadas por el consumo de combustibles fósiles, suponiendo aproximadamente un 24% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la Unión Europea (sector que más emisiones genera, por detrás del energético). Este fenómeno se puede apreciar en el siguiente gráfico (Figura 9) (datos del 2017) [26].



Figura 9. Porcentajes del sector transporte en misiones de GEI en la UE. Datos de 2017 [26]

En el siguiente gráfico (Figura 10) se puede observar la evolución del sector transporte, junto con el sector RCI (Residencial, Comercial e Institucional), desde 1990 hasta 2020 [27].

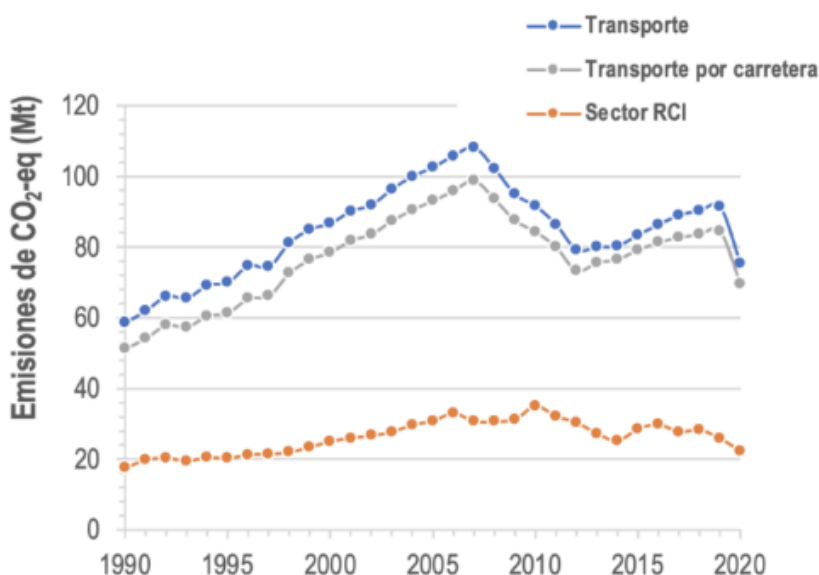


Figura 10. Evolución de emisiones de CO₂e del sector transporte [27]

Se aprecia como la tendencia entre 2010 y 2020 ha sido, en general, de un aumento progresivo de emisiones (exceptuando las fechas más cercanas a 2020, donde entraron en juego las consecuencias del COVID-19). En la actualidad (2023), el porcentaje actual de emisiones de CO₂e del sector transporte ha bajado a un 20% desde 2017 (24%).

El caso de la DUM se encuentra comprendido en este porcentaje. Por este motivo, el cálculo de la huella de carbono en DUM puede ser muy interesante para la **evaluación del impacto ambiental** (Figura 11) de las actividades de logística en el interior de las ciudades. Para las empresas de DUM, el cálculo de este indicador puede servir de apoyo para tener un control del impacto medioambiental que generan sus vehículos y les permite identificar posibilidades de mejora en relación con la eficiencia energética y reducción de emisiones [28].



Figura 11. Huella de carbono [29]

Según la norma ISO/TS 14067:2013 [25], la **huella de carbono del producto (HCP)** se define como la “suma de emisiones de gases de efecto invernadero y con base en un análisis de ciclo de vida utilizando una sola categoría de impacto, la del cambio climático”. La huella producida en la DUM supondría una parte de la generada durante el ciclo de vida completo del producto. La huella de carbono se explica en mayor profundidad en el punto 6 del ANEXO I: *Información complementaria de DUM y huella de carbono*.

Para la definición de la huella de carbono producida por los vehículos de DUM, es necesario tener en cuenta el proceso de conducción y cualquier otro proceso que requiera de energía en el interior del vehículo, como el caso de la refrigeración. En este caso, el indicador definido está compuesto de dos sumandos, la huella de carbono debida a conducción (HCCond) y la huella de carbono debida a la refrigeración de la mercancía (HCCRef) (en caso de que la hubiera) (Ec. 9).

$$HC = HCCond + HCCRef \quad (9)$$

La huella de carbono debida a la **conducción** se calcula a partir del consumo de combustible debido a este proceso (CCCond) multiplicado por el factor de emisiones relativo al tipo de combustible utilizado. En caso de que el vehículo cuente con sensores de medición de combustible, el consumo de combustible correspondería a los litros de combustible consumidos por este. En caso de que no se tuviera tal información, se podría calcular a partir del consumo específico del vehículo (ConsV [L/100km]) multiplicado por la distancia recorrida en el trayecto (d) (Ec. 10).

En cuanto a la **refrigeración**, se seguiría el mismo proceso para el cálculo si se conoce los litros de combustible utilizados para el proceso. En caso de que no se conociera, se calcularía mediante el consumo específico de refrigeración (ConsEspecifRef [L/h]) multiplicado por las horas de uso del refrigerador (tT) (tiempo de trayecto refrigerado)

[26]. Teniendo en cuenta estas condiciones, la huella de carbono se calcularía mediante las siguientes ecuaciones, según el caso. (Ec. 11)

$$HC = CCCond * EmCO2 + CCRref * EmCO2 \quad (10)$$

$$HC = (ConsV/100) * d * EmCO2 + (ConsEspecifRef) * tT * EmCO2 \quad (11)$$

A continuación, en la *Tabla 4*, se define el indicador de huella de carbono de forma normalizada:

Tabla 4. Descripción de indicador. Huella de carbono (HC)

Nombre de KPI	Huella de carbono
Descripción	Permite medir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debidas al transporte y entrega de mercancías
Identificación	HC
Alcance	Objetivos de sostenibilidad
Variables	- CCCond (combustible consumido por conducción) [L] - CCRref (combustible consumido por refrigeración) [L] - EmCO2 (emisiones de CO2e por litro de combustible) [kg CO2/L]
Fórmula	$HC = CCCond * EmCO2 + CCRref * EmCO2$
Unidad de medida	Kg CO2e
Rango	0 – kg CO2e max
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Mánagers
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

3.4. On time in full (OTIF)

Este indicador permite tener un control sobre el cumplimiento de los plazos y de cantidades de entrega acordados con los clientes. En una distribución con horarios tan ajustados como el caso de DUM (debido a factores como congestión de tráfico), el **cumplimiento de los plazos** es crucial para satisfacer al cliente. Mediante este indicador se puede medir el desempeño de la empresa en este aspecto.

Del mismo modo, también mide la **eficiencia de gestión de los inventarios**, ya que se tiene en cuenta, además de que el plazo sea correcto, que la entrega lleve el contenido acordado con el cliente en cuanto a cantidad de mercancía o paquetes. El objetivo de las empresas es obtener un OTIF del 100%, es decir, realización de las entregas puntuales y completas. En la *Tabla 5*, se muestra la descripción del OTIF.

Tabla 5. Descripción de indicador. On time in full (OTIF)

Nombre de KPI	On time in full
Descripción	Capacidad de la realización de las entregas dentro del plazo acordado y en la cantidad correcta, es decir, a tiempo y en su totalidad (se tienen que cumplir ambos requisitos). Permite la evaluación de la puntualidad e integridad de las entregas por parte de las empresas de distribución
Identificación	OTIF
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- EOK (entregas ok): entregas correctas en plazo y cantidad - ET (entregas totales)
Fórmula	$OTIF = (EOK / ET) * 100$
Unidad de medida	Porcentaje (%)
Rango	0% -100%
Tendencia	Positiva
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y managers
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

4. Estudio e implementación en un caso real

Durante el desarrollo de este proyecto, se ha contado con la **colaboración de una empresa dedicada a la DUM (Empresa X)**. Esta empresa está especializada en el transporte y distribución de productos refrigerados, como yogures y similares, y ha sido fundamental en la elaboración de este estudio al proporcionar los datos de los vehículos de su flota. En la *Figura 12* se muestra un vehículo de DUM de la empresa Danone.



Figura 12. Distribución urbana de productos Danone [30]

La empresa colaboradora cuenta con un total de 10 vehículos operativos de DUM, los cuales cuentan con características y especificaciones distintas entre ellos. Estos vehículos son imprescindibles en la operativa diaria de la empresa a través de la realización de los procesos de distribución urbana de los productos.

Se han utilizado los datos proporcionados por la empresa para aplicar los KPIs que se han definido previamente en el presente proyecto. Esto ha permitido la obtención de información valiosa que ha permitido la elaboración de paneles de KPIs. Estos paneles

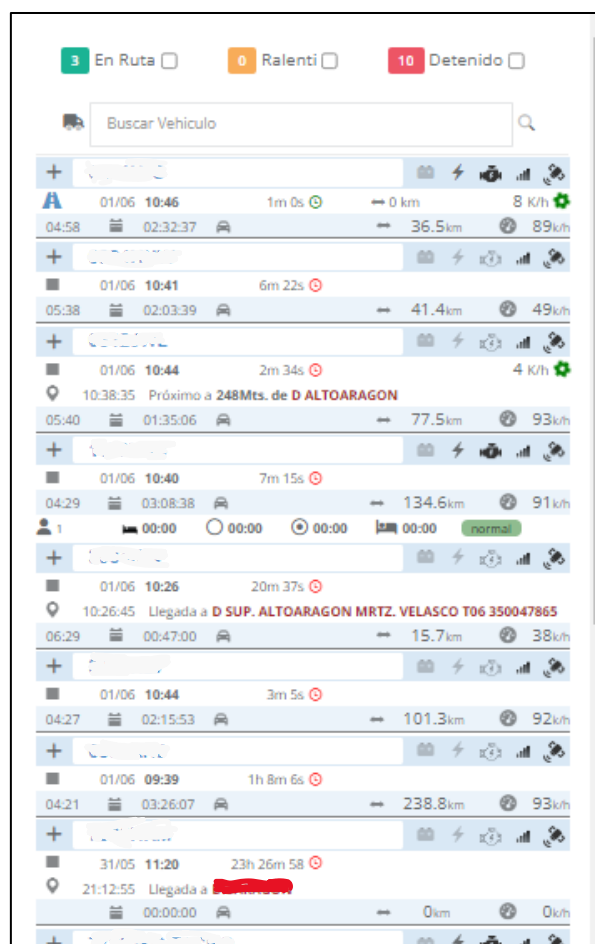


Figura 14. Información de vehículos a tiempo real (fuente: aplicación de control de flotas)

En las imágenes que se acaban de mostrar, se pueden apreciar, por un lado, el **mapa de localización** de cada uno de los vehículos de la empresa en la ciudad de Zaragoza, y por el otro, la información de los vehículos a tiempo real.

Sin embargo, a parte de esta funcionalidad, la aplicación proporciona soluciones que van más allá de la localización y situación de los vehículos. Proporciona gran cantidad de información de las rutas de los vehículos para cualquier fecha. Es por lo que, mediante la realización de este estudio se ha analizado las distintas posibilidades de la aplicación para poder utilizar estos datos en el cálculo de indicadores y crear, a partir de ellos, paneles interactivos que muestren algunos de los más importantes y permitan a la empresa tener información en tiempo real. La incorporación de estos paneles de indicadores en la aplicación es una novedad que tendría gran demanda en las empresas de distribución urbana de mercancías.

En primer lugar, se puede obtener información de la **actividad de la flota**. Para cada uno de los vehículos se pueden obtener datos de distintas variables para el periodo de tiempo que se establezca. Al indicar las fechas de inicio y fin se obtiene una recopilación de los datos de cada una de las variables durante ese tiempo para cada uno de los vehículos de la empresa (identificados por su matrícula).

Variables obtenidas:

- Odómetro inicial [km]. Kilometraje del vehículo al inicio de la ruta.
- Odómetro final [km]. Kilometraje del vehículo al final de la ruta.
- Distancia recorrida [km] por el vehículo
- Tiempo de conducción [xd yh zm rs] del vehículo
- Velocidad máxima [km/h] del vehículo
- Velocidad media [km/h] del vehículo

La aplicación permite la obtención de otras variables en esta opción, como el gasto de combustible [L], que no ha podido tenerse en cuenta para el cálculo debido a que los vehículos de la empresa no disponen de los sensores necesarios para la medida de estos datos. Otra de las funcionalidades a tener en cuenta es la de **seguimiento de las actividades de cada uno de los vehículos** de la empresa. Gracias a esta opción se pueden obtener datos de todos los movimientos y paradas que realiza cada uno de los vehículos durante la jornada. Gracias a ello se ha podido obtener la siguiente información:

- Origen y destino de la actividad.
- Altura inicial, final y diferencia de altura entre origen y destino.
- Estado del vehículo: en ruta o parado.
- Tiempo de la actividad (ya sea ruta o parada).
- Distancia recorrida y velocidad promedio del movimiento en caso de ruta.

En el punto 1 del *ANEXO III: Obtención de variables*, se pueden observar imágenes de la aplicación de control de flotas. Además de estos datos obtenidos mediante la aplicación, la empresa ha proporcionado los siguientes **datos relevantes** para el cálculo de los KPIs definidos:

- Estimación de pedidos rechazados, entregados fuera de fecha y dañados.
- Estimación del tiempo que supone un pedido rechazado.
- Volumen medio por pedido [m³].
- Capacidad de los vehículos [m³] [palets] [carros].
- Líneas de pedido.
- Carga promedio distribuida por ruta [kg].
- Consumo de combustible medio por tipo de vehículo [L/100km].

4.2. Establecimiento de KPIs para la Empresa X

Una vez definidos los KPIs generales de este estudio y tenido en cuenta las variables que se han podido obtener a partir de la aplicación, se ha aplicado (en el caso de que sea posible) esos KPIs a la Empresa X. En muchas situaciones, no se dispone de todos los datos necesarios para el cálculo óptimo de la mayoría de las variables, por lo que en algunos casos la empresa ha tenido que hacer una estimación de alguno de los datos y, en otros casos, no se han podido calcular (como es el caso de los indicadores económicos definidos).

Se ha analizado cada uno de los KPIs definidos para poder determinar la posibilidad o no de cálculo de sus variables a partir de los datos proporcionados por la empresa. En los

siguientes puntos se muestran algunas prácticas que se han tenido en cuenta a la hora de calcular cada uno de los indicadores. El resto de las consideraciones de cálculo para los demás KPIs, se encuentran descritas en el *ANEXO II: Definición de KPIs*.

- No se dispone de información de paquetes y entregas.
- Se ha establecido (por la empresa) como **parada planificada** toda aquella parada que se encuentre en un límite temporal de entre 5 y 25 minutos. El resto de las paradas se han tomado como no planificadas para el cálculo de los KPIs.
- La empresa ha definido como **tiempo de movimiento en ruta** del vehículo de DUM, todo aquel que se encuentre entre 5 y 40 minutos. El límite inferior ha sido establecido de esta manera debido a que la base de datos de la aplicación de gestión de rutas almacena la información de todo tipo de movimientos (incluso movimientos de pocos segundos). A la hora de calcular variables como el tiempo medio de movimientos en ruta, esto proporcionaría unos resultados no deseados, ya que no son reales. El límite superior se ha definido de este modo ya que un movimiento entre paradas próximas en el interior de un área urbana no tiene sentido que dure más de 40 minutos.
- No se conoce el **volumen las entregas** a realizar por los vehículos, ni el número de paquetes por entrega. Se ha utilizado para el cálculo de los indicadores el valor del volumen medio por entrega definido por la Empresa X, que es de $0,39 \text{ m}^3$. Ha definido, además, que cada entrega está formada por una media de 6 paquetes.
- La empresa ha proporcionado la información de la **capacidad de los vehículos** en medida de palets. Para el cálculo de la cantidad de entregas que caben en cada vehículo, se han utilizado los datos de las cantidades de palets por vehículo. Para su cálculo, teniendo en cuenta que, según la empresa, la altura máxima de mercancía en cada palet es de 1,2 m, se ha determinado el volumen de mercancía por palet ($1,2\text{m} \times 0,8\text{m} \times 1,2\text{m} = 1,152 \text{ m}^3$). A partir de estos datos se ha obtenido el número medio de entregas y paquetes por vehículo. Se puede observar en la *Tabla 6*.

Tabla 6. Capacidades del vehículo

Vehículo	Palets	Volumen útil estimado (CV) [m³]	Número medio de entregas por vehículo (NE)	Número medio de paquetes por vehículo (PT)
Vehículo 1	5	5,76	14	84,00
Vehículo 2	6	6,912	17	102,00
Vehículo 3	10	11,52	29	174,00
Vehículo 4	13	14,976	38	228,00
Vehículo 5	6	6,912	17	102,00
Vehículo 6	6	6,912	17	102,00
Vehículo 7	6	6,912	17	102,00
Vehículo 8	6	6,912	17	102,00
Vehículo 9	15	17,28	44	264,00
Vehículo 10	21	24,192	62	372,00

- Para el cálculo de **eficiencias de parada del vehículo (EP)**, la empresa ha definido un tiempo teórico de parada planificada de 10 minutos.
- Tanto el **índice de ocupación (IO)** (por falta de datos exactos de entregas y paquetes) como la **eficiencia de tráfico (ET)** (por dificultad operativa de obtención de tiempo teórico de movimientos) se han estimado como 1.
- Para el cálculo del **OTIF (on time in full)**, se han utilizado los datos medios diarios proporcionados por la Empresa X sobre el número de entregas rechazadas (0-1), realizadas fuera de fecha (0-1) y entregas que sufren daños (1-2). Se ha tenido en cuenta el número de entregas fallidas más desfavorable (4). El cálculo de la calidad (C), se ha realizado del mismo modo.
- Para el caso del cálculo de la **huella de carbono (HC)**, sólo se ha podido tener en cuenta la parte de la expresión del indicador que tiene en cuenta la conducción del vehículo. Para el caso de la refrigeración no se dispone de datos específicos de los vehículos. Al tratarse de vehículos de gasolina, el valor de EmCO₂ (emisiones de CO₂ por litro de combustible) utilizado es de 2,35 kg CO₂e/Lgasolina [31].
- Los **indicadores económicos** no se han calculado ya que no se dispone de información económica de la Empresa X.

A partir de estas consideraciones tenidas en cuenta para el cálculo de los indicadores, se ha propuesto las siguientes sugerencias a la empresa para obtener resultados más fiables:

- Base de datos a tiempo real de pedidos/entregas

Uno de los principales desafíos a los que se ha de enfrentar la Empresa X es la implantación de una base de datos en tiempo real que permita mantener un registro actualizado de las entregas a realizar por cada vehículo. De este modo se puede tener visibilidad, en cada momento, sobre la evolución de entrega de los paquetes (si se ha realizado correctamente, qué paquetes se han entregado en qué lugar y en qué momento se han de realizar las entregas). Todo ello facilitaría la planificación y seguimiento de todas las operaciones de distribución.

Toda esta información permitiría a la empresa conseguir una mayor optimización de las rutas de distribución, unido a los datos y la ubicación en tiempo real de los vehículos, gracias a la información obtenida a partir de la aplicación de gestión de flotas. Permitiría ajustar los tiempos de las rutas en función de la disponibilidad y capacidad de los vehículos, obteniendo un aumento de la eficiencia y disminuyendo los tiempos de las entregas.

La utilización de este tipo de base de datos en tiempo real permitirá tener un control exacto del inventario y tener una mejor gestión de las devoluciones o reprogramaciones de las entregas de manera óptima. Además, se evitaría el uso de valores de entregas y paquetes medios para el cálculo de KPIs que, aunque sirven para realizar una estimación, no proporcionan los valores exactos de los resultados. Permitirá, además, el cálculo exacto del OTIF, un KPI que puede ser de gran utilidad para tener un seguimiento de las entregas realizadas correctamente a lo largo del tiempo.

Además, en esta base de datos, sería de gran interés añadir otro tipo de información de los distintos paquetes y entregas, como el volumen de cada unidad de paquete/entrega o su peso. De este modo se podría utilizar la información para optimizar el llenado de cada uno de los vehículos en función de su capacidad. En este estudio, se han utilizado valores medios de volumen de las entregas y número de paquetes medios proporcionados por la empresa. Estos datos pueden servir como aproximación a la hora de evaluar los resultados, sin embargo, sería conveniente ampliar la información al respecto para obtener una información más exacta.

- Identificación de paradas planificadas

Otro aspecto para tener en cuenta es la incorporación, dentro de las posibilidades de la aplicación de gestión de flotas, de alguna forma de identificar las distintas paradas planificadas realizadas por cada vehículo en las distintas rutas. A través de la aplicación se pueden obtener los tiempos en los que el vehículo se encuentra en movimiento o en parada. Sin embargo, no se dispone de la información suficiente como para saber qué parada es planificada y cuál no. En este estudio, la empresa ha estimado un tiempo mínimo y máximo de parada planificada (5 y 25 minutos, respectivamente) a partir del cual se toma como paradas de este tipo, pero no es una medida completamente fiable ya que podrían darse casos de paradas que se desarrollen en tiempos de mayor o menor duración.

Para la solución de este problema y la obtención de una mayor eficacia de medida, se propone que, junto con la información a tiempo real de las distintas entregas a realizar, se almacene también en la misma base de datos los lugares donde hay que realizar las distintas entregas. De este modo se conocería qué paradas son las realmente planificadas y cuáles, por el contrario, se deben a otros motivos (esto se conocería ya que la aplicación de seguimiento de flotas indica la localización de todas las paradas realizadas durante el desarrollo de la ruta).

Además, la incorporación de la base de datos de seguimiento de las entregas y los lugares en los que hay que realizarlas en la misma aplicación de gestión de flotas sería una muy

buena forma de almacenar toda la información en un mismo lugar y permitiría monitorear todos los resultados de las rutas y realizar consultas de forma rápida y óptima.

- Utilización de datos de refrigeración

En cuanto al cálculo de la huella de carbono, para poder obtener unos resultados más fiables de este KPI, sería necesario tener en cuenta las emisiones de CO₂e debidas al sistema de refrigeración de los vehículos de reparto de la Empresa X. Estos sistemas se encuentran en constante funcionamiento durante el desarrollo de la ruta y supone una parte importante del consumo de combustible de los vehículos. Con los datos proporcionados por la empresa, solamente se ha podido tener en cuenta la parte de la huella de carbono que cubre el proceso de conducción.

Para el correcto cálculo de la huella, sería necesario utilizar el dato de consumo específico del consumo de refrigeración del vehículo [L/h], variable denominada en este estudio como 'ConsEspecifRef'. Con este dato y con el tiempo de ruta en el que se ha utilizado el sistema de refrigeración del vehículo, se podría calcular el consumo de combustible debido a la refrigeración, y con ello la huella de carbono.

También sería interesante contar con sensores en los camiones que almacenen la información de la temperatura de refrigeración de cada uno de los vehículos a lo largo de la ruta. De este modo, la empresa se asegurará de mantener la cadena de frío durante la ruta, garantizando la calidad y seguridad de los productos. Además, estos sensores permiten detectar cualquier desviación de las condiciones deseadas y asegura una respuesta correctiva inmediata por parte de los operadores de transporte. Del mismo modo, el uso de este tipo de tecnología permitiría a la empresa registrar los datos de las condiciones de temperatura durante todo el proceso de distribución.

- Información del consumo de combustible real

Otro de los aspectos que mejoraría en gran medida el análisis de la huella de carbono de la empresa sería la recopilación de los datos exactos de consumo de combustible [L] de cada uno de los vehículos, para evitar trabajar con el consumo específico del vehículo [L/100km] por la distancia recorrida [km].

El consumo de combustible real proporciona datos exactos y precisos sobre la cantidad de combustible utilizado en la distribución. La utilización de la fórmula basada en el consumo específico no tiene en cuenta, en muchos casos, las variaciones reales del consumo de combustible debidas a diversos factores como las condiciones de congestión de las carreteras, la carga que lleva el vehículo o las condiciones de infraestructuras, que en ocasiones suponen una gran variación en el consumo con respecto a los valores teóricos obtenidos con el consumo específico. Las condiciones del entorno urbano afectan en gran medida al rendimiento y la eficiencia energética del vehículo.

La utilización de valores reales del consumo de combustible permitirá también una mayor precisión a la hora de detectar ineficiencias y oportunidades de mejora, así como una evaluación de sostenibilidad más efectiva para la toma de decisiones en busca de la reducción de emisiones.

- Información para el cálculo de los costes

Para poder calcular los KPIs asociados a los costes, es necesario disponer de la información de cada uno de ellos. La información proporcionada por la empresa es puramente logística y por lo tanto no se ha dispuesto de la información necesaria para el cálculo de indicadores económicos.

5. Resultados

Una vez definidos los KPIs para el desarrollo y la optimización del proceso de DUM, se han analizado las variables necesarias para la realización de su **cálculo y representación en un cuadro de mando** que permita a la empresa tener control y seguimiento de la información proporcionada por los KPIs más representativos. A partir de estas, y con la fuente de datos proporcionada por la Empresa X, a través de la aplicación de gestión de flotas, se han calculado los distintos indicadores aplicados a esos datos.

Mediante este estudio, se ha llevado a cabo un **análisis diario y mensual** del comportamiento de cada uno de los vehículos utilizados por la empresa al aplicar los KPIs más importantes definidos en el presente estudio. Esta visualización permitirá a la empresa gestionar la evolución de las mejoras propuestas, para saber si tienen impactos positivos tanto en la eficiencia del transporte, como en sostenibilidad. Mediante la aplicación de gestión de flotas, se ha podido obtener la información diaria de todos los movimientos y paradas de cada uno de los vehículos de la empresa, así como la distancia recorrida por estos y el tiempo de conducción empleado en cada proceso de distribución de la ruta diaria. Se ha utilizado la información, en primer lugar, del día 19 de abril de 2023 para la realización del estudio de KPIs y, posteriormente, del mes de abril.

A partir de esta información de paradas y movimientos, se han organizado los datos de forma adecuada para poder obtener información sobre el mayor número de KPIs posible. Se ha llevado a cabo un análisis del resultado diario por vehículo de las siguientes variables mostradas en el presente proyecto:

- Número de paradas planificadas (NPP)
- Tiempo medio de paradas planificadas (tPPM)
- Tiempo medio de movimientos en ruta (tMM)
- Duración real de los movimientos de la ruta (tRMR)
- Tiempo real de la ruta (tT)
- Tiempo de ruta medio por entrega (tRME)
- Tiempo de ruta medio por paquete (tRMP)
- Tiempo de parada medio por entrega (tPME) y por paquete (tPMP)
- Índice de actividad (IAV) e inactividad (IIV) del vehículo
- On time in full (OTIF)
- Eficiencia de paradas del vehículo (EP)
- Índice de ocupación (IO)
- Rendimiento (R)
- Disponibilidad (D)
- Calidad (C)
- Overall equipment effectiveness (OEE)

- Distancia total (d)
- Distancia recorrida por paquete (DRP) y por entrega (DRE)
- Entregas por hora por vehículo (EH)
- Huella de carbono de la ruta diaria por vehículo (HCR)
- Huella de carbono de la ruta por entrega (HCE)
- Huella de carbono de la ruta por paquete (HCP)

En las siguientes tablas (*Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10*) se muestran los **resultados obtenidos** de cada indicador para cada uno de los vehículos durante el día 19 de abril de 2023:

Tabla 7. Cálculo de indicadores para los vehículos de la Empresa X (día 19 de abril de 2023) (1)

Vehículo	NPP	tPPM [min]	tMM [min]	tRMR [min]	tT[min]	tRME [min]
1	22,00	11,38	10,38	145,38	175,65	12,55
2	15,00	11,48	13,01	221,18	236,97	13,94
3	13,00	14,06	13,15	144,60	172,18	5,94
4	15,00	12,60	12,32	160,15	231,58	6,09
5	14,00	11,04	18,27	219,28	279,55	16,44
6	9,00	13,46	11,64	139,68	158,27	9,31
7	13,00	11,67	10,44	104,37	238,92	14,05
8	21,00	9,69	10,46	230,13	355,55	20,91
9	7,00	13,76	17,93	197,23	299,02	6,80
10	10,00	17,83	15,45	108,17	194,42	3,14

Tabla 8. Cálculo de indicadores para los vehículos de la Empresa X (día 19 de abril de 2023) (2)

Vehículo	tRMP [min]	tPME [min]	tPMP [min]	IAV [%]	IIV [%]	DRP [km/paq]	DRE [km/ent]
1	2,09	17,88	2,98	27,74	66,48	0,83	5,00
2	2,32	10,13	1,69	39,83	57,33	1,81	10,88
3	0,99	6,30	1,05	28,46	66,11	0,56	3,34
4	1,02	4,98	0,83	25,75	62,77	0,72	4,31
5	2,74	9,10	1,52	45,87	41,52	2,78	16,71
6	1,55	7,13	1,19	29,66	66,39	0,48	2,88
7	2,34	8,93	1,49	21,32	51,20	2,43	14,60
8	3,49	11,97	2,00	34,31	46,98	1,85	11,12
9	1,13	2,19	0,36	33,10	49,81	1,04	6,27
10	0,52	2,88	0,48	24,74	55,53	0,52	3,12

Tabla 9. Cálculo de indicadores para los vehículos de la Empresa X (día 19 de abril de 2023) (3)

Vehículo	OTIF [%]	EP [%]	IO [%]	R [%]	D [%]	C [%]	OEE [%]
1	71,43	87,90	94,79	83,32	81,27	71,43	48,37
2	76,47	59,93	95,92	83,59	73,67	76,47	47,09
3	86,21	51,94	98,18	69,83	69,86	86,21	42,05
4	89,47	59,93	98,96	78,52	67,62	89,47	47,51
5	76,47	55,94	95,92	86,85	90,82	76,47	60,32
6	76,47	35,96	95,92	71,25	59,33	76,47	32,33
7	76,47	51,94	95,92	82,16	79,79	76,47	50,13
8	76,47	83,90	95,92	98,98	83,36	76,47	63,10
9	90,91	27,97	99,31	72,18	66,35	90,91	43,54
10	93,55	39,95	99,95	56,06	85,24	93,55	44,71

Tabla 10. Cálculo de indicadores para los vehículos de la Empresa X (día 19 de abril de 2023) (4)

Vehículo	EH [ent/h]	HC [kg CO ₂ e]	HCE [kg CO ₂ e/ent]	HCP [kg CO ₂ e/paq]	tCond [min]	d (km)
1	0,03	28,79	2,06	0,34	175,65	70,00
2	0,03	89,99	5,29	0,88	236,97	185,00
3	0,06	39,89	1,38	0,23	172,18	97,00
4	0,06	81,51	2,14	0,36	231,58	163,60
5	0,04	118,13	6,95	1,16	279,55	284,00
6	0,04	20,38	1,20	0,20	158,27	49,00
7	0,03	94,46	5,56	0,93	238,92	248,12
8	0,03	76,84	4,52	0,75	355,55	189,00
9	0,07	112,08	2,55	0,42	299,02	275,68
10	0,14	73,66	1,19	0,20	194,42	193,49

Siguiendo la misma metodología de cálculo, pero para el mes de abril completo, se han determinado en otra tabla los valores diarios de huella de carbono y OEE (la tabla se encuentra incluida en el punto 2 del *ANEXO III: Obtención de variables*). Estos datos se han utilizado posteriormente para la elaboración del Panel 5, que se muestra en la siguiente parte del proyecto.

Tras la obtención del valor diario de cada uno de estos indicadores, así como los valores mensuales comentados, se han seleccionado alguno de los más importantes para la creación de paneles en Power BI que puedan servir de utilidad para la Empresa X y para otras empresas a la hora de analizar el comportamiento de la flota. La plataforma Microsoft Power BI permite mostrar los datos de una forma visualmente atractiva y comprensible, mediante la creación de paneles, gráficos y cuadros de mando. Muchos de estos indicadores han sido necesarios para el cálculo de otros indicadores, ya que, en muchos casos, mantienen dependencias entre ellos. A partir de esto, se ha creado un cuadro de mando de KPIs formado por los paneles que aparecen en la *Figura 15*. Estos paneles se pueden visualizar de manera más amplia en el *ANEXO IV: Muestra ampliada de paneles del cuadro de mando de KPIs*.

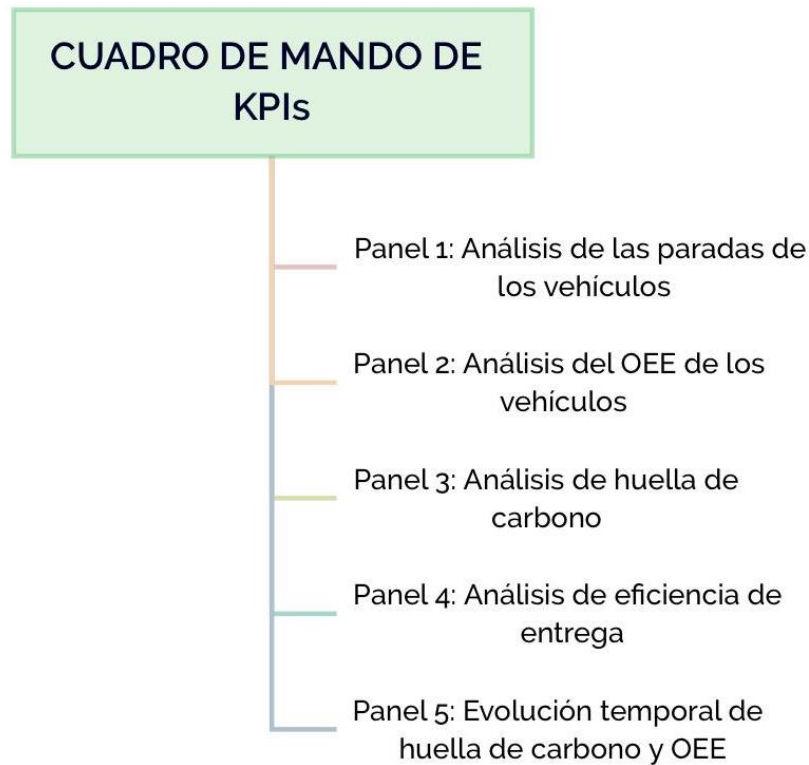


Figura 15. Paneles del cuadro de mando de KPIs (elaboración propia)

- **Panel 1.** Análisis de las paradas de los vehículos

El primero de los paneles diseñados se centra en el **análisis de las paradas de los vehículos**. Se han calculado los indicadores mediante la información del 19 de abril del 2023. En este mismo panel se puede obtener la información para cada uno de los vehículos del número de paradas planificadas diarias (NPP), la duración real que ha tenido la ruta (tT) y la comparación entre el tiempo medio de paradas planificadas (tPPM) y movimientos (tMM) de cada uno de los vehículos.

A partir de esta información se puede analizar la actividad diaria de cada uno de los vehículos y comprobar el progreso de cada uno a la hora de alcanzar los objetivos de entrega. Es importante tener en cuenta que cada uno de los vehículos tiene condiciones de entrega y de desarrollo de ruta diferentes entre sí, con distintos destinos de parada. Por ello, es normal que en la mayoría de los tiempos y número de paradas varíen de forma importante en función del vehículo. El Panel 1 se puede apreciar en la *Figura 16*.

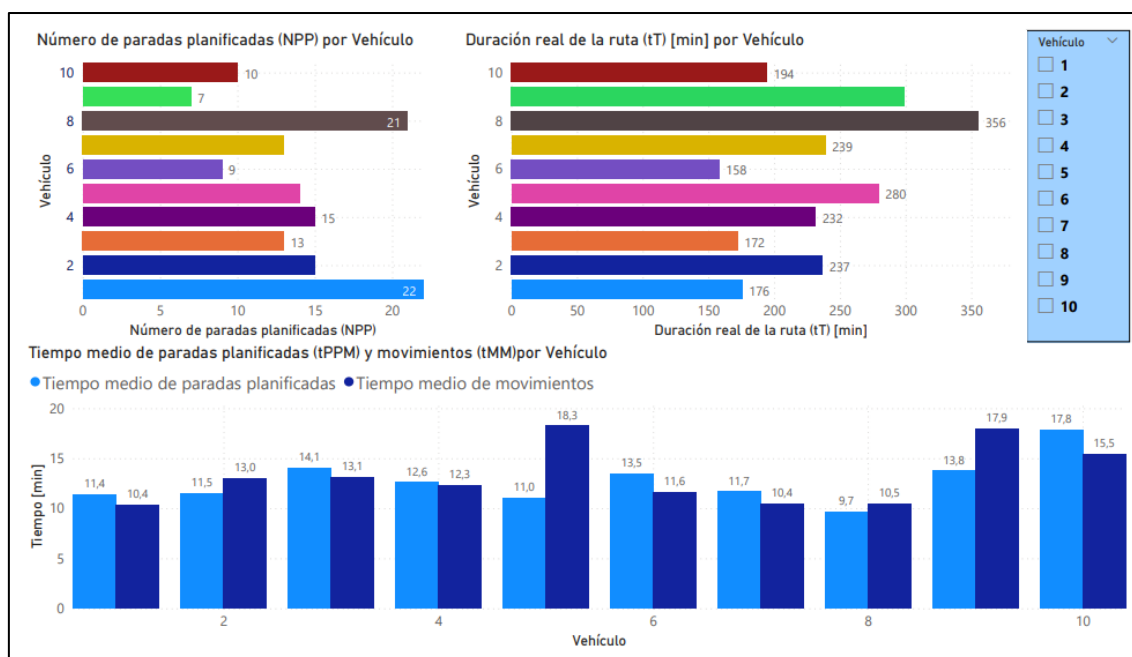


Figura 16. Muestra del Panel 1: Análisis de las paradas de los vehículos (elaboración propia)

En el ejemplo del día 19 de abril de 2023 mostrado en la figura, podemos observar distintos aspectos, como que los vehículos 1 y 8 han sido los que mayor número de paradas planificadas han realizado. Del mismo modo, son los vehículos que más efectividad de paradas y movimientos han tenido durante el día, al haberlos realizado en menor tiempo que el resto de los vehículos.

Además de obtener la información conjunta de todos los vehículos, al seleccionar uno de los vehículos en el panel de opciones de visualización de la parte superior derecha, se puede obtener la información individual de cada uno de los vehículos. En la Figura 17 se muestra el ejemplo de lo que ocurre al seleccionar el vehículo 7. Se puede observar cómo aparece únicamente la información del panel concreta de ese vehículo.

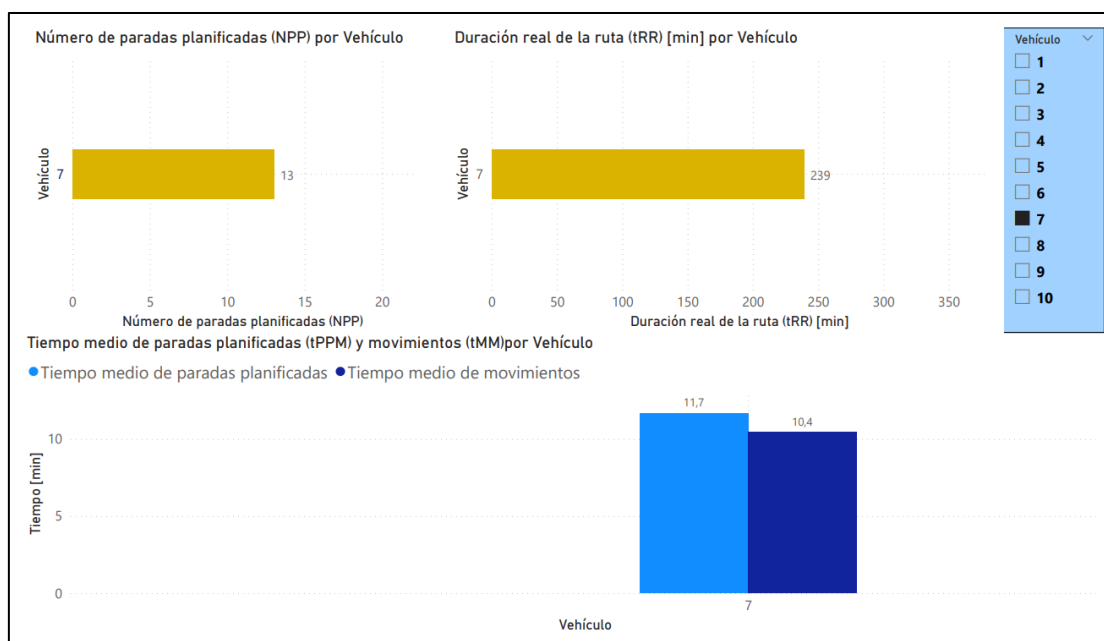


Figura 17. Muestra del Panel 1: Análisis de las paradas de los vehículos. Visualización tras selección de uno de los vehículos (vehículo 7) (elaboración propia)

- **Panel 2.** Análisis del OEE de los vehículos

El siguiente panel sirve para analizar el **rendimiento global del proceso de DUM** de cada uno de los vehículos. Los indicadores que conforman este panel son, básicamente, el **OEE (Overall Equipment Effectiveness)** y el resto de las variables que se utilizan para calcularlo: la disponibilidad (D), el rendimiento (R) y la calidad (C).

El resultado del OEE es el producto de estas tres variables, cada una dependiente de unas características distintas del desarrollo del servicio. Poder visualizar el porcentaje de OEE obtenido en cada uno de los vehículos, junto con los porcentajes de estos otros tres indicadores, permite a la empresa conocer cuál es el motivo por el que el rendimiento global del proceso baja y, de este modo, poder tomar medidas al respecto en el área determinada.

Un bajo rendimiento, por ejemplo, vendría determinado por una baja eficiencia de tráfico, de paradas o un bajo índice de ocupación. Una baja disponibilidad correspondería a elevados tiempos de parada no planificados, lo que implicaría pérdidas de tiempo innecesarias. Por último, una baja calidad requeriría una optimización en la realización de las entregas, aumentando el porcentaje de entregas satisfactorias.

Se ha diseñado un panel mediante el cual se pueden obtener, tanto los resultados de indicadores medios de la flota completa, como el resultado de los indicadores de cada uno de los vehículos de la flota de la empresa.

En la siguiente figura se puede observar el panel diseñado en el estudio para el análisis de la flota. En la parte izquierda del panel, se encuentra una vista rápida de los resultados de calidad, rendimiento, disponibilidad y OEE de cada uno de los vehículos. En las cuatro gráficas de indicadores se muestra la medida media de cada uno de los cuatro indicadores. Como se puede visualizar en las gráficas mostradas, los valores de calidad, de rendimiento

y de disponibilidad medios se encuentran muy próximos al 80% durante el día de cálculo. El valor del OEE medio diario de la flota durante ese día se encuentra cerca del 50%. El Panel 2 se muestra en la *Figura 18*.

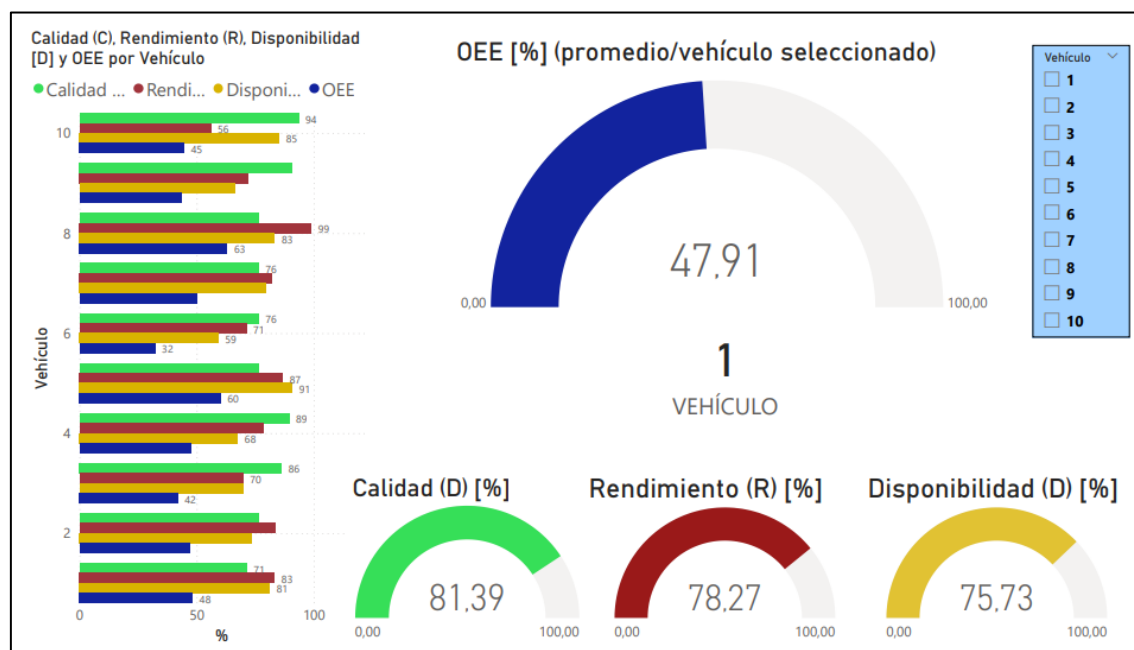


Figura 18. Muestra del Panel 2: Análisis del OEE de los vehículos (elaboración propia)

Al seleccionar uno de los vehículos, el panel pasa a mostrar la información propia del vehículo en cuestión, con los valores de los cuatro indicadores. Con ello, se han visualizado los términos del OEE para que, de manera rápida, se pueda observar qué término tiene mayor impacto negativo sobre este KPI y saber sobre qué término es más necesario actuar.

En la *Figura 19* se puede visualizar el ejemplo de los valores obtenidos para el vehículo 5 durante la ruta realizada el día 19 de abril de 2023. Se aprecia que el OEE es superior al de la media de los 10 vehículos, esto se debe principalmente a un aumento importante de disponibilidad y rendimiento en comparación con la media.

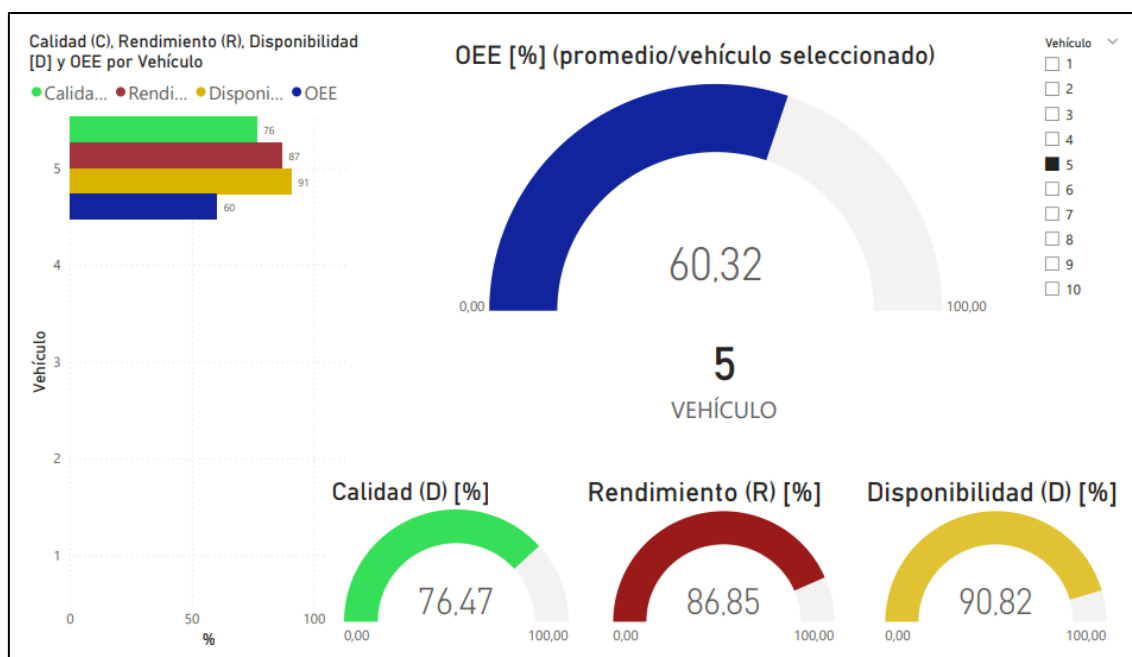


Figura 19. Muestra del Panel 2: Análisis del OEE de los vehículos. Visualización tras selección de uno de los vehículos (vehículo 5) (elaboración propia)

- **Panel 3.** Análisis de huella de carbono

El siguiente de los paneles está centrado en la **sostenibilidad**. La posibilidad de cálculo de la **huella de carbono (HC)** permite a las empresas conocer el nivel de sostenibilidad de sus procesos. Las empresas, cada vez más, han de tener una mayor consciencia ambiental y responsabilidad corporativa en cuanto al medioambiente. El contexto empresarial actual tiene un gran interés acerca del cambio climático y se empieza a priorizar la adquisición de productos y servicios más respetables con el medioambiente y que tengan una menor huella de carbono. La reducción, por lo tanto, de esta huella puede ayudar a empresas a obtener nuevas oportunidades de negocio y adentrarse en nuevos mercados.

Del mismo modo, en muchos casos, la propia normativa, exige cada vez con mayor dureza una serie de regulaciones que se centran en la reducción de las emisiones de carbono. Llevar una medida constante y controlada de esta huella puede ayudar a la empresa, además, a identificar oportunidades de mejora entre sus procesos para lograr una operativa óptima y un ahorro de costes en su actividad. Por todo esto, este KPI ha sido identificado como uno de los más importantes a implantar por las empresas y que, debido al uso constante de vehículos, va muy ligado con la distribución urbana de mercancías, al igual que con otros muchos sectores.

La huella de carbono, en el caso de estudio, está muy relacionada con la distancia recorrida por los vehículos. Es por lo que, la unión de ambas variables en un mismo panel de indicadores permite tener una idea más fiable del origen de la generación de esta huella. En el panel se muestra principalmente una gráfica de barras con la huella diaria producida por cada uno de los vehículos de la flota de la empresa y, en la parte superior, una serie de valores que pueden mostrar alguna evidencia de los resultados obtenidos de este indicador en cada uno de los casos.

En primer lugar, tal y como muestra la figura, en el panel se visualiza el sumatorio de la huella de carbono total generada por la flota completa de la Empresa X durante el día, que sería el equivalente a la suma de los valores de este indicador para cada uno de los vehículos. Este valor es de 735,73 kg CO₂e. Para el cálculo de este valor, como se ha explicado anteriormente, no se ha tenido en cuenta la generación de huella de carbono producida en cada uno de los vehículos debido al proceso de refrigeración de las cámaras (ya que la Empresa X se encarga del transporte de productos refrigerados). Por lo tanto, el valor real de la huella sería todavía mayor, no solo por este motivo, sino por los problemas que se ocasionan en las áreas urbanas en cuanto a congestión del tráfico en determinados momentos del día, que pueden desencadenar un aumento considerable de las emisiones. Para el cálculo exacto, sería necesario conocer la cantidad concreta de litros de combustible consumidos durante cada ruta.

Sin embargo, el valor obtenido mediante el indicador de huella de carbono definido en el presente estudio le sirve a la empresa para contabilizar el nivel de emisiones de cada uno de los vehículos debido al proceso de conducción. Los otros dos valores que se muestran en el panel de indicadores son los sumatorios de la distancia recorrida y el tiempo de conducción de todos los vehículos de la flota. En la *Figura 20* se muestra en Panel 3.

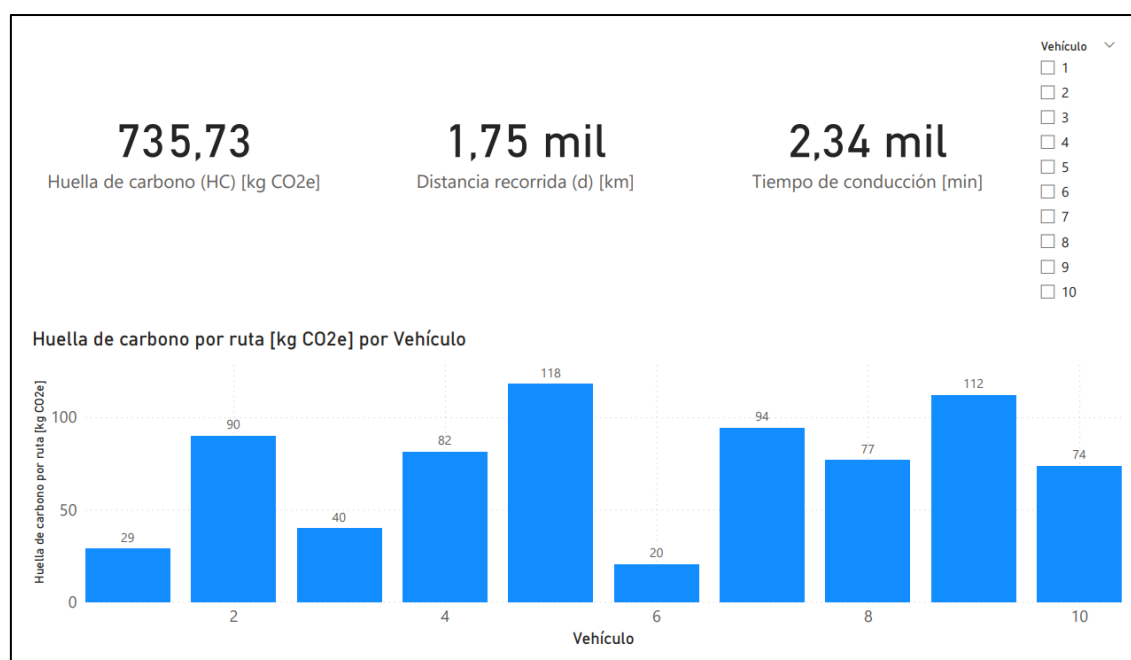


Figura 20. Muestra del Panel 3: Análisis de huella de carbono generada por los vehículos (elaboración propia)

Si se selecciona una de las barras del gráfico inferior del panel (donde se muestra la huella generada por cada uno), los valores que aparecen en el panel pasan a ser los valores del vehículo en cuestión. Esto permite conocer la huella generada por cada uno de los vehículos, la distancia recorrida por estos y el tiempo de conducción empleado para la realización de la ruta. De este modo, es posible obtener conclusiones sobre si la reducción o aumento de la huella de carbono se debe principalmente a un mayor o menor tiempo de utilización del vehículo, o si se debe a otros factores, como la utilización de vehículos de bajas emisiones. Esto se muestra en *Figura 21*.

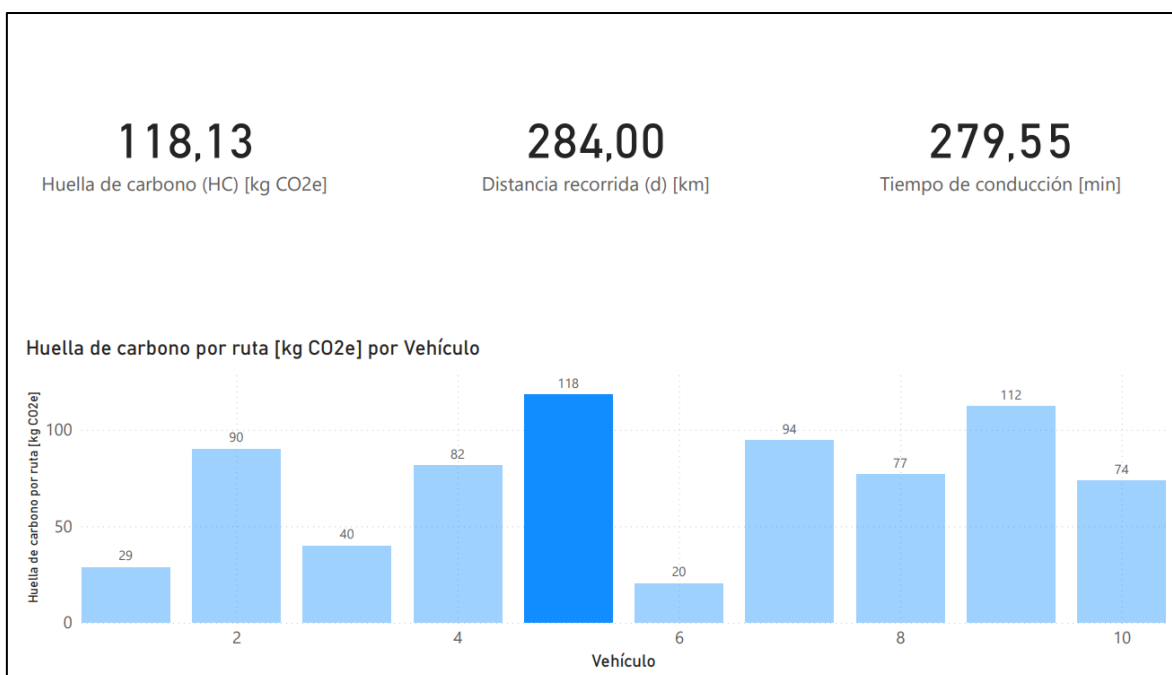


Figura 21. Muestra del Panel 3: Análisis de huella de carbono generada por los vehículos. Visualización tras selección de uno de los vehículos (vehículo 5) (elaboración propia)

En la figura anterior se puede observar el ejemplo de selección del vehículo 5. Este vehículo ha generado, según las medidas realizadas en este estudio, emisiones de alrededor de 118 kg de CO₂e al realizar distancia de 284 km durante la ruta y conducir durante aproximadamente 280 minutos, es decir, unas 4 horas y media.

- **Panel 4.** Análisis de eficiencia de entrega (OTIF)

Para controlar la **eficiencia de las entregas de la empresa** se ha creado un panel que se centra en la visualización del valor diario del **OTIF (on time in full)** por vehículo. Se ha proporcionado, además, la información del número de entregas a realizar en la ruta y el número de entregas fallidas que se producen en esta.

Si no se selecciona ninguno de los vehículos, el panel muestra la información media de toda la flota. En el momento que se selecciona uno de ellos, aparece en el panel la información de las variables del vehículo en concreto.

Este panel permite llevar un control de la cantidad de entregas que no se han realizado correctamente en la ruta y con ello, el valor de eficiencia que se refiere a este contexto (OTIF). Como se ha explicado anteriormente en el presente documento, el OTIF cuenta como entregas fallidas, todas aquellas que han sido incompletas o fuera de la fecha establecida. Para el caso de la Empresa X sería necesario la obtención de los datos a tiempo real de las entregas durante el proceso, de este modo se obtendrían unos resultados óptimos mediante el uso de este panel.

A continuación, se puede observar en las siguientes figuras (*Figura 22 y Figura 23*) el panel desarrollado en Power BI para la muestra de estos indicadores, en primer lugar, sin

ninguna selección de vehículo (información promedio) y, en segundo lugar, mostrando la información del vehículo 4.

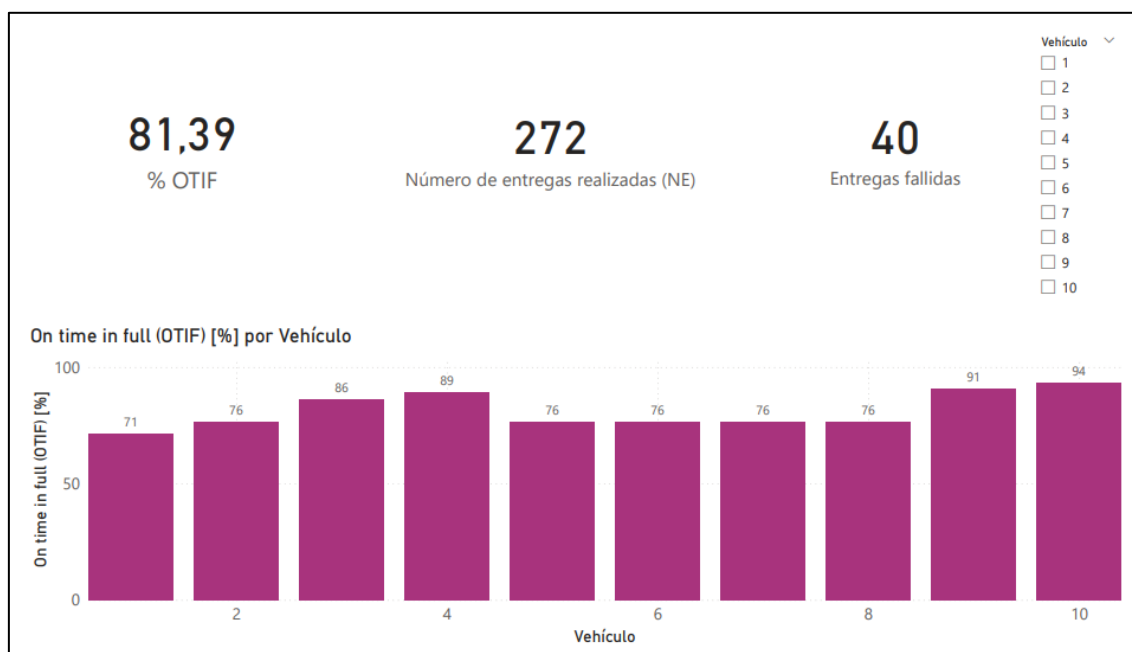


Figura 22. Muestra del Panel 4. Eficiencia de entrega (valores superiores promedio de la flota, gráfico de barras con la información de cada vehículo) (elaboración propia)

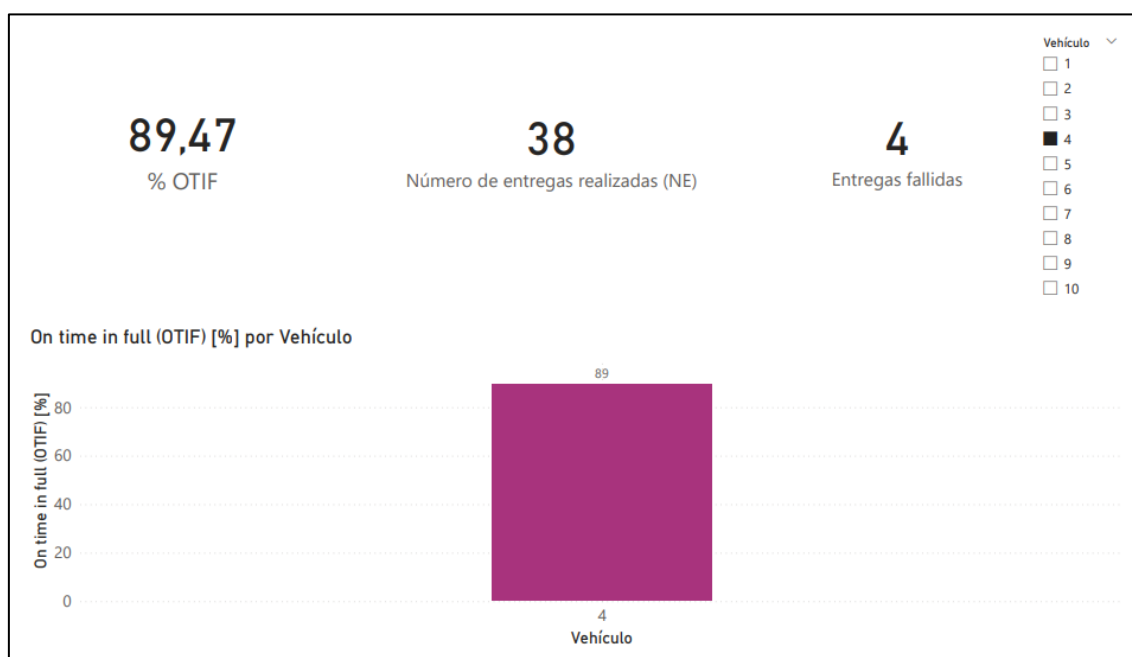


Figura 23. Muestra del Panel 4. Eficiencia de entrega (información tras selección del vehículo 4) (elaboración propia)

- **Panel 5.** Evolución temporal de huella de carbono y OEE

Una vez analizada la información diaria de los KPIs mediante los paneles mostrados anteriormente, se ha creado otro panel que muestra la **evolución temporal** a lo largo de un mes de dos de los indicadores más importantes del presente proyecto. Estos indicadores son la **huella de carbono** y el **OEE**.

Esta evolución temporal permite a la empresa controlar, mediante la visualización mensual, si las mejoras implantadas en cuanto a medidas de OEE y huella de carbono (HC) han tenido un impacto positivo para los intereses de la empresa en materias de eficiencia de transporte y sostenibilidad. Para ello, se ha obtenido de la plataforma de gestión de flotas toda la información diaria de uno de los vehículos (vehículo 1) durante el mes de abril de 2023. A partir de esta, se han calculado los valores diarios de estos dos indicadores para poder mostrar la evolución a lo largo del mes de este vehículo.

En este panel se ha representado la huella de carbono y el OEE, ya que son dos de los indicadores más importantes dentro de la distribución de última milla. Esto se debe a que, el OEE desde la eficiencia operativa y la huella de carbono desde la sostenibilidad, son cruciales para las empresas a la hora de evaluar y mejorar su desempeño en términos de productividad de los equipos y control de emisiones. Estos aspectos son fundamentales para las empresas, ya que les permite alcanzar los objetivos de crecimiento, en busca de una distribución de las mercancías con mayor sostenibilidad, eficiencia y rentabilidad en los entornos urbanos.

En la *Figura 24* se puede observar el panel de evolución temporal del comportamiento del vehículo 1 ante estos indicadores. Cabe destacar que las zonas en las que los valores de huella y OEE son nulos se corresponden a días no laborables (también podría deberse a jornadas en las que los vehículos se han sometido a procedimientos de reparación o mantenimiento, aunque en este ejemplo no es el caso del vehículo 1).

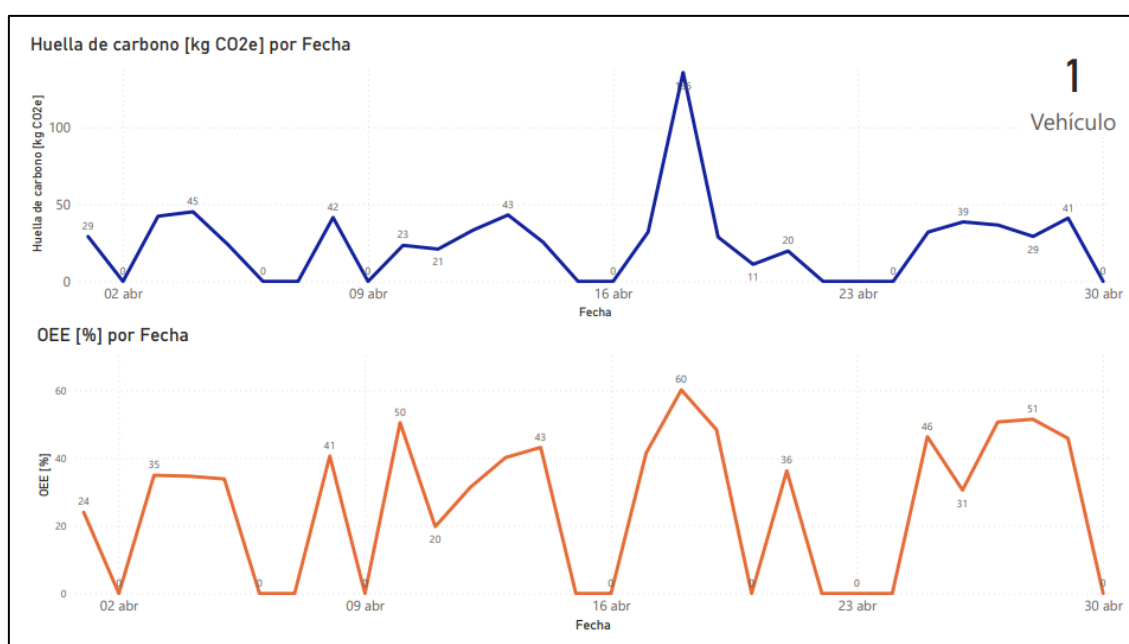


Figura 24. Muestra del Panel 5: Evolución temporal de huella de carbono y OEE (elaboración propia)

Al seleccionar cualquier parte de la gráfica, aparece una ventana de información en la que se indica de forma exacta la fecha y el valor del indicador en ese momento. Esto se puede apreciar en las siguientes figuras (Figura 25 y Figura 26).

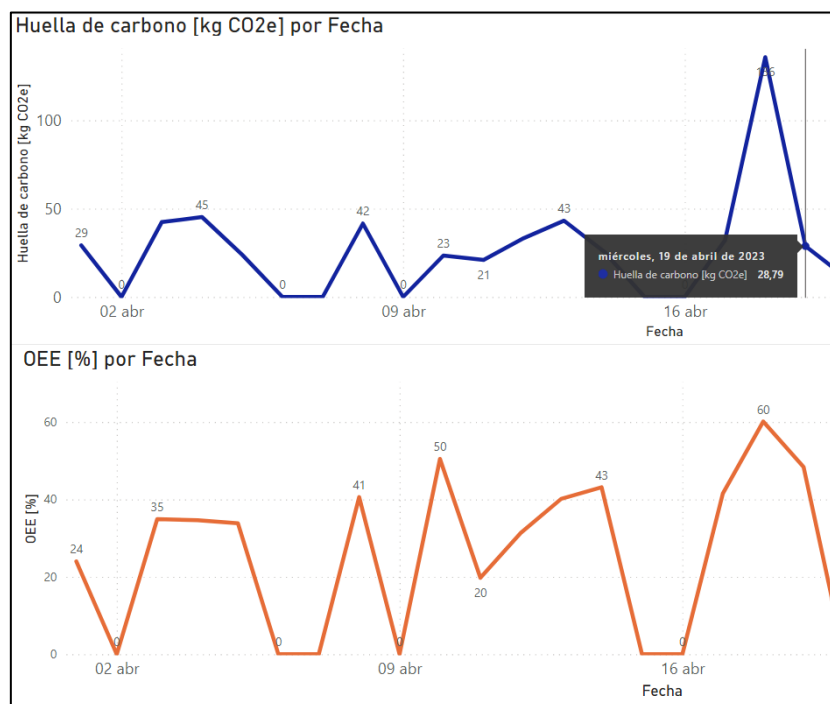


Figura 25. Muestra del panel 5. Ejemplo de selección del día 19 de abril de 2023 (elaboración propia)

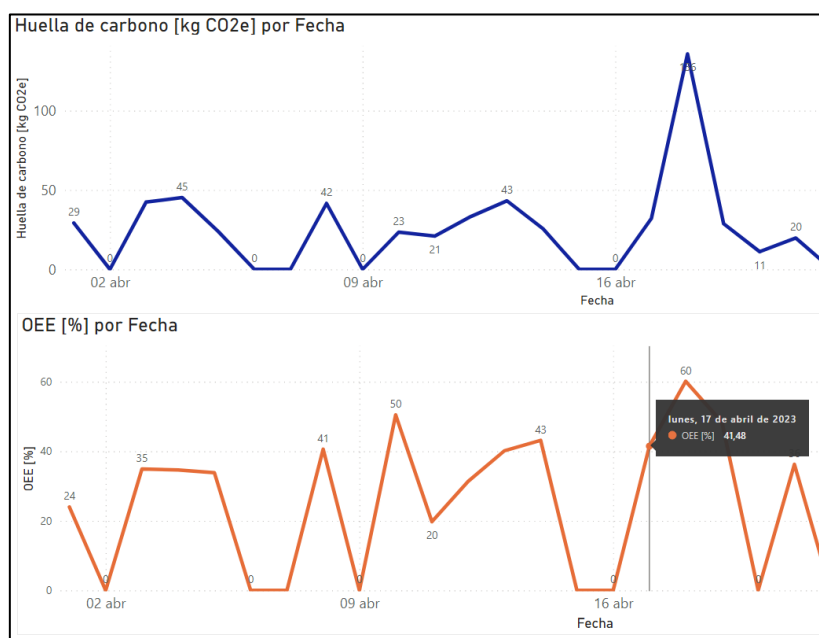


Figura 26. Muestra del panel 5. Ejemplo de selección del día 19 de abril de 2023 (elaboración propia)

6. Análisis económico del proyecto

En este punto se ha realizado un análisis económico a tener en cuenta para la elaboración de este proyecto y su implantación en una empresa.

- Investigación y desarrollo

Para una correcta implantación del cuadro de mando de KPIs es necesario, en primer lugar, una investigación y análisis de los aspectos claves de la DUM, obtención y organización de los datos de la empresa, identificación de los KPIs relevantes y la realización de una adaptación de estos a las necesidades del proyecto.

Una vez analizados estos aspectos, se necesita un profesional que se encargue de desarrollar el cuadro de mando. Para ello es necesario establecer el diseño y desarrollo mediante la herramienta Microsoft Power BI.

Este proceso conlleva un coste de unos 6 días de trabajo del profesional (ingeniero) a jornada completa (8 horas), lo que con un sueldo de 70€/hora, daría lugar a una inversión de 3360€.

- Tecnología y herramientas

Para el desarrollo y la visualización del cuadro de mando de KPIs se necesita una determinada inversión en hardware y software. En cuanto a hardware, se requieren equipos informáticos que permitan visualizar el cuadro de mando, como un ordenador profesional, que puede suponer alrededor de 1000€ de inversión. Si hablamos de software, es necesaria la adquisición de la licencia de Microsoft Power BI para uso empresarial. Esta licencia sería la correspondiente a Power BI Pro, que permite el uso de esta herramienta para las empresas. Su valor es de 9,40€ por usuario/mes.

Es necesaria la contratación de una aplicación de control de flotas que permita obtener los datos temporales de las rutas realizadas por los vehículos de reparto. El precio de la aplicación Vigiloo (control de flotas) supondría unos 100€/año. Para incorporar en esta aplicación el cuadro de mandos y poder obtener información a tiempo real de cada uno de los paneles, es necesario incorporarlo en la aplicación mediante programación informática, lo que supone un coste de unos 1400€ (20 horas de trabajo del programador a 70€/h)

- Formación del personal de la empresa

A todo esto, hay que añadir los costes de formación al personal de la empresa encargado del uso de esta herramienta y el cuadro de mando de KPIs. Esto se podría realizar mediante dos semanas de clases intensivas durante 2 horas al día. Para ello hay que tener en cuenta el coste del personal de la empresa que tiene que ser formado y el coste del profesional encargado de la formación. Teniendo en cuenta un sueldo del profesional (ingeniero) de 70 €/hora, supondría un coste de 1400 €. El coste asociado a los trabajadores que reciben la formación no es necesario tenerlo en cuenta debido a las financiaciones del Estado en cuanto a formación a través de FUNDAE [44], fundación que aporta créditos a las empresas y permisos individuales de formación para sus trabajadores (variando el porcentaje de bonificación en función del tamaño de la empresa).

Mediante la tabla se puede observar un desglose de los costes asociados al proyecto y el coste total del proyecto (*Tabla 11*).

Tabla 11. *Cálculo de costes anuales de implantación del proyecto; (*): costes recurrentes*

Proceso	Coste del proyecto (€)
Investigación y desarrollo	3360
PC profesional	1000
Licencia Microsoft Power BI	112,8 (*)
Vigiloo (control de flotas)	100 (*)
Incorporación de cuadro de mando Vigiloo	1400
Formación	2100
Total	8072,8

A partir de estos datos, para calcular la diferencia de precio por paquete que supone la utilización del cuadro de mando, será necesario calcular el coste actual que supone el paquete o la entrega (KPIs económicos definidos en el presente proyecto), para compararlo con el nuevo precio por paquete o entrega tras haber implementado esta tecnología.

Además, sería interesante el cálculo del ROI (Ec. 12), que permite la evaluación de la eficiencia de las inversiones. Permite el cálculo de las ganancias obtenidas en relación con la inversión realizada. Sería interesante calcular el ROI tras el primer año de utilización del cuadro de mando, para conocer si realmente en un año se ha podido recuperar la inversión realizada y en qué medida.

$$ROI = \frac{\text{Ingresos} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}} \quad (12)$$

Esto permitirá conocer cuál ha sido la mejora económica real tras la implantación del cuadro de mando en las operaciones.

7. Conclusiones

En el contexto de un mundo que evoluciona constantemente, la **Distribución Urbana de Mercancías (DUM)** es un ámbito muy cambiante, que no solo depende de la actividad de las propias empresas del sector, sino de los cambios que se producen constantemente en el área urbana. Ante este escenario, resulta crucial identificar y aprovechar las distintas posibilidades de mejora que sirvan para la optimización de las operaciones de distribución con el objetivo de alcanzar una evolución positiva en cuanto a eficiencia, sostenibilidad y satisfacción de los clientes.

La principal aportación de este Trabajo de Fin de Máster es el desarrollo de un cuadro de mando de KPIs destinado a la DUM, para la implantación en la operativa de las empresas de este sector. Se ha llevado a cabo mediante la selección y definición de KPIs enfocados al ámbito de DUM, que responden principalmente a las áreas de sostenibilidad, logística-operativa y economía.

Los KPIs constituyen una herramienta adecuada para la evaluación y mejora de las operaciones logísticas en los entornos urbanos ya que, gracias a ellos, se obtiene una visión clara y cuantificable de aspectos de este sector, lo que facilita la identificación de áreas de mejora y sirve de soporte en la toma de decisiones, en busca de la optimización de los distintos procesos.

Estos KPIs se han mostrado de manera normalizada mediante la ISO 2240. Todo ello permite a las empresas de este sector disponer de una guía de KPIs que pueden usar para el análisis de su operativa. Algunos de los KPIs definidos en el proyecto ya existían en DUM y en el transporte en general, mientras que, para otros, ha sido necesaria una adaptación a este tipo de distribución. Este es el caso, por ejemplo, del OEE, un KPI utilizado para medir la eficiencia global de producción y que se ha adaptado al ámbito de la DUM para medir la eficiencia de los vehículos.

A partir de esta recopilación y normalización de KPIs, se ha realizado un desarrollo mediante la herramienta **Microsoft Power BI**, de distintos paneles de seguimiento de KPIs que permiten a las empresas tener una visión completa de su actividad en cuanto a procesos de logística de reparto, eficiencia y sostenibilidad. Gracias a este **cuadro de mando de KPIs**, las empresas pueden hacer seguimiento de la información proporcionada y utilizarla para la toma de decisiones empresariales informadas que permitan optimizar sus procesos.

El desarrollo de los paneles ha sido posible gracias a los datos que la **Empresa X** (dedicada a DUM) ha puesto a disposición del proyecto. Esta empresa ha proporcionado información de sus vehículos y del desarrollo de la actividad de cada una de sus rutas. Gracias a los datos proporcionados por la empresa, ha sido posible el cálculo de los KPIs del proyecto y la creación del cuadro de mando de KPIs.

A partir de esta información, se ha hecho una revisión de los parámetros que dispone la empresa de DUM y se ha determinado qué otras variables sería interesante conocer, como el consumo de combustible real, información a tiempo real de las entregas, consumos por refrigeración o información sobre los costes de la operativa. La incorporación de estas variables permitiría una mayor optimización de las medidas de los KPIs y la obtención de resultados más exactos.

Se ha mantenido un contacto constante con el personal logístico de la empresa, a quienes se les ha mostrado los paneles de KPIs desarrollados a partir de la información proporcionada para la creación del cuadro de mando. Finalmente, este cuadro va a ser implantado en la operativa de la empresa, ya que les permite tener un control exhaustivo de los KPIs más importantes en cuanto a eficiencia y sostenibilidad, algo que no tenían en cuenta antes de la elaboración del presente proyecto. Esta implantación les sirve de soporte en cuanto a la toma de decisiones.

La integración de estos paneles en las aplicaciones de gestión de rutas (como la utilizada por la Empresa X para controlar su flota) proporciona una valiosa información adicional, como el análisis de paradas de los vehículos, del OEE, de la huella de carbono, de la eficiencia de entrega y la evolución temporal de dos de los KPIs de mayor interés, la huella de carbono y el OEE. Todo esto permite a todas las empresas que lo utilicen tener una visión detallada de las principales áreas de su desempeño y disponer de estrategias que les permitan optar por rutas verdes o de mayor interés económico.

7.1. Líneas futuras

En cuanto a las posibilidades de este proyecto de cara al futuro, en primer lugar, se podría ampliar el número de paneles del cuadro de mando de KPIs. Para ello, se podrían tener en cuenta nuevos KPIs que no han sido definidos en el presente proyecto, o solicitar información que permita calcular aquellos que no ha sido posible en el presente proyecto, como es el caso de los KPIs económicos o el seguimiento de las entregas.

Para garantizar mayor precisión y fiabilidad de los KPIs, es esencial seguir perfeccionando la calidad de los datos recopilados. En el caso de la Empresa X, es de gran interés que se tengan en cuenta las sugerencias indicadas en el presente proyecto para la toma de determinados datos, como el consumo de combustible, las entregas, la refrigeración o los costes de la operativa.

El proyecto se ha centrado en la visualización de los KPIs a través de paneles de seguimiento en Power BI. De cara al futuro, se podría considerar la implementación de otras técnicas de análisis avanzado de datos, como el uso de algoritmos de machine learning o análisis predictivo, que permitirá tener mejores percepciones sobre los patrones y tendencias que se producen en DUM. Para ello, sería conveniente colaborar con un mayor número de empresas del sector, que permitan identificar prácticas comunes y generar conocimientos compartidos.

Por último, sería de gran interés conocer el resultado real que ha supuesto el uso del cuadro de mando de KPIs para las empresas que lo implementen en cuanto a mejoras en la operativa. Se podrían analizar las acciones concretas llevadas a cabo por cada una de estas empresas para abordar dichas áreas de mejora y los resultados obtenidos. Del mismo modo, los paneles generados se pueden extrapolar para su aplicación en otro tipo de transporte, como el de larga distancia, mediante la modificación de las variables que lo requieran. Esto permitirá que, en el futuro, puedan ser estudiados para el caso de otros entornos.

8. Bibliografía

1. Ayuntamiento de Zaragoza (2019, 22 marzo). *Revisión del Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS) – Informe de propuestas. Distribución urbana de mercancías*. https://www.zaragoza.es/contenidos/movilidad/PMUS/abril2019-a/PMUS-ZGZ_PROPUESTAS_7_DISTR-URB-MERC.pdf
2. Ruta, A. j. (2018). *La distribución urbana de mercancías será uno de los grandes perjudicados por la nueva ordenanza de movilidad. La revista de los autónomos del transporte*. <https://www.autonomosenruta.com/transporte-mercancias/sector/4958-distribucion-urbana-mercancias-perjudicada-ordenanza-movilidad-madrid>
3. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) (2020, 28 octubre). *La Evolución del e-commerce en España | Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030*. <https://esmovilidad.mitma.es/noticias/la-evolucion-del-e-commerce-en-espana>
4. IT Digital Media Group. (2023, 1 febrero). *El 79% de los consumidores espera aumentar su gasto en Internet en 2023. En cifras | IT Reseller*. <https://www.itreseller.es/en-cifras/2023/02/el-79-de-los-consumidores-espera-aumentar-su-gasto-en-internet-en-2023>
5. CNMC. (2023, 5 abril). *Nota de prensa. Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC)*. <https://www.cnmc.es/prensa/ecommerce-20230404>
6. De Aragón, G. (2023, 3 mayo) *Inspección de Transportes por Carretera en Aragón. Portal de Aragon*. <https://www.aragon.es/-/inspeccion-de-transportes-por-carretera>
7. Es.Movilidad (2020, 9 diciembre). *Resultados del Laboratorio de Ideas sobre Distribución Urbana de Mercancías - DUM | Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030*. <https://esmovilidad.mitma.es/noticias/resultados-del-laboratorio-de-ideas-sobre-distribucion-urbana-de-mercancias-dum>
8. DispatchTrack (2022). *Ruta de transporte: tipos, diseño y planificación de rutas logísticas*. <https://www.beetrack.com/es/blog/ruta-de-transporte-dise%C3%B1arla>
9. GASTÓN SOLARES ÁVILA. Correo del Sur. (2019, 14 agosto). *Problema difícil, pero tiene solución*. https://correodelsur.com/opinion/20190814_problema-dificil-pero-tiene-solucion.html
10. LORENZO ROS-MCDONNELL, MARÍA VICTORIA DE LA FUENTE, DIEGO CARDÓS (2018, septiembre). *Analysis of freight distribution flows in an urban functional area*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275117312842>
11. VICENTE, A. (2019, 15 abril). *El incumplimiento del horario de reparto agrava el problema de tráfico en la primera línea. Información*.

- <https://www.informacion.es/benidorm/2019/04/15/incumplimiento-horario-reparto-agrava-problema-5441353.html>
12. Noticias-Coches.com (2013, 28 enero). *Causas y soluciones a los atascos de tráfico*. <https://noticias.coches.com/noticias-motor/causas-soluciones-atascos-traffic/38920>
 13. JOSÉ CARLOS ESPESO (AECOC) (2021, 4 mayo) *El impacto de la Distribución Urbana de Mercancías en las Grandes Urbes*. www.ey.com. https://www.ey.com/es_es/ey-mobility-center/el-impacto-de-la-distribucion-urbana-de-mercancias-en-las-grandes-urbes
 14. Jefatura de Estado, BOE 121 (2021, 21 mayo). *Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética*. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-8447
 15. Instituto de la Ingeniería de España (IIE) (2018, 27 septiembre). *Logística Urbana DUM (Distribución Urbana de Mercancías)*. <https://www.iies.es/single-post/2018/09/27/Log%C3%ADstica-Urbana-DUM-Distribuci%C3%B3n-Urbana-de-Mercanc%C3%ADas>
 16. Mecalux. (2022, 20 febrero). *Almacén de consolidación: ¿cuál es su papel en logística?* <https://www.mecalux.es/blog/almacen-consolidacion#:~:text=Un%20almac%C3%A9n%20de%20consolidaci%C3%B3n%20es,tama%C3%B1o%20para%20facilitar%20su%20transporte>
 17. GUILLEM SANZ, RAFAEL PASTOR, ERNEST BENEDITO (2013, 5 mayo). *Distribución urbana de mercancías y clasificación de soluciones existentes e implementación de dos soluciones novedosas*. <https://www.redalyc.org/pdf/496/49627363002.pdf>
 18. COUTINHO, V (2022, 14 septiembre). *KPIs: descubre qué son los indicadores clave de rendimiento y cómo usarlos para orientar tus estrategias*. Rock Content - ES. <https://rockcontent.com/es/blog/kpis/>
 19. Insightsoftware. (2021, 2 mayo). *Ejemplos de los 30 mejores KPI y métricas de producción para la creación de informes en 2021. Spain*. <https://insightsoftware.com/es/blog/30-manufacturing-kpis-and-metric-examples/#:~:text=Un%20indicador%20clave%20de%20rendimiento,a%20lo%20largo%20del%20tiempo>
 20. ISO 2240 (2020). *"Logistics - Freight containers - Identification and marking," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland*
 21. Mecalux. (2020, 18 febrero). *KPI en logística: así se mide el éxito en la 'supply chain'*. <https://www.mecalux.es/blog/kpi-logistica>

22. TENA, ISAAC (2022). *Estudio, definición y caracterización de indicadores para la Distribución Urbana de Mercancías (DUM)*
23. MUÑOZ, D. (2020 31 agosto). *Qué es el OEE logístico y cómo calcularlo*. <https://theinformalblog.blogspot.com/2020/08/que-es-el-oe-logistico-y-como.html>
24. Unir. (2022, 15 noviembre). *Los KPIs de logística más importantes*. UNIR. <https://www.unir.net/ingenieria/revista/kpis-logistica/>
25. Asociación Española de Normalización y Certificación (2015, abril). *Gases de efecto invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para cuantificación y comunicación (ISO/TS 14067:2013)*
26. AECOC (2017). *Recomendaciones AECOC para la Logística – Guía de cálculo de huella de carbono del transporte de mercancías por carretera*
27. Fundación Matrix (2020, 18 noviembre). *Huella de carbono de los municipios de España: influencia del transporte y las áreas edificadas*. <https://fundacionmatrix.es/huella-de-carbono-de-los-municipios-de-espana-influencia-del-transporte-y-las-areas-edificadas/>
28. La Luna shipping. (2023). *La huella de carbono ¿cómo se calcula el impacto ambiental de un envío?* <https://laluna.coop/la-huella-de-carbono-como-se-calcula-el-impacto-ambiental-de-un-envio/>
29. MARTINEZ, C. (2021, 25 enero). *El PCTCLM se ha inscrito en el Registro de Huella de Carbono. Parque Científico y Tecnológico de Castilla - La Mancha*. <https://pctclm.com/el-pctclm-se-ha-inscrito-en-el-registro-de-huella-de-carbono>
30. CERVANTES, S. (2020, 31 enero). *Danone redefine su logística de última milla; invierte 300 mdp*. *Revista Alianza Flotillera*. <https://alianzaflotillera.com/danone-redefine-su-logistica-de-ultima-milla-invierte-300-mdp/>
31. IDAE (s.f.). *Consumo y emisiones de CO2. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico*. <https://coches.idae.es/consumo-de-carburante-y-emisiones#:~:text=Por%20cada%20litro%20de%20gasolina,64%20kg%20de%20CO2>
32. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2022, 4 mayo). *Real Decreto - El Gobierno impulsa la distribución de mercancías de última milla con vehículos eléctricos*. <https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/sala-de-prensa/noticias/mar-05042022-1606>
33. Gobierno de Aragón (2023, 3 mayo). *Programa Moves III en Aragón. Portal de Aragon*. <https://www.aragon.es/-/programa-moves-iii-en-aragon#anchor1>

34. Es.Movilidad (2023, mayo). *Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030 (MITMA)*.
<https://esmovilidad.mitma.es/#:~:text=La%20Estrategia%20de%20Movilidad%20Segura,en%20los%20pr%C3%B3ximos%20diez%20a%C3%B1os>

35. KARLA MARÍA TAVÁRES FADUL (2021, septiembre). *Estrategias de sostenibilidad para la distribución urbana de mercancías en Santo Domingo (República Dominicana). Diagnóstico de la situación actual y propuestas de mejora*.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/175885/Tavarez%20-%20Estrategias%20de%20sostenibilidad%20para%20la%20Distribucion%20Urbana%20de%20Mercancias%20en%20Santo%20Domingo....pdf?sequence=1>

36. Ayuntamiento de Barcelona (2022, 25 julio). *La distribución urbana de mercancías (DUM). Movilidad y transportes*.
<https://www.barcelona.cat/mobilitat/es/servicios/movilidad-comercial/la-distribucion-urbana-de-mercancias-dum>

37. DIANA, M., PIRRA, M., & WOODCOCK, A. (2020). *Freight distribution in urban areas: a method to select the most important loading and unloading areas and a survey tool to investigate related demand patterns*. *European Transport Research Review*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s12544-020-00430-w>

38. Blogitl. (2017, 19 octubre). *Movilidad urbana - Blog de CC de Transporte y Logística*.
<https://blogs.ucjc.edu/cc-transporte-logistica/2017/10/movilidad-urbana/>

39. EDUARDO ALCÁNTARA VASCONCELLOS (2010, septiembre). *Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad*
https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/414/An%C3%A1lisis_de_la_movilidad_urbana._Espacio,_medio_ambiente_y_equidad.pdf?sequence=7

40. JOSÉ CARLOS ESPESO (AECOC) (2021, 4 mayo) *El impacto de la Distribución Urbana de Mercancías en las Grandes Urbes*. www.ey.com.
https://www.ey.com/es_es/ey-mobility-center/el-impacto-de-la-distribucion-urbana-de-mercancias-en-las-grandes-urbes

41. SUM Bilbao (2021, 7 julio). *La importancia de la distribución urbana de mercancías - SUM Congress Bilbao 21*. <https://sumbilbao.com/la-importancia-de-la-distribucion-urbana-de-mercancias/>

42. IRIS AMADO (2022, 27 junio). *La colaboración, el camino que la distribución urbana de mercancías debe seguir - Logistop*. <https://logistop.org/la-colaboracion-el-camino-que-la-distribucion-urbana-de-mercancias-debe-seguir/>

43. Interempresas (2015, 3 julio). *Introducción a la Huella de Carbono: una herramienta para mejorar la competitividad de las empresas*.
<https://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/141490-Introduccion-a-Huella-de-Carbono-herramienta-para-mejorar-competitividad-de-empresas.html%204>

44. Fundae. (s. f.). *Financiación*. Formación para el empleo.

<https://www.fundae.es/formacion/financiacion>

Índice de figuras

Figura 1. Entrega de mercancías en DUM [2].....	3
Figura 2. Evolución del e-commerce (2017 - 2022) [5].....	3
Figura 3. Vehículo de transporte por carretera (izquierda) [6] y vehículo de DUM (derecha) [7]	4
Figura 4. Actividades principales en DUM (elaboración propia)	5
Figura 5. Agentes de DUM (elaboración propia).....	6
Figura 6. Congestión de vías y dificultad de realización de DUM [11][12]	7
Figura 7. Problemática en la DUM (elaboración propia).....	7
Figura 8. Gráfico de OEE. Identificación de las pérdidas en su cálculo. Fuente: elaboración propia	14
Figura 9. Porcentajes del sector transporte en misiones de GEI en la UE. Datos de 2017 [26]	15
Figura 10. Evolución de emisiones de CO ₂ e del sector transporte [27]	15
Figura 11. Huella de carbono [29].....	16
Figura 12. Distribución urbana de productos Danone [30]	18
Figura 13. Mapa para localización de vehículos (fuente: aplicación de control de flotas)	19
Figura 14. Información de vehículos a tiempo real (fuente: aplicación de control de flotas).....	20
Figura 15. Paneles del cuadro de mando de KPIs (elaboración propia).....	30
Figura 16. Muestra del Panel 1: Análisis de las paradas de los vehículos (elaboración propia).....	31
Figura 17. Muestra del Panel 1: Análisis de las paradas de los vehículos. Visualización tras selección de uno de los vehículos (vehículo 7) (elaboración propia).....	32
Figura 18. Muestra del Panel 2: Análisis del OEE de los vehículos (elaboración propia)	33
Figura 19. Muestra del Panel 2: Análisis del OEE de los vehículos. Visualización tras selección de uno de los vehículos (vehículo 5) (elaboración propia).....	34
Figura 20. Muestra del Panel 3: Análisis de huella de carbono generada por los vehículos (elaboración propia).....	35
Figura 21. Muestra del Panel 3: Análisis de huella de carbono generada por los vehículos. Visualización tras selección de uno de los vehículos (vehículo 5) (elaboración propia).....	36
Figura 22. Muestra del Panel 4. Eficiencia de entrega (valores superiores promedio de la flota, gráfico de barras con la información de cada vehículo) (elaboración propia).....	37
Figura 23. Muestra del Panel 4. Eficiencia de entrega (información tras selección del vehículo 4) (elaboración propia).....	37
Figura 24. Muestra del Panel 5: Evolución temporal de huella de carbono y OEE (elaboración propia).....	38
Figura 25. Muestra del panel 5. Ejemplo de selección del día 19 de abril de 2023 (elaboración propia).....	39
Figura 26. Muestra del panel 5. Ejemplo de selección del día 19 de abril de 2023 (elaboración propia).....	39
Figura 27. Porcentaje de emisión de CO ₂ e por sectores [43]	62
Figura 28. Mapa de localización de vehículos (fuente: aplicación de control de flotas)	92

Figura 29. Mapa de localización de vehículos (2) (fuente: aplicación de control de flotas)	92
Figura 30. Reportes de la aplicación (fuente: aplicación de control de flotas)	93
Figura 31. Actividad de la flota del día 19 de abril de 2023(1) (fuente: aplicación de control de flotas)	93
Figura 32. Actividad de la flota del día 19 de abril de 2023(2) (fuente: aplicación de control de flotas)	93
Figura 33. Muestra del seguimiento de la actividad del vehículo 1 proporcionada por la aplicación de control de flotas para el día 19 de abril de 2023 (fuente: app de control de flotas)	94

Índice de tablas

Tabla 1. Ejemplo genérico de tabla de indicadores	10
Tabla 2. Indicadores definidos en el proyecto (E.P.: elaboración propia)	11
Tabla 3. Descripción de indicador. Overall equipment effectiveness (OEE)	14
Tabla 4. Descripción de indicador. Huella de carbono (HC)	17
Tabla 5. Descripción de indicador. On time in full (OTIF)	18
Tabla 6. Capacidades del vehículo	23
Tabla 7. Cálculo de indicadores para los vehículos de la Empresa X (día 19 de abril de 2023) (1)	27
Tabla 8. Cálculo de indicadores para los vehículos de la Empresa X (día 19 de abril de 2023) (2)	28
Tabla 9. Cálculo de indicadores para los vehículos de la Empresa X (día 19 de abril de 2023) (3)	28
Tabla 10. Cálculo de indicadores para los vehículos de la Empresa X (día 19 de abril de 2023) (4)	29
Tabla 11. Cálculo de costes anuales de implantación del proyecto	41
Tabla 12. Descripción de indicador. Número de paradas planificadas por vehículo (NPP)	63
Tabla 13. Descripción de indicador. Paquetes pendientes de entrega (PP)	64
Tabla 14. Descripción de indicador. Entregas pendientes (EP)	65
Tabla 15. Descripción de indicador. Índice de entregas realizadas (IER)	65
Tabla 16. Descripción de indicador. Índice de paquetes entregados (IPE)	66
Tabla 17. Descripción de indicador. Tiempo medio de paradas planificadas (tPPM)	67
Tabla 18. Descripción de indicador. Tiempo medio de movimientos de ruta (tMM)	68
Tabla 19. Descripción de indicador. Duración real de la ruta (tRR)	69
Tabla 20. Descripción de indicador. Tiempo de ruta medio por entrega (tRME)	69
Tabla 21. Definición de indicador. Tiempo de ruta medio por paquete (tRMP)	70
Tabla 22. Descripción de indicador. Tiempo de parada medio por entrega (tPME)	70
Tabla 23. Descripción de indicador. Tiempo de parada medio por paquete (tPMP)	71
Tabla 24. Descripción de indicador. Índice de actividad del vehículo (IAV)	71
Tabla 25. Descripción de indicador. Índice de inactividad del vehículo (IIV)	72
Tabla 26. Descripción de indicador. On time in full (OTIF)	73
Tabla 27. Descripción de indicador. Consumo de combustible del vehículo (CC)	74
Tabla 28. Descripción de indicador. Eficiencia de paradas del vehículo (EP)	74
Tabla 29. Descripción de indicador. Índice de ocupación del vehículo (IO)	75

Tabla 30. Descripción de indicador. Eficiencia de tráfico (ET)	76
Tabla 31. Descripción de indicador. Rendimiento del vehículo (R)	77
Tabla 32. Descripción de indicador. Disponibilidad del vehículo (D)	77
Tabla 33. Descripción de indicador. Calidad (C)	78
Tabla 34. Descripción de indicador. Overall equipment effectiveness (OEE).....	79
Tabla 35. Definición de indicador. Carga transportada por vehículo (QV)	79
Tabla 36. Descripción de indicador. Distancia recorrida por paquete (DRP)	80
Tabla 37. Descripción de indicador. Distancia recorrida por entrega (DRE).....	80
Tabla 38. Descripción de indicador. Entregas por hora por vehículo (EH)	81
Tabla 39. Descripción de indicador. Huella de carbono (HC)	82
Tabla 40. Descripción de indicador. Huella de carbono por entrega (HCE).....	83
Tabla 41. Descripción de indicador. Huella de carbono por paquete (HCP)	83
Tabla 42. Descripción de indicador. Huella de carbono por ruta (HCR)	84
Tabla 43. Descripción de indicador. Coste de vehículo por kilómetro recorrido (CVKM)	85
Tabla 44. Descripción de indicador. Coste de inventario por ruta (CIR)	85
Tabla 45. Descripción de indicador. Coste de devoluciones por ruta (CDR).....	86
Tabla 46. Descripción de indicador. Coste de amortización por ruta (CAR).....	86
Tabla 47. Descripción de indicador. Coste de financiación por ruta (CFinR)	87
Tabla 48. Descripción de indicador. Coste de conductor por ruta (CConR).....	87
Tabla 49. Descripción de indicador. Coste del seguro por ruta (CSR).....	88
Tabla 50. Descripción de indicador. Coste fiscal por ruta (CFisR).....	88
Tabla 51. Descripción de indicador. Coste del combustible por ruta (CComR)	89
Tabla 52. Descripción de indicador. Coste de mantenimiento del vehículo por ruta (CMVR).....	89
Tabla 53. Descripción de indicador. Coste de reparación de vehículo por ruta (CRVR)	90
Tabla 54. Descripción de indicador. Coste total de la ruta (CR).....	90
Tabla 55. Descripción de indicador. Coste total de ruta por paquete (CP)	91
Tabla 56. Descripción de indicador. Coste total de la entrega por ruta (CE).....	91
Tabla 57. Cálculo de valores diarios de OEE y huella de carbono durante el mes de abril de 2023	95
Tabla 58. Procedimiento de cambio de formato de tiempos	96

9. ANEXO I: Información complementaria de DUM y huella de carbono

9.1. Distribución urbana de mercancías

Según el Plan de Acción de Movilidad Urbana de la Comisión de las Comunidades Europeas, “la movilidad urbana es un componente central del transporte a larga distancia. La mayor parte del transporte, tanto de pasajeros como de mercancías, empieza y termina en zonas urbanas, y atraviesa varias de ellas en su recorrido. Las zonas urbanas deberían proporcionar puntos de interconexión eficaces para la red transeuropea de transporte y ofrecer un transporte de «último kilómetro» eficiente para pasajeros y mercancías. Resultan, por tanto, vitales para la competitividad y sostenibilidad del futuro sistema de transportes europeo” [1].

Los impactos negativos generados por el tráfico urbano (congestión, ruido, emisiones...) se encuentran en contrapartida con la necesidad de mantener las actividades comerciales del interior de las ciudades. Todo ello genera un importante pulso de intereses entre las administraciones municipales y la empresa privada. Por este motivo, el objetivo actual del sector consiste en la creación de un sistema urbano sostenible, tanto desde el punto de vista social como desde el económico. La correcta organización del reparto mercancías en el área urbana es un elemento muy importante para el éxito de este concepto.

La logística de distribución comercial es considerada como todas aquellas acciones efectuadas sobre un producto a través de la cadena de distribución, desde su origen y envío por el productor, hasta la recepción del cliente final. Dentro de este concepto, la DUM se define como “el conjunto de actividades de distribución comercial efectuadas en el interior del área urbana de una ciudad” [1]. Es de vital importancia tener en cuenta la estructura de cada ciudad para el establecimiento de los requisitos que permitan la ejecución óptima de la tarea de distribución y reparto de los productos.

La mayoría de las empresas distribuidoras pequeñas constan de centros logísticos propios que se emplean para la recepción de grandes volúmenes de mercancía. Allí se reorganiza para su posterior distribución en el interior de la ciudad, donde se entrega al consumidor final. Este tipo de reparto es conocido como distribución capilar. Las grandes distribuidoras, sin embargo, localizan sus centros de distribución a mayor distancia de las ciudades.

En la mayoría de los casos, las dimensiones de los vehículos de DUM son muy reducidas. Sin embargo, en algunos casos, la utilización de vehículos más grandes hace que se obtenga una optimización de los costes (reducción del número de vehículos) y una reducción de la ocupación de las infraestructuras de tráfico. Sin embargo, cada tipo de servicio requiere de un tipo de vehículo distinto (refrigerado, congelado, paquetes, etc.) y no es recomendable generalizar sobre qué vehículo es el más adecuado para el reparto en el área urbana.

9.2. Proceso de DUM. Caracterización

- Consta de recorridos relativamente cortos, con velocidades medias muy bajas (zona urbana, tipo de mercancía, realización de paradas...)
- En el proceso se utiliza poco tiempo de conducción efectiva. La jornada del conductor se divide en tiempo de conducción y tiempo de entrega de la mercancía (con las labores añadidas que este proceso conlleva). En este tipo de transporte, como ya se ha explicado anteriormente, el tiempo de conducción es considerablemente inferior que en el caso de transporte de larga distancia.
- Se realizan elevados tiempos de parada de los vehículos, en el cual se realizan numerosas tareas. El tiempo en el que el vehículo se encuentra parado se considera tiempo de trabajo del conductor, según el Reglamento de Tiempos de Conducción y Descanso. Es por lo que, cualquier coste que se produzca mientras el vehículo no está en movimiento se debe tener en cuenta como un coste de la DUM.
- La configuración logística del espacio tiene gran importancia debido a su gran limitación. En las zonas céntricas no es posible el uso de la mayoría de los vehículos de reparto habituales y es necesaria la búsqueda de otras alternativas que permitan realizar el servicio de forma adecuada, como furgonetas.
- Es de gran importancia tener en cuenta la infraestructura del tráfico. Existe una gran demanda de transporte (tanto de pasajeros como de mercancías), sin embargo, la oferta de infraestructura de tráfico de la zona de las áreas metropolitanas de las grandes ciudades es limitada. Esto puede desencadenar en atascos, que repercuten en el proceso de transporte. La creación y el desarrollo de infraestructura en estas áreas es muy complicada debido al uso intensivo del suelo, junto con el desembolso económico que supone.
- Los aspectos medioambientales son claves en el desarrollo de la DUM. Cada vez es más necesario ser respetuoso con el medioambiente sobre todo en el centro de las áreas metropolitanas, donde se concentra una elevada densidad de población, junto con la contaminación acústica y atmosférica que, como consecuencia, se produce en el entorno. Es por lo que, en muchos casos, se restringe el acceso de tráfico al centro de la ciudad en determinados periodos en función de los índices de contaminación.
- Las ciudades suelen tener regulaciones gubernamentales específicas en cuanto a la distribución de mercancías, como restricciones en horarios de carga y descarga, zonas restringidas y limitaciones de tamaño y peso de los vehículos. Estas regulaciones deben de cumplirse por parte de los transportistas y las empresas logísticas para evitar multas y sanciones. [1]

Según la reunión del 5 de abril de 2022 a iniciativa del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA), el Consejo de Ministros aprobó modificaciones de la normativa reguladora del transporte terrestre, mediante el impulso a la distribución de última milla con vehículos eléctricos. El gobierno quiso incentivar el uso de vehículos sostenibles mediante la corrección de limitaciones en el transporte mediante este tipo de vehículos, a los que se les exigía unos requisitos correspondientes a vehículos de mayor tamaño (debido al peso de las baterías) para poder transportar determinadas cantidades de carga, mermando el uso de estos para la distribución de última milla. Mediante esta modificación se permitió a los vehículos dedicados a esta finalidad y que utilicen energía eléctrica como fuente, que no requieran autorización de transporte público de mercancías,

aunque superen las 2 toneladas (Masa Máxima Autorizada, MMA), exigida a un vehículo convencional, permitiéndoles alcanzar las 2,5 toneladas de máximo. De este modo se cubre el sobrepeso que suponen las baterías, permitiéndoles alcanzar la misma carga útil que un vehículo convencional, sin necesidad de solicitar autorización de vehículos de mayores dimensiones. El objetivo principal de esta medida es el de reducir la emisión de gases contaminantes y mejorar la calidad del aire de las ciudades. Del mismo modo, permite a las empresas reducir costes, mejorar su imagen y aumentar su competitividad. [32]

La ruta mediante la cual el MITMA pretende actuar en materia de transportes y movilidad en los próximos 10 años es la Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030, aprobada por el Consejo de Ministros el 10 de diciembre de 2021. Siguiendo este camino, existen numerosos programas impulsados por el gobierno que incentivan la movilidad eléctrica. Uno de ellos es el MOVES III, también aprobado por el Consejo de Ministros, a propuesta del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico mediante el Real Decreto 266/2021 (13 de abril de 2021). Este programa incentiva la compra de vehículos eléctricos y la instalación de infraestructuras de recarga de estos y beneficia a los que lo cumplan mediante subvenciones. [33][34]

9.3. Clasificación y principales actividades de la DUM

El transporte de última milla es un proceso muy importante para el desarrollo de las ciudades. Esto implica que sea imprescindible conocer los distintos tipos de movimientos que se pueden producir en esta distribución. El tipo de actividad variará en función del receptor de la mercancía en características como el tamaño, tipo de producto, peligrosidad, etc. Estos aspectos son de gran importancia para la selección del tipo de vehículo de transporte, variando en gran medida en función del producto a distribuir. [35]

En primer lugar, se puede distinguir entre logística de distribución y de reparto, en función del destino de la mercancía.

- La **logística de distribución** se entiende como el proceso de abastecimiento de grandes y medianas superficies comerciales. Suele representar grandes cantidades de mercancía con frecuencias diarias o de varias veces a la semana. Dentro de la distribución urbana, destaca la gran distribución comercial, con pocas entregas y grandes volúmenes de mercancía.
- La **logística de reparto** se centra en el proceso de abastecimiento de pequeños y medianos establecimientos de cantidades habitualmente pequeñas de mercancías y con frecuencia de entregas de una o varias veces al día (en función del sector). Este tipo de reparto genera gran impacto en tráfico rodado y peatonal, ya que requiere una gran utilización de las zonas de carga y descarga, entre otras zonas. Tiene gran amplitud de actuación ya que no solo se centra en los núcleos urbanos, sino que también en las poblaciones periféricas que dependen de esta, con un gran número de empresas involucradas (suelen ser empresas pequeñas con vehículos de pequeñas dimensiones).

La clasificación de las actividades económicas es muy importante para el diseño de soluciones dentro de la DUM. Es de vital importancia conocer cómo es la distribución de un determinado tejido urbano, así como su tipología de carga y descarga. Muchos de los

impactos generados por la DUM son consecuencia de los condicionantes del entramado interurbano del lugar en el que se desarrolla. Estos impactos se intensifican en zonas de cascos antiguos, donde la infraestructura no está diseñada para el tipo de vehículos de reparto necesarios, tanto por peso como por dimensiones. En Zaragoza, la incorporación del tranvía también ha sido un aspecto importante a la hora de planificar los hábitos de reparto, que han cambiado desde la llegada de este, condicionados por el trazado, frecuencia de paso y las prohibiciones de circulación.

- **Suministro a tiendas y establecimientos.** Distribución de productos de abastecimiento de comercios e industrias. Este tipo de DUM opera con mercancías de volumen variado (de pequeños a grandes volúmenes), dependiendo del volumen a tratar, el vehículo utilizado será distinto.
- **HORECA.** Se encargan de agrupar en un mismo grupo la distribución de la hostelería (hoteles, restaurantes y cafeterías). Es muy importante organizar adecuadamente los repartos para este tipo de DUM, sobre todo cuando los clientes se encuentran localizados en el centro o el casco histórico de las ciudades. Son zonas muy concurridas a lo largo del día y en función de cuando se realicen las entregas pueden generarse diversas problemáticas.
- **Mercancías especiales.** Distribución de materiales de obras urbanas y edificaciones. Suelen ser materiales pesados y ocupan gran parte de la vía.
- **Productos de alimentación.** Distribución de productos a supermercados o autoservicios. Se suelen abastecer una o pocas veces al día por el tamaño reducido de sus almacenes.
- **Grandes superficies comerciales.** Zonas en las que se realiza la logística de distribución. Tienen numerosas zonas de carga y descarga, zonas de aparcamiento y se localizan cerca de los nodos de accesibilidad.
- **Suministro a viviendas.** Entregas a domicilio. Este tipo de distribución urbana cada vez está más extendida debido a la evolución tecnológica de las personas a través de internet. Este tipo de distribución conlleva dificultades de estacionamiento en función de la localización de la entrega. [1]

9.4. Problemática de la DUM. Desarrollo de los principales problemas

9.4.1. Calles y carreteras estrechas

En función del tipo de vehículo de reparto, circular y estacionar en este tipo de vías es de gran dificultad. Suele ser el caso de vehículos de medianas y grandes dimensiones, cuya circulación puede estar limitada, en función de la zona, por las ordenanzas municipales. Pese a este hecho, en muchas ocasiones circulan por la ciudad por necesidad mediante la solicitud de un permiso especial [1]. En este tipo de calles con espacio limitado se limita la convivencia simultánea de vehículos que circulan y los que realizan la distribución de las mercancías. El claro ejemplo es la zona céntrica de las ciudades, donde existe una gran demanda de productos y las calles, en muchos casos, son muy estrechas y, en ocasiones, antiguas, como ocurre en el caso de Zaragoza. De este modo, se dificulta la entrega y distribución de las mercancías.

Este problema es muy grave en ciudades como Barcelona, que está formada por calles muy estrechas y no hay un gran número de avenidas [10]. En esta ciudad, las furgonetas y los camiones representan un 23% del tráfico total. Este hecho tiene como consecuencia que la DUM suponga un 31% de las partículas PM10 y un 34% de NOx de las emisiones detectadas en Barcelona, lo que hace que además de ser un problema de operativa, también conlleve un problema medioambiental grave. [36]

Además, el tránsito de vehículos de gran tamaño por calles estrechas puede suponer daños a la infraestructura que puede generar costes adicionales de reparación y mantenimiento. Pueden ser también una amenaza para la seguridad peatonal y ciclista, ya que los vehículos de reparto pueden reducir considerablemente el espacio.

9.4.2. Congestión de las vías principales

Este problema tiene como consecuencia que la distribución urbana de mercancías se realice de forma más lenta y cara, produciendo además mayor desgaste de las infraestructuras viarias de las ciudades. Todo ello genera un mayor consumo energético e impacto medioambiental. [1]

Para evitar o, al menos, reducir este problema, es de gran importancia para la DUM la planificación de las rutas de los vehículos de la forma más eficiente posible, así como el uso de vehículos menos contaminantes y más eficientes, la consolidación de cargas y la correcta coordinación entre los principales agentes implicados en la cadena de suministro. Además, se pueden promover distintas políticas públicas en busca de la movilidad urbana sostenible para tratar de reducir el tráfico de las ciudades.

9.4.3. Regulaciones especiales de tráfico

Regulaciones por las que se limita el acceso de ciertos tipos de vehículos, por motivos determinados (peso, dimensiones, tipo de mercancías, etc.) a ciertas zonas de la ciudad. Esto hace que el coste del reparto sea mayor y hace que haya que realizar un mayor número de entregas, para satisfacer la demanda de los clientes, utilizando vehículos de menor tamaño. [1]

Estas normas se llevan a cabo mediante las autoridades municipales, estatales o federales. Pueden incluir restricciones de horarios, limitaciones de peso o dimensiones, restricciones de acceso a determinadas áreas, y otros factores como las emisiones. El impacto de estas regulaciones varía dependiendo de la ciudad en la que se encuentren y el tipo de logística de la cadena de suministro.

En muchos casos, como se ha comentado, estas regulaciones pueden afectar a la planificación y ejecución de rutas de distribución, convirtiéndolas en más complejas. Además, puede requerir acciones como la actualización o reemplazo de los vehículos de carga para poder cumplir los requisitos. Esto puede suponer un aumento en los costes de adquisición y operación de la flota logística. En caso de incumplimiento de las regulaciones, las empresas pueden enfrentarse a multas que suponen costes adicionales.

Pese a que en muchos casos la aplicación de regulaciones especiales de tráfico tiene como objetivo la reducción de congestión, mejora de la calidad del aire o fomento de la

sostenibilidad, en muchas situaciones puede tener implicaciones negativas en la huella ambiental. Un ejemplo es la restricción de acceso a determinadas áreas, que desencadena la utilización de rutas más largas con mayores emisiones de gases de efecto invernadero.

9.4.4. Confluencia de vehículos con peatones, usuarios de la vía y otros servicios

La distribución urbana de mercancías, como cuyo nombre indica, se realiza en el interior del área urbana. Esto implica que los trabajadores encargados de realizar los servicios de DUM tienen que compartir el espacio con otros usuarios, ya sea peatones, otros vehículos que circulan por la vía u otros servicios realizados en el área urbana (por ejemplo, otras empresas de distribución urbana que operan en el mismo horario). Es imprescindible tener en cuenta su presencia a la hora de realizar las distintas planificaciones de rutas, conociendo los horarios con mayor congestión, así como las vías más problemáticas. [1]

Los vehículos de carga suelen ser grandes y pesados, esto hace que el riesgo de accidentes por colisión con peatones, ciclistas y otros vehículos sea mayor [10]. Además, factores como la congestión del tráfico o la dificultad de acceso a determinadas zonas debido a la confluencia con otros usuarios puede tener influencia negativa sobre la eficiencia operativa de la distribución urbana de mercancías. Todo esto deriva, como en la mayoría de los problemas provenientes de la DUM, en impacto medioambiental (mayores niveles de ruido, contaminación del aire u ocupación del espacio público).

Minimizar los impactos negativos y mantener relaciones positivas con los habitantes y negocios de las ciudades es un objetivo muy importante para las empresas de distribución [10]. Por ello, han de hacer un gran esfuerzo en cuanto a optimización de rutas, utilización de vehículos más limpios y eficientes, y coordinación entre los distintos agentes de la cadena de suministro. [37]

9.4.5. Falta de homogeneización normativa entre ciudades

La normativa no es la misma para todas las ciudades. Las normativas de cada ciudad dependen de diversos factores, como la planificación urbana, la densidad de población, la infraestructura vial o factores de sostenibilidad, entre otros [38]. Entre distintas ciudades, la diferencia entre estos factores puede variar la normativa de movilidad y distribución urbana, como restricciones de tráfico en algunas áreas de determinadas ciudades para reducir la congestión y mejorar la calidad del aire u otras acciones con que tienen la finalidad de promover políticas de movilidad sostenible. En muchos casos, además, la normativa de movilidad y distribución urbana tiene una gran influencia por factores políticos, económicos y sociales, pudiendo cambiar según la ciudad. Debido a estos factores, en muchos casos, no vale para una ciudad lo mismo que para otra, tanto en horarios como en tamaños y pesos. Estos cambios entre restricciones dificultan la planificación e impiden llevar a cabo la DUM de manera eficiente y pueden generar costes adicionales o retrasos en las entregas. Este hecho puede suponer un gran problema para las empresas que operan en varias ciudades con normativas distintas, siendo necesaria una adaptación operativa en cada caso, que en muchos casos es compleja.

Todos estos motivos generan en muchas ocasiones una competencia desigual entre las empresas. Es el caso, por ejemplo, de empresas que operan en varias ciudades con restricciones de horarios de vehículos de carga muy distintas (unas más restrictivas y otras más permisivas), forzando a modificar la operativa en función del área urbana. Estos factores pueden generar variaciones en el mercado y desigualdad de condiciones entre distintas empresas. Para las empresas de DUM, cumplir con las regulaciones locales puede ser un gran desafío, en concreto si existen grandes diferencias entre las ciudades en las que operan. Su cumplimiento estricto genera una gestión operativa más complicada, unida a un aumento de costes. [39]

Es importante tener en cuenta esta problemática para promover la búsqueda de una legislación heterogénea en el ámbito de la distribución urbana de mercancías entre las distintas zonas urbanas que facilite una distribución de última milla eficiente, sostenible y equitativa.

9.4.6. Incompatibilidad de horarios

En determinadas zonas de las ciudades se producen constantemente problemas para cuadrar los horarios. En ocasiones, los horarios de apertura de los comercios no son compatibles con las horas establecidas para el acceso de vehículos de mercancías a una zona determinada de la ciudad. Esto sucede, sobre todo, en zonas céntricas como el Casco Histórico de las ciudades. Es un problema ya que hace imposible la gestión eficaz de la DUM. [1]

Este problema puede generar problemas de congestión o emisiones. Además, en muchos casos, las empresas han de pagar costes adicionales para cumplir los horarios de entrega acordados con los clientes. [40] [41] Para tratar de restar impacto a este tipo de sucesos, es necesaria una correcta optimización de la planificación de rutas, además del uso de centros de consolidación [15]. Un mal cumplimiento de los horarios de las regulaciones puede suponer gastos adicionales para las empresas transportistas en forma de sanciones o multas.

9.5. Iniciativas para la mejora en DUM

La distribución urbana de mercancías es imprescindible para el funcionamiento correcto de las áreas urbanas, tanto para el mantenimiento de la actividad comercial y productiva como para el abastecimiento de la población. Es por lo que, un sistema de transporte eficiente es imprescindible para desarrollo económico de las ciudades, tanto por los ingresos que genera, como por el empleo que depende de este ámbito.

Como se ha podido observar en el apartado anterior, la distribución urbana de mercancías lleva consigo impactos negativos en cuanto a la calidad de vida urbana. Es por ello de vital importancia poner hincapié en la realización de iniciativas que permitan obtener mejoras en este tipo de distribución en busca de una mayor eficiencia, sostenibilidad y calidad en las zonas urbanas. Por este motivo, es necesario llevar a cabo estrategias con el objetivo de mejorar este tipo de transporte y disminuir su impacto negativo.

La creciente demanda de movilidad existente en la actualidad hace que exista un constante interés en cuanto a investigación de sistemas de transporte con mayor eficacia, mediante el uso de tecnologías como dispositivos de control, técnicas para optimizar la red existente y los sistemas de información, y diseño de distintas metodologías que permitan optimizar este tipo de distribución desde un punto de vista sistemático.

9.5.1. Utilización de vehículos no contaminantes o de bajas emisiones

En cuanto a la ley, desde el 1 de enero de 2023 todos los municipios con más de 50.000 habitantes (y para los de más de 20.000 con calidad del aire dañina para la salud) y los territorios insulares tienen que incluir zonas de bajas emisiones (ZBE) en sus centros urbanos, a partir de la Ley de Cambio Climático y Transición Energética. [14]

Se entiende por Zona de Bajas Emisiones, según el artículo 14.3 de esta ley, “ámbito delimitado por una Administración pública, en ejercicio de sus competencias, dentro de su territorio, de carácter continuo, y en el que se aplican restricciones de acceso, circulación y estacionamiento de vehículos para mejorar la calidad del aire y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, conforme a la clasificación de los vehículos por su nivel de emisiones de acuerdo con lo establecido en el Reglamento General de Vehículos vigente”. [14]

Además, en materia de sostenibilidad, se contribuye a la reducción de contaminación del aire, ya que este tipo de vehículos contiene menos contaminantes como óxidos de nitrógeno o partículas finas. Esto es de gran importancia ya que este tipo de contaminación puede tener efectos negativos en la salud humana y en el medioambiente. Este tipo de vehículos también suponen un ahorro en cuanto a costes de operación, ya que son menores que los vehículos con altas emisiones (utilizan menos combustible y tienen menos costes de mantenimiento). Además, pueden suponer fuente de incentivos fiscales o descuentos en peajes, que hace que sea todavía más asequible.

Puede ser además un punto a favor en cuanto a imagen de marca de las empresas ya que aportan sostenibilidad y responsabilidad social, que en muchos casos son muy bien valoradas por los clientes.

9.5.2. Horarios de entrega escalonados

Esta estrategia permite obtener una mejora de eficiencia operativa y una reducción de congestión de tráfico en las ciudades, ya que tiene como objetivo evitar que los vehículos de reparto lleguen al mismo lugar en el mismo periodo de tiempo. [15]

Esto permite a los vehículos de reparto evitar tiempos de espera innecesarios a la hora de realizar las entregas, que permite una optimización de tiempo tanto para el conductor como para el receptor de la mercancía. Esta reducción de los tiempos de espera conlleva un aumento la eficiencia general de la operación, con horarios de entrega puntuales, mejorando la calidad del servicio y aumentando la satisfacción del cliente.

Esta práctica supone además una importante reducción de emisiones y ruido derivadas de la presencia de varios vehículos al mismo tiempo realizando una descarga de mercancía en el mismo lugar. Este problema puede tener grandes consecuencias de congestión en

zonas céntricas de las ciudades o en el casco urbano, ya que el espacio es mucho más limitado que en otros barrios.

9.5.3. Puntos de consolidación

El uso de este tipo de zonas en distribución urbana de mercancías permite la utilización de vehículos de mayor tamaño para el transporte de la carga desde el punto de origen hasta un punto intermedio o de consolidación. En estas áreas se agrupan las mercancías de uno o varios proveedores que llegan en vehículos más grandes (cada mercancía desde su origen), y posteriormente se distribuyen a los clientes finales mediante vehículos de menor tamaño. [16]

Este proceso permite la reducción del número de vehículos en circulación (se pueden agrupar cargas de origen distinto en cada uno), lo que conlleva una reducción de las emisiones de gases contaminantes y de la congestión de tráfico. Además, el transporte de varias cargas en un mismo vehículo permite obtener una reducción de costes fijos (como costes de vehículos) y se distribuyen entre las cargas transportadas, obteniendo de este modo una reducción del coste por unidad transportada.

El uso de vehículos más pequeños en la entrega final aporta una mayor eficiencia, posibilitando el acceso del vehículo a lugares más estrechos por los que vehículos de mayor envergadura tendrían mayor dificultad. Permiten, además, una mayor flexibilidad en la programación de las entregas combinando varias cargas de distinto origen en un solo vehículo.

Al reducir el tamaño de los vehículos se obtiene una mayor seguridad, ya que se reducen diversos riesgos de daños a la propiedad y lesiones de peatones, al ser más maniobrables y menos propensos a causar daños.

9.5.4. Coordinación entre los distintos agentes de DUM

La distribución urbana de mercancías es un proceso de gran complejidad que involucra múltiples actores como fabricantes, proveedores, transportistas y consumidores finales. La falta de coordinación entre estos agentes puede llevar consigo ineficiencias en el proceso, lo que conlleva un aumento de costes y la generación de problemas ambientales y de congestión urbana. Mejorar la coordinación entre ellos puede suponer una mayor planificación y eficiencia en todo el proceso. [17]

Todo ello puede llevar consigo mejoras económicas. Un ejemplo sería el caso de que los minoristas compartan información de sus necesidades de inventario con los proveedores. De este modo los proveedores pueden ajustar su producción para satisfacer estas necesidades, reduciendo desperdicios y mejorando la eficiencia del proceso.

Además, se pueden obtener otras mejoras como la reducción de emisiones, por ejemplo, coordinando rutas de entrega por parte de los transportistas para evitar duplicar rutas, reduciendo el kilometraje y con ello las emisiones. También produce beneficios en cuanto a la calidad de vida urbana, disminuyendo el impacto de las horas pico de tráfico y reduciendo congestión urbana. [42]

9.5.5. Definición de indicadores para optimización de variables

Una correcta definición de indicadores en el proceso de distribución urbana puede permitir una gran optimización y mejoras, desde económicas hasta de optimización de tiempo. [17]

Los indicadores son medidas cuantitativas que se utilizan para la evaluación del desempeño de un proceso y la determinación del cumplimiento de los objetivos establecidos. La distribución urbana de mercancías, los indicadores pueden ser utilizados para la medición de la eficiencia, la efectividad y la sostenibilidad del proceso de distribución, lo cual puede suponer un soporte para la toma de decisiones por parte de las empresas u organizaciones. Para ello, estos indicadores están basados en datos objetivos y cuantitativos que permiten la identificación de áreas de mejora y la determinación de medidas que se pueden implementar para obtener una mejora en el desempeño del proceso.

9.6. Huella de carbono

El cambio climático se ha convertido en uno de los retos principales que enfrenta la humanidad. Esto es debido a las graves implicaciones que conlleva tanto para el ser humano como para la naturaleza [25]. El aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre, como el CO₂, altera de manera significativa el equilibrio del clima del planeta. Existen evidencias que relacionan directamente el aumento de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero con el incremento de la temperatura planetaria global. Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPPC) existe una probabilidad del 95% de que más de la mitad del incremento de la temperatura entre los años 1951 y 2010 se deban a la acción humana. Esto genera grandes problemas como la elevación del nivel del mar, el aumento de frecuencia y gravedad de fenómenos climáticos o la pérdida de biodiversidad, entre otros.

Es de vital importancia luchar contra este problema para proteger el planeta, sus ecosistemas y la calidad de vida de los seres vivos. Es por este motivo que han sido desarrolladas e implementadas distintas iniciativas de carácter internacional, regional y local con el objetivo de limitar las concentraciones de gases generadores de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre. En el caso de un determinado producto, los GEI se emiten y eliminan durante el ciclo de vida de este, desde la adquisición de materia prima hasta el término de vida, pasando por los procesos de producción y utilización de ese producto [25].

El sector del transporte juega un papel muy importante en la lucha contra el cambio climático, ya que es la causa de elevadas emisiones de CO₂ generadas por el consumo de combustibles fósiles, así como las fugas de refrigerantes para el transporte de cargas refrigeradas, en las que se emiten hidrofluorocarburos (HFC), que afectan de manera significativa al calentamiento global. Los servicios de transporte suponen aproximadamente un 24% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la Unión Europea, siendo de este modo el segundo sector que más emisiones genera, por detrás del

sector energético. Dentro de este porcentaje, el transporte por carretera supone alrededor de un 17% de las emisiones (datos del 2017) [26].

Si comparamos la evolución del sector transporte desde el año 1990 con la de otros sectores, llegamos a la conclusión de que es el único que ha aumentado las emisiones de GEI con respecto a ese año.

Se puede observar como la tendencia de la década entre 2010 – 2020, en general ha experimentado un aumento progresivo en cuanto a las emisiones de GEI, exceptuando las fechas más cercanas a 2020 (parte final del gráfico), donde entraron en juego las consecuencias del Covid-19. Según el gráfico de emisiones globales de CO₂ generado por Addingplus, en el siguiente gráfico (*Figura 27*) se puede observar la situación actual de porcentaje de emisiones de cada uno de los principales sectores.

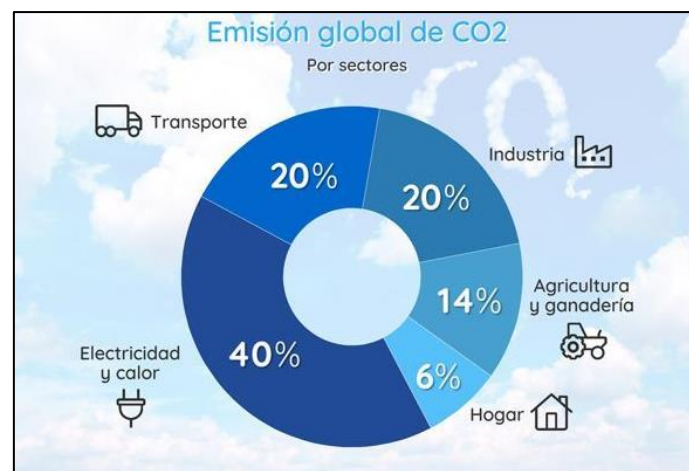


Figura 27. Porcentaje de emisión de CO₂e por sectores [43]

Uno de los métodos utilizados para combatir el cambio climático es la reducción de la huella de carbono. Esta huella registra la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero que se han producido de manera directa o indirecta asociados a organizaciones, eventos, actividades o el ciclo de vida de un producto, con el objetivo de determinar su contribución al cambio climático. Estas huellas se miden en dióxido de carbono equivalente o CO₂e [43].

10. ANEXO II: Definición de KPIs

10.1. KPIs de logística

10.1.1. Número de paradas planificadas por vehículo (NPP)

Tabla 12. Descripción de indicador. Número de paradas planificadas por vehículo (NPP)

Nombre de KPI	Número de paradas planificadas por vehículo
Descripción	Paradas realizadas por el vehículo durante la ruta en los lugares de entrega de mercancía
Identificación	NPP
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías en los lugares establecidos
Variables	-
Fórmula	-
Unidad de medida	Número de paradas (adimensional)
Rango	0 paradas planificadas – Número máximo de paradas planificadas
Tendencia	Positiva
Timing	Tiempo real
Audiencia	Mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Para la obtención de este indicador mediante los datos de la Empresa X, se ha extraído mediante la aplicación de gestión de rutas, para un periodo de tiempo determinado el seguimiento de actividades de cada vehículo, donde se muestra en qué momento el vehículo se ha encontrado en ruta (movimiento) o en parada. Se ha establecido que todas las paradas que se encuentran entre 5 y 25 minutos realizadas por el vehículo durante la ruta (según la información extraída) corresponde con una parada planificada. Por lo tanto, los límites inferior y superior de este indicador son 5 y 25 minutos respectivamente.

Se ha realizado, para la duración de la ruta diaria de cada uno de los vehículos, una comparación de las paradas planificadas que ha realizado cada uno. Esta comparación se muestra con un gráfico de barras, donde se comparan las paradas realizadas por cada uno de los vehículos para el día 19 de abril de 2023 (como ejemplo de ruta diaria).

10.1.2. Paquetes pendientes de entrega (PP)

La medición de este indicador permite conocer el número exacto de paquetes que no se han entregado todavía al destino establecido por la ruta.

Este indicador permite realizar medidas de la eficiencia operativa del proceso de entrega mediante la información actualizada de los paquetes pendientes. El objetivo para las empresas de este indicador es que, al final de la ruta realizada por el vehículo, el número de paquetes pendientes de entrega sea nulo (situación ideal). Esto indicará que todos los paquetes han sido entregados a tiempo, sin entregas fallidas, ni paquetes dañados.

Además, es una herramienta clave para la planificación y programación de las operaciones de DUM, a la hora de establecer horarios de entrega realistas, asignar recursos de forma adecuada y optimizar al máximo las rutas. Este indicador puede ser también un apoyo importante en cuanto a gestión de inventario, para satisfacer la demanda de forma óptima.

Tabla 13. Descripción de indicador. Paquetes pendientes de entrega (PP)

Nombre de KPI	Paquetes pendientes de entrega
Descripción	Número de paquetes que todavía no se han entregado a su destino
Identificación	PP
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- PT (paquetes totales): Número de paquetes totales a entregar - PE (paquetes entregados): Número de paquetes que ya han sido entregados a su destino - PEF (paquetes entregados fallidamente): Número de paquetes cuya entrega ha sido fallida (rechazados, fuera de fecha, dañados...)
Fórmula	$PP = PT - PE - PEF$
Unidad de medida	Número de paquetes (adimensional)
Rango	0 – Número máximo de paquetes pendientes de entrega
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores y supervisores
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: No se dispone de datos. Falta por conocer los paquetes totales (PT), los paquetes entregados (PE) y los paquetes entregados fallidamente (PEF) en tiempo real. Este indicador se utilizaría para realizar un seguimiento diario de los paquetes.

10.1.3. Entregas pendientes de realizar (EPR)

La medida de este indicador tiene los mismos objetivos e importancia que en el caso anterior. Cabe destacar que cada entrega contiene un número determinado de paquetes y que el número de entregas se corresponde, en la mayoría de los casos, con el número de paradas planificadas (en las que se efectúan cada una de las entregas).

Tabla 14. Descripción de indicador. Entregas pendientes (EP)

Nombre de KPI	Entregas pendientes de realizar
Descripción	Número de entregas que todavía no han sido recibidas por el cliente
Identificación	EPR
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- NE (número de entregas totales): número de entregas totales a realizar - ER (entregas realizadas): número de entregas que ya han sido realizadas - ERF (entregas realizadas fallidamente): número de paquetes cuya entrega ha sido fallida (rechazados, fuera de fecha, dañados...)
Fórmula	$EPE = NE - ER - ERF$
Unidad de medida	Número de entregas (adimensional)
Rango	0 – Número máximo de entregas pendientes
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores y supervisores
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: No se dispone de datos. Falta conocer el número de entregas totales (ET), el número de entregas realizadas (ER) y el número de entregas realizadas fallidamente (ERF) en tiempo real. Este indicador se utilizaría para realizar un seguimiento diario de las entregas.

10.1.4. Índice de entregas realizadas (IER)

Este índice tiene el mismo objetivo que el caso del EPR, medir las entregas que faltan por realizar. Sin embargo, en este caso, el cálculo de las entregas pendientes de realizar se calcula mediante un porcentaje con respecto al número de entregas totales.

Tabla 15. Descripción de indicador. Índice de entregas realizadas (IER)

Nombre de KPI	Índice de entregas realizadas
Descripción	Porcentaje de entregas que se han realizado correctamente en función de las entregas a realizar al inicio de la ruta
Identificación	IER
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	NE (número de entregas totales a realizar) ER (entregas realizadas)
Fórmula	$IER = ER / NE * 100$
Unidad de medida	Porcentaje
Rango	0 – 100 %
Tendencia	Positiva
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: No se dispone de datos. Falta conocer el número de entregas totales (ET) y el número de entregas realizadas (ER) en tiempo real. Este indicador se utilizaría para realizar un seguimiento diario de las entregas.

10.1.5. Índice de paquetes entregados (IPE)

En este caso, se utiliza la misma metodología que en el indicador IER, pero teniendo en cuenta las cantidades de paquetes, en vez de las entregas. El objetivo principal de los indicadores PP, EPR, IER e IPE es llevar un seguimiento de la cantidad de mercancía que todavía no se ha entregado.

Tabla 16. Descripción de indicador. Índice de paquetes entregados (IPE)

Nombre de KPI	Índice de paquetes entregados
Descripción	Porcentaje de paquetes que se han entregado correctamente en función de los paquetes totales a entregar al inicio de la ruta
Identificación	IPE
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	PT (entregas totales a realizar) PE (entregas realizadas)
Fórmula	$IER = PE / PT * 100$
Unidad de medida	Porcentaje
Rango	0 – 100 %
Tendencia	Positiva
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: No se dispone de datos. Falta por conocer los paquetes totales (PT) y los paquetes entregados (PE) en tiempo real. Este indicador se utilizaría para realizar un seguimiento diario de los paquetes.

10.1.6. Tiempo medio de paradas planificadas (tPPM)

Para este tiempo se tienen en cuenta todas las paradas empleadas para la realización de las distintas entregas de la ruta. Puede ser útil para la medición de la eficiencia operativa en términos de duración de paradas de cada uno de los vehículos utilizados para el proceso de distribución. Cuanto más corto sea el tPPM, se obtendrá una mayor productividad y un menor tiempo de inactividad.

Este indicador sirve de apoyo a la hora de diseñar y optimizar las rutas a realizar por cada vehículo. Permiten identificar qué ubicaciones consumen un mayor tiempo y cuáles por el contrario utilizan poco tiempo para la realización de las entregas. Esta optimización es clave para el cumplimiento de horarios establecidos para cada uno de los destinos.

Es conveniente medir el tiempo real de cada una de las paradas planificadas (tPP) para poder tenerlo en cuenta a la hora de optimizar las rutas. Almacenando estos datos se puede obtener información sobre el tiempo medio de parada en función del destino.

Tabla 17. Descripción de indicador. Tiempo medio de paradas planificadas (tPPM)

Nombre de KPI	Tiempo medio de paradas planificadas
Descripción	Tiempo medio que tarda un vehículo, varios vehículos o una flota en realizar las paradas planificadas
Identificación	tPPM
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- tPP (tiempo de parada planificada): tiempo que tarda en realizarse una parada planificada [min] - NPP (número de paradas planificadas): número total de paradas planificadas realizadas durante el tiempo de estudio
Fórmula	$tPPM = \sum tPP / NPP$
Unidad de medida	Minutos
Rango	Tiempo mínimo de parada planificada – Tiempo máximo de parada planificada
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Se puede calcular mediante la media de las paradas panificadas (cuyo tiempo se encuentra entre 5 y 25 minutos) de cada vehículo. Se necesita el tiempo de todas las paradas planificadas (tPP) y el número de paradas planificadas (NPP).

10.1.7. Tiempo medio de movimientos de ruta (tMM)

Mediante este indicador de tiempos se puede calcular la eficiencia de movimientos de ruta de los vehículos, es decir, el tiempo medio que le cuesta moverse a los vehículos entre paradas planificadas. Al igual que en el caso anterior, para obtener mayor eficiencia es conveniente que este tiempo sea lo más bajo posible (siempre cumpliendo la normativa de tráfico).

Al igual que el tPPM, este tiempo es de gran ayuda para el diseño y optimización de las rutas de tal modo que se puedan cumplir los tiempos de entrega establecidos.

También es interesante el análisis de todos los tiempos de movimiento (tM) utilizados para calcular este indicador. Almacenar estos tiempos implica tener información sobre el tiempo real que conlleva cada movimiento entre las distintas paradas.

Tabla 18. Descripción de indicador. Tiempo medio de movimientos de ruta (tMM)

Nombre de KPI	Tiempo medio de movimientos de ruta
Descripción	Tiempo medio en el que un vehículo se encuentra en movimiento (ruta) entre las distintas paradas durante el proceso de distribución
Identificación	tMM
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- tM (tiempo de movimiento en ruta): tiempo que tarda el vehículo en realizar un movimiento de ruta [min] - NR (número de movimientos en ruta)
Fórmula	$tMM = \sum tM / NR$
Unidad de medida	Minutos
Rango	Tiempo mínimo de movimiento en ruta – Tiempo máximo de movimiento en ruta
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Se tendrán en cuenta los tiempos de ruta mayores de 5 minutos como límite inferior de tiempo y 40 minutos como límite superior. Se necesita conocer los tiempos de movimiento en ruta (tM) y el número de movimientos en ruta (NR). Se ha establecido por la empresa como límite inferior de tiempo de movimiento el de 5 minutos ya que la aplicación, en muchos casos, almacena pequeños movimientos producidos entre semáforos que pueden distorsionar la medida del tiempo medio de los distintos movimientos de la ruta. El tiempo superior se ha establecido por la empresa como 40 minutos ya que entre paradas dentro de la ciudad sería muy complicado superar ese tiempo (las rutas se optimizan para que las paradas se encuentren cerca).

10.1.8. Duración real de movimientos de la ruta (tRMR)

Mediante este indicador se mide el tiempo total que tarda cada vehículo en realizar todos los movimientos de ruta durante el día. Permite conocer qué parte del tiempo total de la ruta ha sido dedicada a la conducción.

Tabla 19. Descripción de indicador. Duración real de la ruta (tRR)

Nombre de KPI	Duración real de movimientos de la ruta
Descripción	Tiempo total que tarda el vehículo en realizar la ruta
Identificación	tRMR
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- tPP (tiempo de una parada planificada): tiempo que tarda el vehículo en realizar una parada planificada [min] - tPNP (tiempo de una parada no planificada): tiempo que tarda el vehículo en realizar una parada no planificada [min] - tT (tiempo total de la ruta): suma de todos los movimientos y paradas que realiza el vehículo [min] - tM (tiempo de movimiento en ruta): tiempo que tarda el vehículo en realizar un movimiento de ruta [min]
Fórmula	$tRMR = tT - \sum tPP - \sum tPNP = \sum tM$
Unidad de medida	Minutos
Rango	0 – Tiempo máximo de duración de la ruta
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Se tienen datos. Se necesita conocer los tiempos de todas las paradas planificadas (tPP), de todas las paradas no planificadas (tPNP) y del tiempo total de la ruta (tT).

10.1.9. Tiempo de ruta medio por entrega (tRME)

Este caso es otro indicador que se utiliza para medir la eficiencia de las entregas.

Tabla 20. Descripción de indicador. Tiempo de ruta medio por entrega (tRME)

Nombre de KPI	Tiempo de ruta medio por entrega
Descripción	Tiempo por unidad de entregas realizadas en el que el vehículo que realiza el servicio se encuentra en movimiento durante la ruta
Identificación	tRME
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- tRR (tiempo real de ruta) [min] - NE (número de entregas)
Fórmula	$tRME = tRR / NE$
Unidad de medida	Minutos
Rango	0 – Tiempo máximo de duración de la ruta por entrega
Tendencia	Positiva
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Disponibles en la memoria.

10.1.10. Tiempo de ruta medio por paquete (tRMP)

Misma utilidad que el caso anterior, pero realizando el cálculo por paquetes.

Tabla 21. Definición de indicador. Tiempo de ruta medio por paquete (tRMP)

Nombre de KPI	Tiempo de ruta medio por paquete
Descripción	Tiempo por unidad de paquetes en el que el vehículo que realiza el servicio se encuentra en movimiento durante la ruta
Identificación	tRMP
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- tRR (tiempo real de ruta) [min] - PT (número de paquetes)
Fórmula	$tRMP = tRR / PT$
Unidad de medida	Minutos
Rango	0 – Tiempo máximo de duración de la ruta por paquete
Tendencia	Positiva
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Se calcula a partir del tiempo real de la ruta (dato) y el número de paquetes

10.1.11. Tiempo de parada medio por entrega (tPME)

Indicador de eficiencia logística que permite conocer el tiempo medio que está parado el vehículo por cada una de las entregas de la ruta.

Tabla 22. Descripción de indicador. Tiempo de parada medio por entrega (tPME)

Nombre de KPI	Tiempo de parada medio por entrega
Descripción	Tiempo medio de parada planificada por unidad de entregas realizada
Identificación	tPME
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- tPP (tiempo de paradas planificadas) [min] - NE (número de entregas)
Fórmula	$tPME = \sum tPP / NE$
Unidad de medida	Minutos
Rango	0 – Tiempo máximo de parada por entrega
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Se puede calcular del mismo modo que en los casos anteriores, pero utilizando los tiempos de parada planificada (tPP) y el número de entregas (NE).

10.1.12. Tiempo de parada medio por paquete (tPMP)

Misma utilidad que el caso anterior, pero realizando el cálculo por paquetes.

Tabla 23. Descripción de indicador. Tiempo de parada medio por paquete (tPMP)

Nombre de KPI	Tiempo de parada medio por paquete
Descripción	Tiempo medio de parada planificada por unidad de paquetes entregados
Identificación	tPMP
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- tPP (tiempo de paradas planificadas) [min] - NP (número de paquetes)
Fórmula	$tPMP = \sum tPP / NP$
Unidad de medida	Minutos
Rango	0 – Tiempo máximo de parada por paquete
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Se puede calcular del mismo modo que en los casos anteriores, pero utilizando los tiempos de parada planificada (tPP) y el número de paquetes (PT)

10.1.13. Índice de actividad del vehículo (IAV)

Este indicador permite conocer la relación existente entre el tiempo en el que vehículo se encuentra en movimiento y el tiempo total de la ruta. Variará en función de factores como la duración de las paradas, la congestión de las vías o la distancia entre paradas de cada una de las rutas realizadas por los vehículos.

Tabla 24. Descripción de indicador. Índice de actividad del vehículo (IAV)

Nombre de KPI	Índice de actividad del vehículo
Descripción	Porcentaje de tiempo en el que un vehículo se encuentra en movimiento con respecto al tiempo total de la jornada (movimientos y paradas)
Identificación	IAV
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- tM (tiempo de movimiento en ruta): tiempo que tarda el vehículo en realizar un movimiento de ruta [min] - tT (tiempo total de la ruta): suma de todos los movimientos y paradas que realiza el vehículo [min]
Fórmula	$IAV = \sum tM / tT * 100$
Unidad de medida	Porcentaje (%)
Rango	0% -100%
Tendencia	Positiva
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Se puede calcular con el sumatorio de tiempos de rutas (tM) y el tiempo total de la ruta (tT).

10.1.14. Índice de inactividad del vehículo (IIV)

Su cálculo es similar al del caso anterior, pero en este caso se muestra la relación entre el tiempo que el vehículo se encuentra parado y el tiempo total de la ruta.

Tabla 25. Descripción de indicador. Índice de inactividad del vehículo (IIV)

Nombre de KPI	Índice de inactividad del vehículo
Descripción	Porcentaje de tiempo en el que un vehículo se encuentra en parada con respecto al tiempo total de la jornada (movimientos y paradas)
Identificación	IIV
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- tPP (tiempo de una parada planificada): tiempo que tarda el vehículo en realizar una parada planificada [min] - $tPNP$ (tiempo de una parada no planificada): tiempo que tarda el vehículo en realizar una parada no planificada [min] - tT (tiempo total de la ruta): suma de todos los movimientos y paradas que realiza el vehículo [min]
Fórmula	$IIV = (\sum tPP + \sum tPNP) / tT * 100$
Unidad de medida	Porcentaje (%)
Rango	0% -100%
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y managers
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Se puede calcular con el número de paradas planificadas y no planificadas y el tiempo total

10.1.15. On time in full (OTIF)

Este indicador permite tener un control sobre el cumplimiento de los plazos y de cantidades de entrega acordados con los clientes. En una distribución con horarios tan ajustados como el caso de DUM (debido a factores como congestión de tráfico), el cumplimiento de los plazos es crucial para satisfacer al cliente. Mediante este indicador se puede medir el desempeño de la empresa en este aspecto.

Del mismo modo, también mide la eficiencia de gestión de los inventarios, ya que se tiene en cuenta que la entrega, además del plazo, que la entrega lleve el contenido acordado con el cliente en cuanto a cantidad de mercancía o paquetes. El objetivo de las empresas es obtener un OTIF=1, es decir, realización de las entregas puntuales y completas.

Tabla 26. Descripción de indicador. On time in full (OTIF)

Nombre de KPI	On time in full
Descripción	Capacidad de la realización de las entregas dentro del plazo acordado y en la cantidad correcta, es decir, a tiempo y en su totalidad (se tienen que cumplir ambos requisitos). Permite la evaluación de la puntualidad e integridad de las entregas por parte de las empresas de distribución
Identificación	OTIF
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- EOK (entregas ok): entregas correctas en plazo y cantidad - ET (entregas totales)
Fórmula	$OTIF = (EOK / ET) * 100$
Unidad de medida	Porcentaje (%)
Rango	0% -100%
Tendencia	Positiva
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y managers
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Teniendo en cuenta las estimaciones realizadas por la empresa X por vehículo, entre 0 y 1 entregas son rechazadas al día, entre 0 y 1 entregas se realizan fuera de fecha al día y entre 1 y 2 entregas sufren daños en el transporte. Atendiendo a la peor situación posible según la empresa, 4 entregas al día no se realizan correctamente.

$$OTIF = (EOK / NE) * 100$$

Esto quiere decir que el OTIF diario medio de la empresa X para cada uno de sus vehículos sería de: $OTIF = ((NE-4) / NE) * 100$

10.1.16. Consumo de combustible del vehículo (CC)

Conocer el consumo del vehículo del combustible es una buena medida para tener una previsión en cuanto a gastos de combustible y optimización de paradas de repostaje. Este indicador podría ser sustituido por un sensor que mida la cantidad de combustible de los tanques en cada momento, lo cual proporcionaría una medida más exacta de los litros de combustible consumidos por el vehículo.

Tabla 27. Descripción de indicador. Consumo de combustible del vehículo (CC)

Nombre de KPI	Consumo de combustible
Descripción	Cantidad de combustible que consume el vehículo
Identificación	CC
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- CCV (consumo de combustible del vehículo) [L/100km] - d (distancia recorrida por el vehículo)
Fórmula	$CC = CCV/100 * d$
Unidad de medida	Litros de combustible
Rango	0 – Consumo máximo
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Se puede calcular con la distancia (d) y el consumo del vehículo (CCV).

10.1.17.Eficiencia de paradas del vehículo (EP)

Tabla 28. Descripción de indicador. Eficiencia de paradas del vehículo (EP)

Nombre de KPI	Eficacia de paradas
Descripción	Rendimiento en la realización de las paradas planificadas para la entrega de paquetes
Identificación	EP
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- tTPE (tiempo teórico de parada por entrega) - tRPE (tiempo real de parada por entrega)
Fórmula	$EP = (\sum tTPE / \sum tRPE) * 100$
Unidad de medida	Porcentaje
Rango	0 – 100%
Tendencia	Positiva
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Para calcularlo habría que suponer un tiempo teórico de parada por entrega que permita calcular este valor

$$EP = (tTPE / tRPE) * 100$$

Mediante los datos obtenidos por la empresa X, para el cálculo del tiempo teórico total de paradas, se ha multiplicado ese tiempo teórico de parada por el número de paradas planificadas y se ha dividido por el tiempo total de paradas planificadas. De este modo se puede obtener la eficiencia de paradas.

$$EP = (NPP * tTPE) / \sum tPP$$

Teniendo en cuenta que las paradas planificadas son aquellas que se encuentran entre 5 y 25 minutos (según los límites establecidos en este estudio), se ha definido como tiempo de parada teórica un tiempo de 10 minutos. En resumidas cuentas:

$$EP = (NPP * 10) / \sum tPP$$

10.1.18. Índice de ocupación (IO)

Tabla 29. Descripción de indicador. Índice de ocupación del vehículo (IO)

Nombre de KPI	Índice de ocupación
Descripción	Porcentaje de aprovechamiento de la capacidad de mercancía total del vehículo
Identificación	IO
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- NE (número de entregas totales) - VME (volumen medio de entregas) [m³] - CV (capacidad del vehículo) [m³]
Fórmula	$IO = (NE * VME) / CV * 100$
Unidad de medida	Porcentaje
Rango	0 – 100%
Tendencia	Positiva
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: No se tienen suficientes datos para el cálculo de este índice. Para el cálculo del número total de entregas a realizar (NE) que lleva el vehículo se ha utilizado el volumen medio de la entrega (VME) y la capacidad del vehículo (CV), por lo que, el resultado de este índice sería siempre de 1, ya que parte de sus variables se han utilizado para estimar las otras debido a la falta de datos.

10.1.19. Eficiencia de tráfico (ET)

Tabla 30. Descripción de indicador. Eficiencia de tráfico (ET)

Nombre de KPI	Eficiencia de tráfico (ET)
Descripción	Rendimiento del vehículo en la realización de desplazamientos derivados del reparto
Identificación	ET
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- tRMR (tiempo real de movimientos de la ruta) - tTMR (tiempo teórico de movimientos de la ruta)
Fórmula	$ET = tRMR / tTMR * 100$
Unidad de medida	Porcentaje
Rango	0 – 100%
Tendencia	Positiva
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Para el cálculo de esta eficiencia sería necesario obtener manualmente el tiempo teórico de cada movimiento de la ruta (tRT) mediante el uso de Google Maps para cada uno de los vehículos de la flota y posteriormente aplicar la fórmula que relaciona el tiempo real de la ruta (tRR) (dato) con la suma de todos estos movimientos teóricos.

$$ET = tRMR / tTMR * 100 = \sum tM / (\sum tMT_{googlemaps}) * 100$$

Debido al coste operativo que supone este procedimiento, suponemos $ET = 1$, es decir, que el vehículo realiza los movimientos en los tiempos establecidos por Google Maps.

Para poder calcular correctamente este indicador, sería necesario almacenar los datos teóricos de las rutas planificadas para permitir su manipulación.

10.1.20. Rendimiento del vehículo (R)

Tabla 31. Descripción de indicador. Rendimiento del vehículo (R)

Nombre de KPI	Rendimiento
Descripción	Eficiencia del vehículo teniendo en cuenta el aprovechamiento de la mercancía, la realización de paradas y la realización de movimientos de reparto. Se puede obtener como el producto de eficiencia de paradas, eficiencia de tráfico e índice de ocupación.
Identificación	R
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- ET (eficiencia de tráfico) [%] - EP (eficiencia de paradas) [%] - IO (índice de ocupación) [%]
Fórmula	$R = ET * EP * IO$
Unidad de medida	Porcentaje
Rango	0 – 100%
Tendencia	Positiva
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Según el análisis de las variables del rendimiento realizadas anteriormente, el valor de R equivaldría al valor de EP.

10.1.21. Disponibilidad del vehículo (D)

Tabla 32. Descripción de indicador. Disponibilidad del vehículo (D)

Nombre de KPI	Disponibilidad
Descripción	Porcentaje del tiempo total de turno en el que el vehículo se encuentra disponible. El tiempo no disponible del vehículo se corresponde con el tiempo no utilizado para realizar la distribución de mercancías (mantenimiento, descansos, reparaciones...). Según se ha definido en este estudio, correspondería con la suma de los tiempos de paradas no planificadas.
Identificación	D
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- tPNP (tiempo de una parada no planificada): tiempo que tarda el vehículo en realizar una parada no planificada [min] - tT (tiempo total de la ruta): suma de todos los movimientos y paradas que realiza el vehículo [min]
Fórmula	$D = [1 - (tPNP / tT)] * 100$
Unidad de medida	Porcentaje
Rango	0 – 100%
Tendencia	Positiva
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Se puede calcular mediante la utilización del tiempo de paradas no planificadas (tPNP) y el tiempo total de la ruta (tT). Se puede calcular con los datos proporcionados por la empresa X.

10.1.22. Calidad (C)

Tabla 33. Descripción de indicador. Calidad (C)

Nombre de KPI	Calidad
Descripción	Porcentaje de entregas realizadas satisfactoriamente
Identificación	C
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- ER (entregas realizadas satisfactoriamente) - ERF (entregas realizadas fallidamente)
Fórmula	$C = ER / (ER + ERF) * 100$
Unidad de medida	Porcentaje
Rango	0 – 100%
Tendencia	Positiva
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Se puede calcular (igual que en el caso del OTIF) a partir de las estimaciones de la empresa X de pedidos rechazados (entre 0 y 1 al día), pedidos fuera de fecha (entre 0 y 1 al día) y pedidos dañados en el transporte (entre 1 y 2 al día), ya que no se dispone de la información en tiempo real del estado de los pedidos.

Tomando la hipótesis más desfavorable, 4 del total de los pedidos (entregas) al día no se realizan de forma correcta por vehículo. Si tenemos en cuenta que el resto de las entregas realizadas por cada uno de los vehículos se han realizado correctamente, el índice de calidad se calcularía como:

$$C = (NE - 4) / (NE) * 100$$

Siendo NE el número total de entregas a realizar.

10.1.23. Overall equipment effectiveness (OEE)

El OEE tiene en cuenta los rendimientos calculados anteriormente y los engloba en una sola medida. En DUM se puede utilizar para la medición de eficiencia de los vehículos de transporte, permitiendo identificar oportunidades de mejora en el proceso que permitan obtener mayor eficiencia, reducir costes y mejorar la calidad del servicio. Se puede utilizar también para comparar el rendimiento de diferentes vehículos y establecer objetivos de mejora. Por todo ello, es uno de los indicadores más importantes.

Tabla 34. Descripción de indicador. Overall equipment effectiveness (OEE)

Nombre de KPI	Overall equipment effectiveness
Descripción	Eficacia de la maquinaria o equipamiento que permite obtener el rendimiento global de un proceso de producción
Identificación	OEE
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- D (disponibilidad) [%] - C (calidad) [%] - R (rendimiento) [%]
Fórmula	$R = D * C * R$
Unidad de medida	Porcentaje
Rango	0 – 100%
Tendencia	Positiva
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: El cálculo del OEE para la Empresa X se calcularía como el producto de R, C y D, calculados anteriormente.

10.1.24. Carga transportada por vehículo

Tabla 35. Definición de indicador. Carga transportada por vehículo (QV)

Nombre de KPI	Carga transportada
Descripción	Medición de la carga transportada por cada vehículo. Se puede utilizar para calcular óptimamente las cargas a transportar por cada vehículo de la flota y poder repartirlas así de forma equilibrada. Con ello se pueden reducir problemas en los vehículos.
Identificación	QV
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	-
Fórmula	-
Unidad de medida	Kilogramos (kg)
Rango	0 – Carga máxima (kg)
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: La empresa X ha proporcionado los datos de las cargas medias por vehículo en kg. Sin embargo, no hay mediciones de carga a tiempo real.

10.1.25. Distancia recorrida por paquete (DRP)

Tabla 36. Descripción de indicador. Distancia recorrida por paquete (DRP)

Nombre de KPI	Distancia recorrida por paquete
Descripción	Distancia recorrida por el vehículo por unidad de paquetes entregados
Identificación	DRP
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- d (distancia recorrida) [km] - PT (paquetes totales)
Fórmula	$DRP = d / PT$
Unidad de medida	Kilómetros/paquete
Rango	0 – Distancia máxima por paquete [km/paquete]
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Se puede calcular mediante el número de paquetes estimado por vehículo (PT) y la distancia recorrida por el vehículo (d).

10.1.26. Distancia recorrida por entrega (DRE)

Tabla 37. Descripción de indicador. Distancia recorrida por entrega (DRE)

Nombre de KPI	Distancia recorrida por entrega
Descripción	Distancia recorrida por el vehículo por unidad de entregas realizadas
Identificación	DRE
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- d (distancia recorrida) [km] - NE (número de entregas)
Fórmula	$DRE = d / NE$
Unidad de medida	Kilómetros/entrega
Rango	0 – Distancia máxima por entrega [km/paquete]
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Se puede calcular mediante el número de entregas estimado por vehículo (NE) y la distancia recorrida por el vehículo (d).

10.1.27. Entregas por hora por vehículo

Tabla 38. Descripción de indicador. Entregas por hora por vehículo (EH)

Nombre de KPI	Entregas por hora
Descripción	Número de entregas medio por hora de la ruta. Permite comparar la velocidad de entrega que tienen los vehículos
Identificación	EH
Alcance	Objetivos de entrega de mercancías
Variables	- tT (tiempo total de la ruta) [h] - NE (entregas realizadas)
Fórmula	$EH = NE / tT$
Unidad de medida	Kilómetros/entrega
Rango	0 – Distancia máxima por entrega [km/paquete]
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y managers
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X:

Para su cálculo se utiliza la duración total de la ruta (tT) y el número total de entregas realizadas (NE).

10.2. KPIs de sostenibilidad

10.2.1. Huella de carbono (HC)

Para el cálculo de la huella de carbono es necesario tener en cuenta que no solo se produce debido al proceso de conducción, sino que, al tratarse de vehículos refrigerados, también tienen importancia en cuanto a emisiones y es necesario tener en cuenta los equipos encargados de refrigerarlos.

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Para el cálculo de la huella de carbono habría que tener en cuenta dos tipos de huella. En primer lugar, la huella debida al proceso de conducción del vehículo y, en segundo lugar, la huella correspondiente al sistema refrigerado del vehículo que permite que la mercancía se encuentre en las condiciones adecuadas. Esto se corresponde a la siguiente fórmula, consta de dos términos sumados:

$$HC = (ConsV/100) * d * EmCO2 + (ConsEspecifRef) * Tt * EmCO2$$

En este caso, la empresa X no ha podido proporcionar los datos de consumo específico de combustible del equipo de refrigeración utilizado en el vehículo ($ConsEspecifRef$) y, por lo tanto, para el cálculo de la huella solo se ha podido tener en cuenta el primer sumando de la ecuación. De esta parte de la ecuación, se conoce el consumo del vehículo ($ConsV$) [L/100km], la distancia recorrida por el vehículo (d) [km] y las emisiones de CO₂e por litro de combustible [$EmCO2$] [kg CO₂/L]. Al tratarse de vehículos de gasolina, el valor de $EmCO2$ utilizado es de 2,35 kg CO₂e/Lgasolina. [31].

$$HC = (ConsV/100) * d * EmCO_2 = CCCond * EmCO_2$$

Tabla 39. Descripción de indicador. Huella de carbono (HC)

Nombre de KPI	Huella de carbono
Descripción	Permite medir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debidas al transporte y entrega de mercancías
Identificación	HC
Alcance	Objetivos de sostenibilidad
Variables	Ecuación 1: - HCCond (huella de carbono debida a la conducción) [kg CO₂e] - HCCRef (huella de carbono debida a la refrigeración) [kg CO₂e] Ecuación 2: - CCCond (combustible consumido por conducción) [L] - CCRef (combustible consumido por refrigeración) [L] - EmCO₂ (emisiones de CO₂ por litro de combustible) [kg CO₂/L] Ecuación 3: - d (distancia recorrida) [km] - ConsV (consumo del vehículo) [L/100km] - EmCO₂ [kg CO₂/L] - ConsEspecifRef (Consumo específico del combustible de la refrigeración) [L/h] - tT (tiempo total de uso) [h]
Fórmula	$HC = HCCond + HCCRef$ $HC = CCCond * EmCO_2 + CCRef * EmCO_2$ $HC = (ConsV/100) * d * EmCO_2 + (ConsEspecifRef) * tT * EmCO_2$
Unidad de medida	Kg CO ₂ e
Rango	0 – kg CO ₂ e max
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

10.2.2. Huella de carbono por entrega (HCE)

Tabla 40. Descripción de indicador. Huella de carbono por entrega (HCE)

Nombre de KPI	Huella de carbono por entrega
Descripción	Permite medir la huella de carbono en función de las entregas realizadas
Identificación	HCE
Alcance	Objetivos de sostenibilidad
Variables	- HC (Huella de Carbono) [kg CO₂e] - NE (número de entregas realizadas)
Fórmula	$HCE = HC / NE$
Unidad de medida	Kg CO ₂ e / entrega
Rango	0 – kg CO ₂ e/entrega max
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Se calcularía dividiendo la huella de carbono calculada por el número de entregas realizadas en ese periodo (tendría sentido, por ejemplo, en el caso de huella de carbono por ruta, conociendo las entregas que se han realizado en esa ruta).

10.2.3. Huella de carbono por paquete (HCP)

Tabla 41. Descripción de indicador. Huella de carbono por paquete (HCP)

Nombre de KPI	Huella de carbono por paquete
Descripción	Permite medir la huella de carbono en función de los paquetes entregados
Identificación	HCP
Alcance	Objetivos de sostenibilidad
Variables	- HC (Huella de Carbono) [kg CO₂e] - PT (paquetes entregados)
Fórmula	$HCP = HC / PT$
Unidad de medida	Kg CO ₂ e / paquete
Rango	0 – kg CO ₂ e/paquete max
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Se calcularía dividiendo la huella de carbono calculada por el número de paquetes entregados (PT) en ese periodo (tendría sentido, por ejemplo, en el caso de huella de carbono por ruta, conociendo los paquetes que se han entregado en esa ruta).

10.2.4. Huella de carbono por ruta (HCR)

Tabla 42. Descripción de indicador. Huella de carbono por ruta (HCR)

Nombre de KPI	Huella de carbono por ruta
Descripción	Permite medir la cantidad de emisiones (huella de carbono) que se ha producido durante la realización de una ruta
Identificación	HCR
Alcance	Objetivos de sostenibilidad
Variables	- dR (distancia recorrida en la ruta) [km] - ConsV (consumo del vehículo) [L/100km] - EmCO₂ [kg CO₂/L] - ConsEspecifRef (Consumo específico del combustible de la refrigeración) [L/h] - tT (tiempo total de la ruta) [h]
Fórmula	$HCR = (ConsV/100) * dR * EmCO_2 + (ConsEspecifRef) * tT * EmCO_2$
Unidad de medida	Kg CO ₂ e / ruta
Rango	0 – kg CO ₂ e/ruta max
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

Consideraciones de cálculo para datos de Empresa X: Se realiza el mismo cálculo que en el caso de la huella de carbono general, pero para el caso de la ruta, teniendo en cuenta la distancia de esta (dR).

10.3. KPIs económicos

No se dispone de datos de la Empresa X para el cálculo de los indicadores económicos.

10.3.1. Coste de vehículo por kilómetro recorrido (CVKM)

Tabla 43. Descripción de indicador. Coste de vehículo por kilómetro recorrido (CVKM)

Nombre de KPI	Coste del vehículo por kilómetro recorrido
Descripción	Permite conocer el coste por km de cada vehículo, teniendo en cuenta costes de combustible, mantenimiento, reparaciones y otros gastos de transporte. Esto permite identificar posibles ahorros y detectar cuando los vehículos empiezan a funcionar de forma anómala y es necesario cambiarlos
Identificación	CVKM
Alcance	Objetivos económicos
Variables	- Cvehículo (costes del vehículo) - d (distancia recorrida) [km]
Fórmula	$CVKM = \sum C_{vehículo} / d$
Unidad de medida	€/km
Rango	0 – Coste max
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

10.3.2. Coste de inventario por ruta (CIR)

Tabla 44. Descripción de indicador. Coste de inventario por ruta (CIR)

Nombre de KPI	Coste de inventario por ruta
Descripción	Coste asociado con el mantenimiento de inventario en almacenes o centros de distribución urbanos (almacenamiento, manipulación y obsolescencia) por ruta.
Identificación	CIR
Alcance	Objetivos económicos
Variables	- CAI (coste estimado de almacenamiento de inventario) [€/año] - CMI (coste estimado de manipulación de inventario) [€/año] - COI (coste estimado de obsolescencia de inventario) [€/año] - NRA (número de rutas al año)
Fórmula	$CI = (CAI + CMI + COI) / NRA$
Unidad de medida	€/ruta
Rango	0 – Coste max
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

10.3.3. Coste de devoluciones por ruta (CDR)

Tabla 45. Descripción de indicador. Coste de devoluciones por ruta (CDR)

Nombre de KPI	Coste de devoluciones por ruta (CDR)
Descripción	Mide el coste asociado con las devoluciones de paquetes en la distribución urbana, incluyendo aspectos como transporte inverso, procesamiento de devoluciones, inspección, clasificación y reposición de inventario. Pueden ser tanto devoluciones de paquetes entregados incorrectamente, como devoluciones debidas a productos dañados.
Identificación	CDR
Alcance	Objetivos económicos
Variables	- NPD (número de paquetes devueltos por ruta) - CMDev (coste medio de devolución [€/paquete])
Fórmula	$CD = CMDev * NPD$
Unidad de medida	€/ruta
Rango	0 – Coste max
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

10.3.4. Coste de amortización por ruta (CAR)

Tabla 46. Descripción de indicador. Coste de amortización por ruta (CAR)

Nombre de KPI	Coste de amortización por ruta
Descripción	Coste de amortización por ruta del vehículo adquirido para la prestación del servicio
Identificación	CAR
Alcance	Objetivos económicos
Variables	- CAV (coste de adquisición del vehículo) [€] - CRV (coste residual del vehículo) [€] - CN (coste de neumáticos) [€] - tVU (vida útil del vehículo) [años] - RA (número de rutas realizadas anualmente)
Fórmula	$CAR = (CAV - CRV - CN) * (tVU * RA)$
Unidad de medida	€ / ruta
Rango	0 – Coste max
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

10.3.5. Coste de financiación por ruta (CFinR)

Tabla 47. Descripción de indicador. Coste de financiación por ruta (CFinR)

Nombre de KPI	Coste de financiación por ruta
Descripción	Coste por ruta resultado del préstamo solicitado para la adquisición del vehículo
Identificación	CFinR
Alcance	Objetivos económicos
Variables	- Pr (préstamo) [€] - i (interés) [%] (utilizar valor de 0 a 1) - Pe (periodo) [años]
Fórmula	$CFinR = \{ [Pr * i * Pe] / [(1 + i)^{Pe} - Pr] \} / (tVU * RA)$
Unidad de medida	€ / ruta
Rango	0 – Coste max
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

10.3.6. Coste del conductor por ruta (CConR)

Tabla 48. Descripción de indicador. Coste de conductor por ruta (CConR)

Nombre de KPI	Coste del conductor por ruta
Descripción	Coste salarial por ruta previsto del conductor
Identificación	CConR
Alcance	Objetivos económicos
Variables	- SH (salario conductor) [€/h] - TTR (tiempo de trabajo por ruta) [h]
Fórmula	$CConductorR = SH * TTR$
Unidad de medida	€ / ruta
Rango	0 – Coste max
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

10.3.7. Coste del seguro por ruta (CSR)

Tabla 49. Descripción de indicador. Coste del seguro por ruta (CSR)

Nombre de KPI	Coste del seguro por ruta
Descripción	Coste por ruta que supone la suscripción de los seguros (tanto de vehículo como de la mercancía)
Identificación	CSR
Alcance	Objetivos económicos
Variables	- CSA (coste de suscripción del seguro anual) [€/año] - NRA (número de rutas anuales) [rutas/año]
Fórmula	$CSR = CSA / NRA$
Unidad de medida	€ / ruta
Rango	0 – Coste max
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

10.3.8. Coste fiscal por ruta (CFisR)

Tabla 50. Descripción de indicador. Coste fiscal por ruta (CFisR)

Nombre de KPI	Coste fiscal por ruta
Descripción	Coste por ruta que suponen los pagos fiscales
Identificación	CFisR
Alcance	Objetivos económicos
Variables	- CFA (costes fiscales anuales) [€/año] - NRA (número de rutas anuales) [rutas/año]
Fórmula	$CFisR = CFA / NRA$
Unidad de medida	€ / ruta
Rango	0 – Coste max
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

10.3.9. Coste del combustible por ruta (CComR)

Tabla 51. Descripción de indicador. Coste del combustible por ruta (CComR)

Nombre de KPI	Coste del combustible por ruta
Descripción	Coste por ruta derivado del combustible consumido en la distribución de las mercancías
Identificación	CComR
Alcance	Objetivos económicos
Variables	- C (consumo del vehículo) [L/100km] - PC (precio del combustible) [€/L] - d (distancia recorrida) [km]
Fórmula	$CComR = (C / 100) * PC * d$
Unidad de medida	€ / ruta
Rango	0 – Coste max
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

10.3.10. Coste de mantenimiento del vehículo por ruta (CMVR)

Tabla 52. Descripción de indicador. Coste de mantenimiento del vehículo por ruta (CMVR)

Nombre de KPI	Coste de mantenimiento del vehículo por ruta
Descripción	Coste por ruta que supone la realización de mantenimientos preventivos de vehículo
Identificación	CMVR
Alcance	Objetivos económicos
Variables	- CMKM (coste de mantenimiento por km) [€/km] - d (distancia recorrida en la ruta) [km]
Fórmula	$CMVR = CMKM * d$
Unidad de medida	€ / ruta
Rango	0 – Coste max
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

10.3.11. Coste de reparación del vehículo por ruta (CRVR)

Tabla 53. Descripción de indicador. Coste de reparación de vehículo por ruta (CRVR)

Nombre de KPI	Coste de reparación del vehículo por ruta
Descripción	Coste por ruta que supone la realización de reparaciones en el vehículo
Identificación	CRVR
Alcance	Objetivos económicos
Variables	- CRR (coste de reparación estimado por km) [€/km] - d (distancia recorrida en la ruta) [km]
Fórmula	$CMVR = CMKM * d$
Unidad de medida	€ / ruta
Rango	0 – Coste max
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

10.3.12. Coste total de la ruta (CR)

Tabla 54. Descripción de indicador. Coste total de la ruta (CR)

Nombre de KPI	Coste de total de la ruta
Descripción	Coste total por ruta. Sumatorio de los distintos tipos de costes logísticos evaluados
Identificación	CR
Alcance	Objetivos económicos
Variables	- CIR (coste de inventario por ruta) [€/ruta] - CDR (coste de devoluciones por ruta) [€/ruta] - CAR (coste de amortización por ruta) [€/ruta] - CFinR (coste financiero por ruta) [€/ruta] - CConR (coste del conductor por ruta) [€/ruta] - CSR (coste del seguro por ruta) [€/ruta] - CFR (coste fiscal por ruta) [€/ruta] - CComR (coste del combustible por ruta) [€/ruta] - CMVR (coste de mantenimiento del vehículo por ruta) [€/ruta] - CRVR (coste de reparación del vehículo por ruta) [€/ruta]
Fórmula	$CR = CIR + CDR + CAR + CFinR + CConR + CSR + CFR + CComR + CMR + CRR$
Unidad de medida	€ / ruta
Rango	0 – Coste max
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

10.3.13. Coste total del paquete por ruta (CP)

Tabla 55. Descripción de indicador. Coste total de ruta por paquete (CP)

Nombre de KPI	Coste de total del paquete por ruta
Descripción	Coste logístico del paquete
Identificación	CP
Alcance	Objetivos económicos
Variables	- CR (coste por ruta) [€/ruta] - PT (paquetes totales de la ruta) [paquetes/ruta]
Fórmula	$CP = CR / PT$
Unidad de medida	€ / paquete
Rango	0 – Coste max
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

10.3.14. Coste total de la entrega por ruta (CE)

Tabla 56. Descripción de indicador. Coste total de la entrega por ruta (CE)

Nombre de KPI	Coste total de la entrega por ruta
Descripción	Coste logístico de la entrega
Identificación	CE
Alcance	Objetivos económicos
Variables	- CR (coste por ruta) [€/ruta] - NE (paquetes totales de la ruta) [entregas/ruta]
Fórmula	$CE = CR / NE$
Unidad de medida	€ / entrega
Rango	0 – Coste max
Tendencia	Negativa
Timing	Tiempo real
Audiencia	Operadores, supervisores y mánager
Metodología	Distribución Urbana de Mercancías

11. ANEXO III: Obtención de variables

11.1. Aplicación de control de flotas

- Muestra de mapa de localización de vehículos

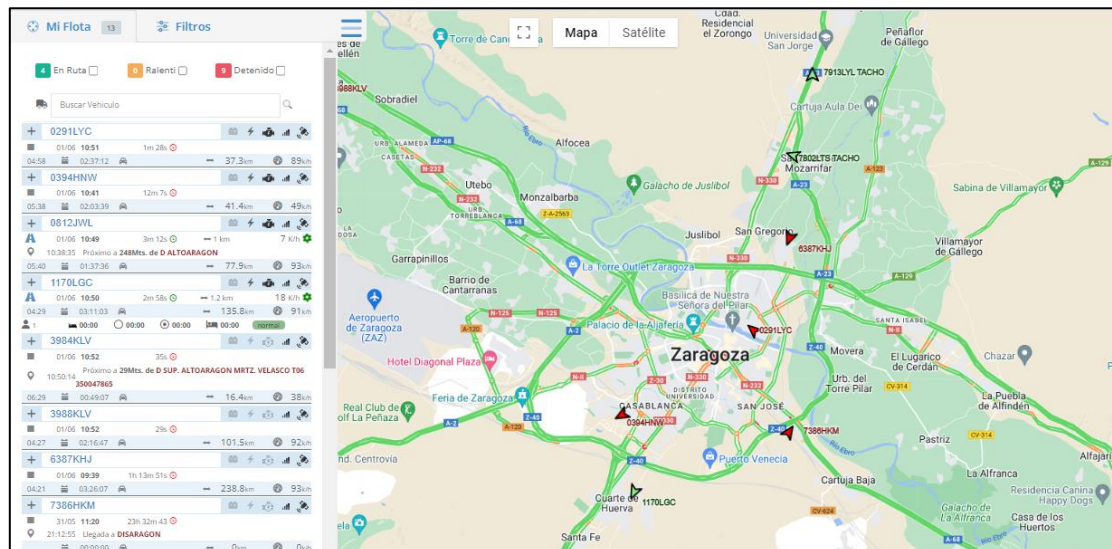


Figura 28. Mapa de localización de vehículos (fuente: aplicación de control de flotas)

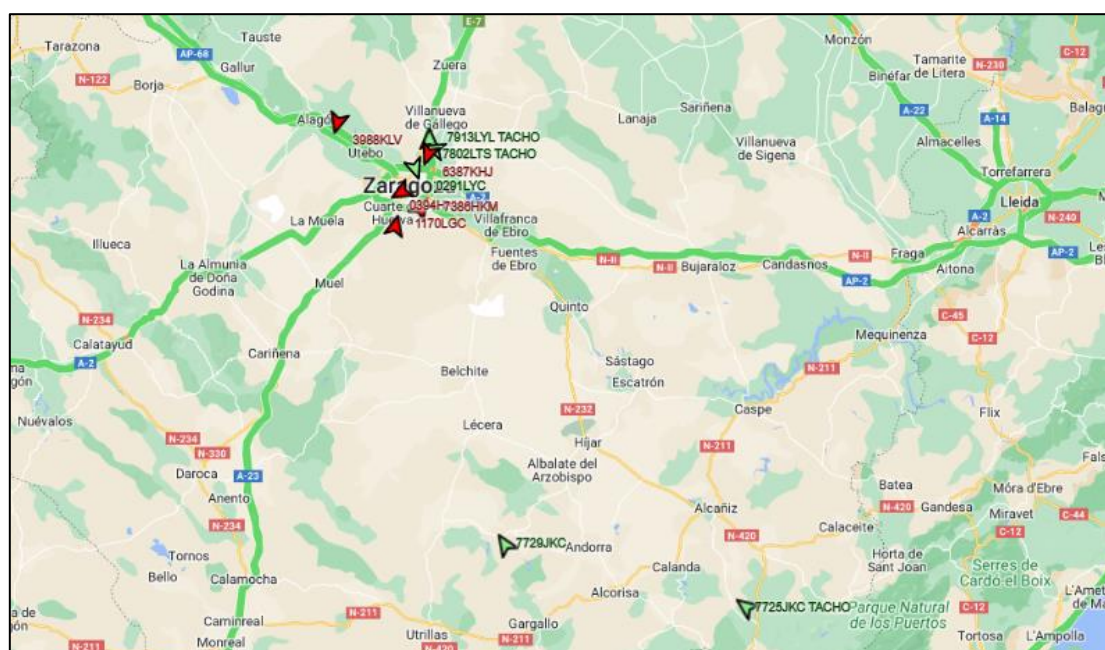


Figura 29. Mapa de localización de vehículos (2) (fuente: aplicación de control de flotas)

- Reportes de la aplicación

***Acceso Centralizado de Reportes**

1 Posicionando el cursor sobre cualquiera de los botones podra ver informacion relevante sobre los reportes mostrados en pantalla.

Estado Actual *por Flota		*Resumen *de HOY	
Reportes de *Totales *por flota	*Totales *entre Fechas	*Totales por semana	*Totales por mes
Reportes de *Totales *por *vehículo	*Totales *entre Fechas		
Reportes por Vehículo	Actividad Entre Fechas	Actividad por Semana	Actividad *por Mes
Reportes por Flota	Actividad por Día	Actividad por Semana	Actividad *por Mes

Figura 30. Reportes de la aplicación (fuente: aplicación de control de flotas)

- Muestra de la actividad de la flota de la Empresa X

Vehículo	Datos	Odómetro	Odómetro	Distancia	Tiempo de	Combustible	Consumo	Velocidad	Velocidad
	Desde	Desde	Hasta	Km	conducción	Litros	Promedio	Máxima	Promedio
							Lt/100km	Km/h	Km/h
Vehículo 1	19/04/2023	52.318,00	52.390,00	72,00	2h 55m 39s			88	25
Vehículo 2	19/04/2023	352.304,00	352.491,00	187,00	3h 56m 58s			88	47
Vehículo 3	19/04/2023	124.896,00	124.994,00	98,00	2h 52m 11s			90	34
Vehículo 4	19/04/2023	137.182,53	137.346,43	163,90	3h 51m 35s			94	42
Vehículo 5	19/04/2023	137.744,00	138.029,00	285,00	4h 39m 33s			93	61
Vehículo 6	19/04/2023	145.784,00	145.836,00	52,00	2h 38m 16s			90	20
Vehículo 7	19/04/2023	358.560,00	358.560,00						
Vehículo 8	19/04/2023	570.959,00	570.959,00						
Vehículo 9	19/04/2023	345.744,22	345.993,58	249,36	3h 58m 55s			91	63
Vehículo 10	19/04/2023	78.272,00	78.471,00	199,00	5h 45m 36s			94	35
Vehículo 11	Sin registros								
Vehículo 12	19/04/2023	108.614,12	108.890,99	276,87	4h 59m 1s			94	56
Vehículo 13	19/04/2023	75.420,37	75.617,31	196,94	3h 14m 25s			90	61

Figura 31. Actividad de la flota del día 19 de abril de 2023(1) (fuente: aplicación de control de flotas)

Reporte de Totales x Flota

Filtros Desde 19/04/2023 00:00 Hasta 19/04/2023 23:59 Consultar

Totales	Análisis	Datos
Mi Flota - Flota Total: 13 - Vehículos con información GNSS: 10 - Vehículos con información FMS/CAN: 3	Distancia Recorrida - Distancia total recorrida: 1.780 Km - Distancia recorrida promedio: 137 Km - TOP 5 Ranking top 5 de vehículos con más recorridos: 3984KLV: 285 Km 7803LTS TACHO: 277 Km 7725JKC TACHO: 249 Km 7729JKC: 199 Km 7913LYL TACHO: 197 Km	Tiempos de conducción - Inicio de recorridos: 19/04/23 04:17 - Tiempo total de conducción: 38,90 Hrs - Tiempo de conducción promedio: 2h 59m 23s - Máximo conducido: 7729JKC 5h 45m 36s

Figura 32. Actividad de la flota del día 19 de abril de 2023(2) (fuente: aplicación de control de flotas)

- Muestra de seguimiento de las actividades de los vehículos

Inicio Actividad	19/04/23 03:40:48	Fin Actividad	19/04/23 14:19:40	Tiempo Conducción	2h 55m 39s	Distancia	70,00 Km	Velocidad Media	16 Km/h	Velocidad Máxima	88 Km/h	Paradas	1d 8h 30m 55s
Fecha	En Sitio / Desde			⌚ Tiempo	Distancia/Combustible Altitud/Contaminación	Vel./Prom. Máx.	🕒 Hora / Llegada a			Acciones			
19/04/2023 14:24	📍 Parque Venecia, Zaragoza, Aragón, España +Sitio			■ 1d 2h 42m 29s									
19/04/2023 14:14	📍 Parque Venecia, Zaragoza, Aragón, España +Sitio ▲ Altitud inicio recorrido 188 M.			▲ 10m 46s	1,0 Km 188 M. ▼	11 K/h 35 K/h	🕒 14:19 📍 Parque Venecia, Zaragoza, Aragón, España +Sitio ▲ Altitud fin de recorrido 0 M.			🔍			
19/04/2023 13:56	📍 Parque Venecia, Zaragoza, Aragón, España +Sitio			■ 17m 57s									
19/04/2023 13:41	📍 3, Calle de las Bellas Artes, Montecanal, Zaragoza, Aragón, 50012, España +Sitio ▲ Altitud inicio recorrido 260 M.			▲ 14m 17s	12,0 Km 260 M. ▼	52 K/h 88 K/h	🕒 13:55 📍 Parque Venecia, Zaragoza, Aragón, España +Sitio ▲ Altitud fin de recorrido 0 M.			🔍			
19/04/2023 13:29	📍 3, Calle de las Bellas Artes, Montecanal, Zaragoza, Aragón, 50012, España +Sitio			■ 11m 57s									
19/04/2023 13:29	📍 79, Calle de Melchor Gaspar de Jovellanos, Montecanal, Zaragoza, Aragón, 50012, España +Sitio ▲ Altitud inicio recorrido 264 M.			▲ 53s	1,0 Km 264 M. ▼	82 K/h 18 K/h	🕒 13:29 📍 3, Calle de las Bellas Artes, Montecanal, Zaragoza, Aragón, 50012, España +Sitio ▲ Altitud fin de recorrido 0 M.			🔍			
19/04/2023 13:23	📍 79, Calle de Melchor Gaspar de Jovellanos, Montecanal, Zaragoza, Aragón, 50012, España +Sitio			■ 5m 14s									
19/04/2023 13:18	📍 Calle de Martín Díez de Aux, Rosales del Canal, Zaragoza, Aragón, España +Sitio ▲ Altitud inicio recorrido 254 M.			▲ 4m 54s	2,0 Km 254 M. ▼	25 K/h 36 K/h	🕒 13:23 📍 79, Calle de Melchor Gaspar de Jovellanos, Montecanal, Zaragoza, Aragón, 50012, España +Sitio ▲ Altitud fin de recorrido 0 M.			🔍			

Figura 33. Muestra del seguimiento de la actividad del vehículo 1 proporcionada por la aplicación de control de flotas para el día 19 de abril de 2023 (fuente: app de control de flotas)

11.2. Cálculo de Huella de Carbono y OEE mensual

A continuación, se muestra la tabla con los valores obtenidos para el vehículo 1 de la Empresa X el cálculo de los indicadores de Huella de Carbono y OEE, que han permitido la realización del Panel 5 expuesto en la memoria del proyecto:

Tabla 57. Cálculo de valores diarios de OEE y huella de carbono durante el mes de abril de 2023

Fecha	OEE [%]	Huella de carbono por ruta (HCR) [kg CO _{2e}]
01/04/2023	23,99	29,20
02/04/2023	0,00	0,00
03/04/2023	34,90	42,36
04/04/2023	34,64	45,24
05/04/2023	33,83	23,85
06/04/2023	0,00	0,00
07/04/2023	0,00	0,00
08/04/2023	40,60	41,54
09/04/2023	0,00	0,00
10/04/2023	50,45	23,44
11/04/2023	19,75	20,97
12/04/2023	31,36	33,31
13/04/2023	40,14	43,18
14/04/2023	43,14	25,50
15/04/2023	0,00	0,00
16/04/2023	0,00	0,00
17/04/2023	41,48	32,08
18/04/2023	60,12	135,71
19/04/2023	48,37	28,79
20/04/2023	0,00	11,10
21/04/2023	36,24	19,74
22/04/2023	0,00	0,00
23/04/2023	0,00	0,00
24/04/2023	0,00	0,00
25/04/2023	46,30	32,08
26/04/2023	30,52	38,66
27/04/2023	50,64	36,60
28/04/2023	51,45	29,20
29/04/2023	45,80	41,13
30/04/2023	0,00	0,00

11.3. Cambio de formato de tiempos en la base de datos

Uno de los principales problemas que se han detectado a la hora de extraer los datos temporales es el formato en el que se almacenan. El formato “xd yh zm rs” utilizado se encuentra en modo texto, siendo las variables ‘x’, ‘y’, ‘z’ y ‘r’ el número de días, horas, minutos y segundos de cada una de las variables. Para poder utilizar la línea de texto como datos numéricos, ha sido necesaria la separación de la línea mediante la utilización de distintos comandos de Excel, para luego poder unirlos todos en la medida temporal más pequeña (segundos). Una vez se ha pasado la información a segundos en formato numérico, ya se puede realizar operaciones para pasar el dato a cualquier medida temporal. Una vez establecido el procedimiento para una línea, se ha podido arrastrar para poder cambiar todos los datos de las variables de forma más ágil.

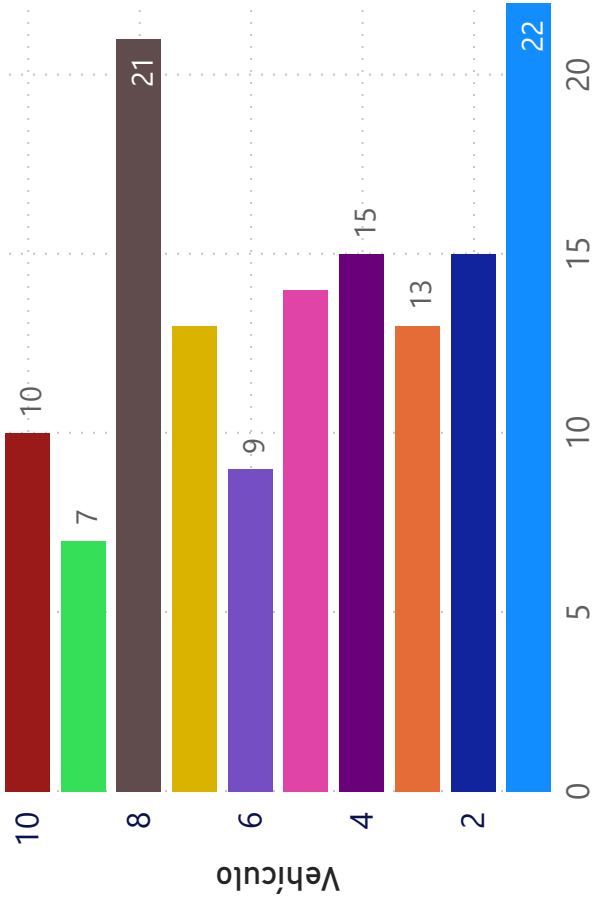
Tabla 58. Procedimiento de cambio de formato de tiempos

E	F	G	H	I	J	K
Tiempo	min	seg	min2	seg2	seg (totales)	minutos
1d 2h 42m 29s						
17m 57s	17m	57s	17	57	1077	17,95
11m 57s	11m	57s	11	57	717	11,95
5m 14s	5m	14s	5	14	314	5,23
6m 36s	6m	36s	6	36	396	6,60
13m 0s	13m	0s	13	0	780	13,00
7m 33s	7m	33s	7	33	453	7,55
21m 51s	21m	51s	21	51	1311	21,85
9m 35s	9m	35s	9	35	575	9,58
9m 58s	9m	58s	9	58	598	9,97
8m 23s	8m	23s	8	23	503	8,38
7m 52s	7m	52s	7	52	472	7,87
8m 43s	8m	43s	8	43	523	8,72
10m 53s	10m	53s	10	53	653	10,88
27m 40s	27m	40s	27	40	1660	27,67
12m 7s	12m	7s	12	7	727	12,12
8m 32s	8m	32s	8	32	512	8,53
9m 59s	9m	59s	9	59	599	9,98
14m 45s	14m	45s	14	45	885	14,75
11m 39s	11m	39s	11	39	699	11,65
38m 52s	38m	52s	38	52	2332	38,87
13m 57s	13m	57s	13	57	837	13,95
31m 37s	31m	37s	31	37	1897	31,62
15m 44s	15m	44s	15	44	944	15,73
10m 55s	10m	55s	10	55	655	10,92

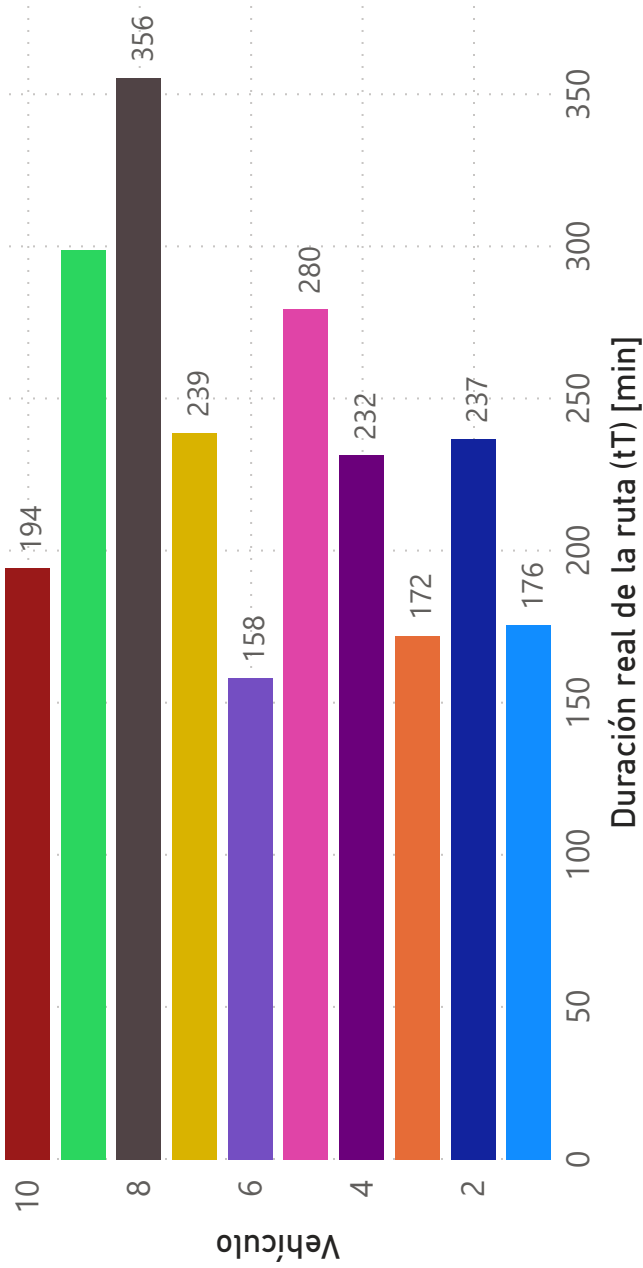
12. ANEXO IV: Muestra ampliada de paneles del cuadro de mando de KPIs

A continuación, se pueden apreciar los paneles desarrollados mediante Power BI para la creación del cuadro de mando de KPIs del proyecto.

Número de paradas planificadas (NPP) por Vehículo



Duración real de la ruta (tT) [min] por Vehículo



Vehículo

1

2

3

4

5

6

7

8

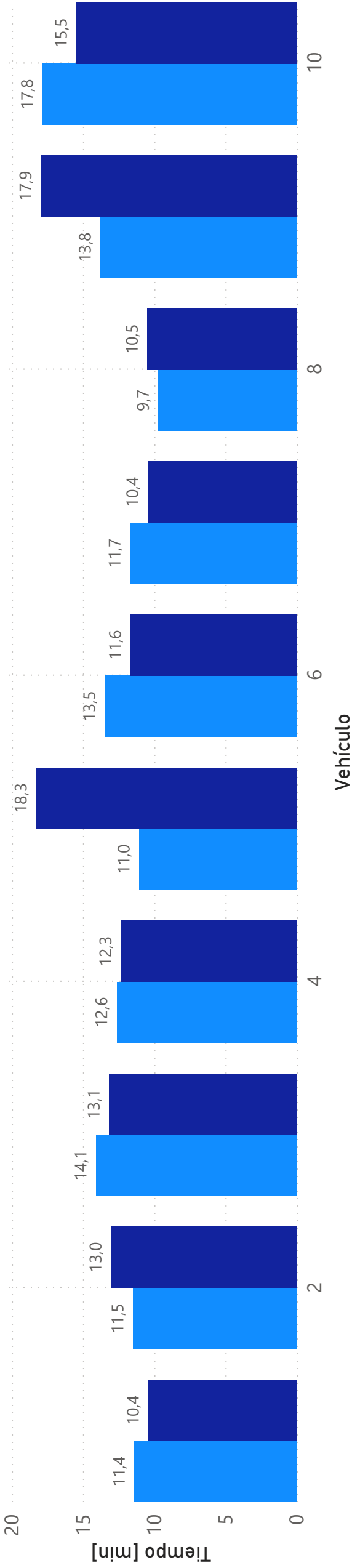
9

10

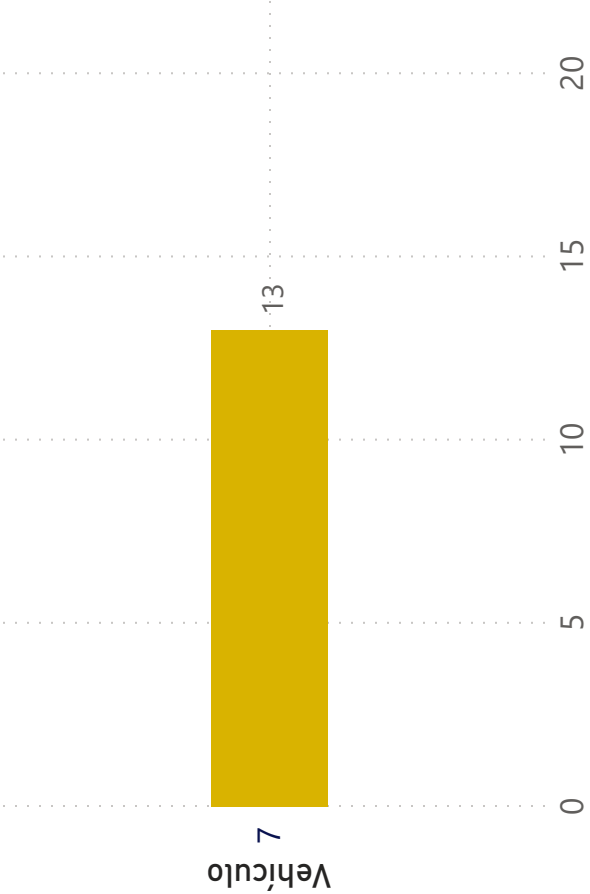
▼

Tiempo medio de paradas planificadas (tPPM) y movimientos (tMM)por Vehículo

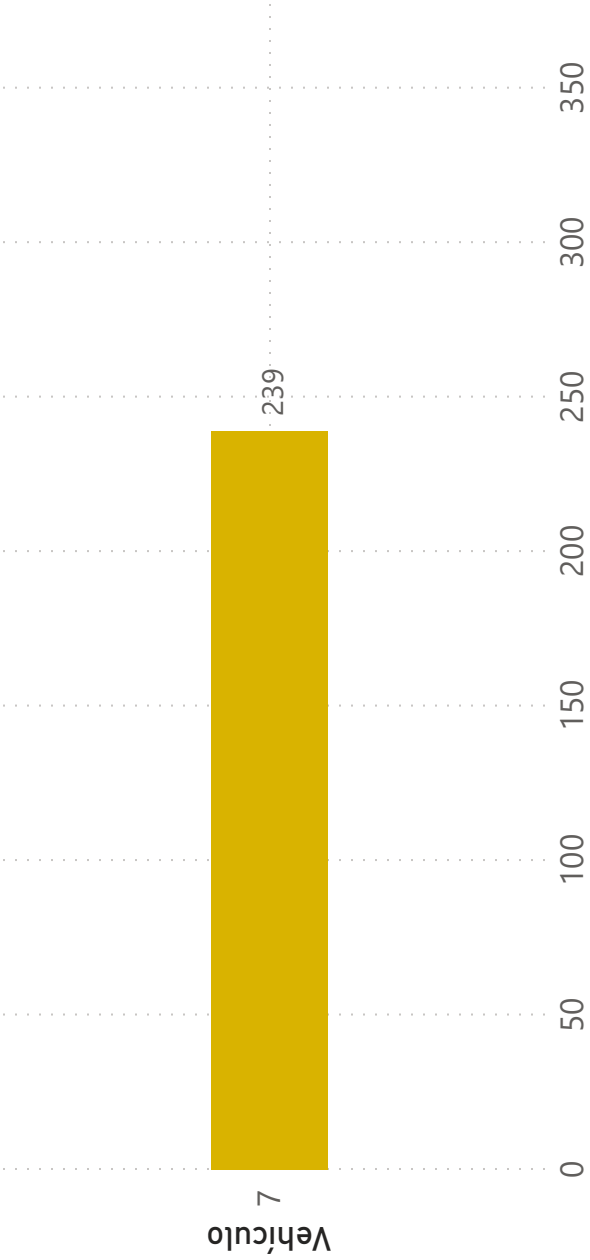
● Tiempo medio de paradas planificadas ● Tiempo medio de movimientos



Número de paradas planificadas (NPP) por Vehículo



Duración real de la ruta (tT) [min] por Vehículo



Vehículo

1

2

3

4

5

6

7

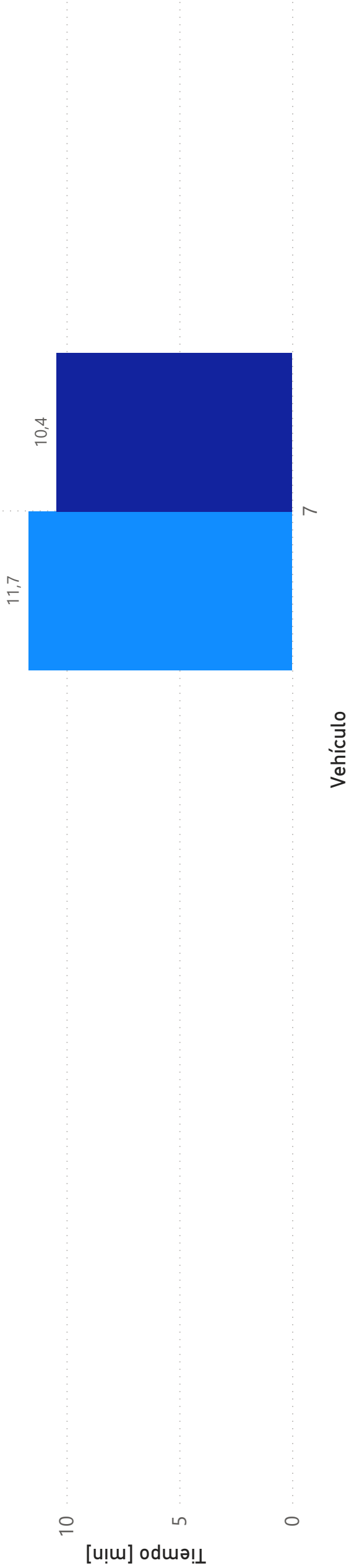
8

9

10

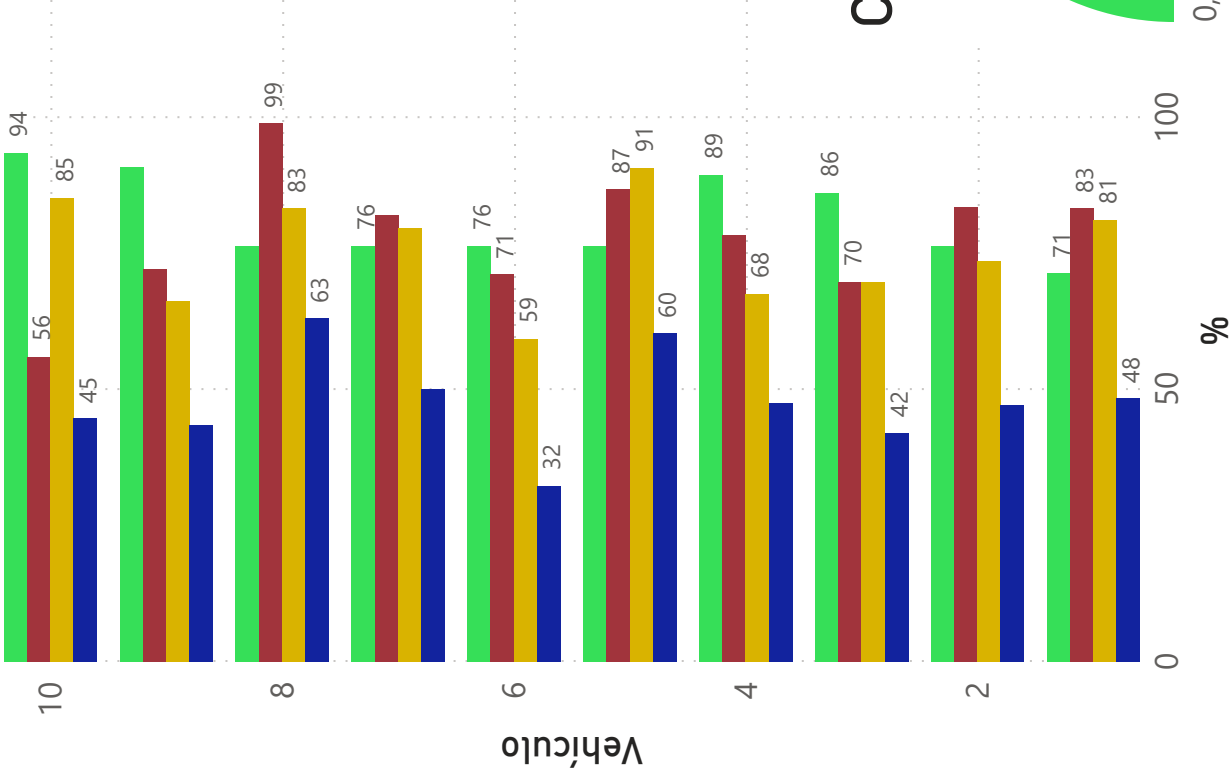
Tiempo medio de paradas planificadas (tPPM) y movimientos (tMM)por Vehículo

●Tiempo medio de paradas planificadas ●Tiempo medio de movimientos

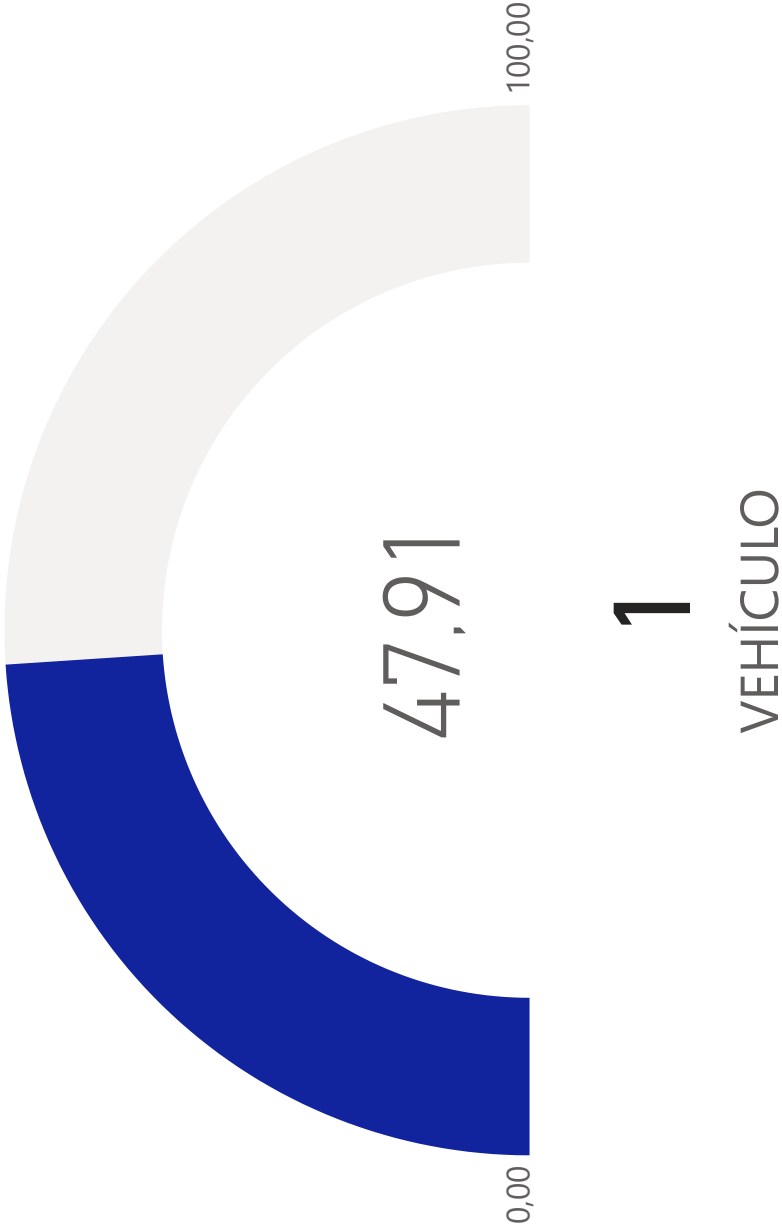


Calidad (C), Rendimiento (R), Disponibilidad (D) y OEE por Vehículo

Calidad ... Rendimi... Disponi... OEE



OEE [%] (promedio/vehículo seleccionado)



Calidad (D) [%]



Rendimiento (R) [%]



Disponibilidad (D) [%]



Vehículo

1

2

3

4

5

6

7

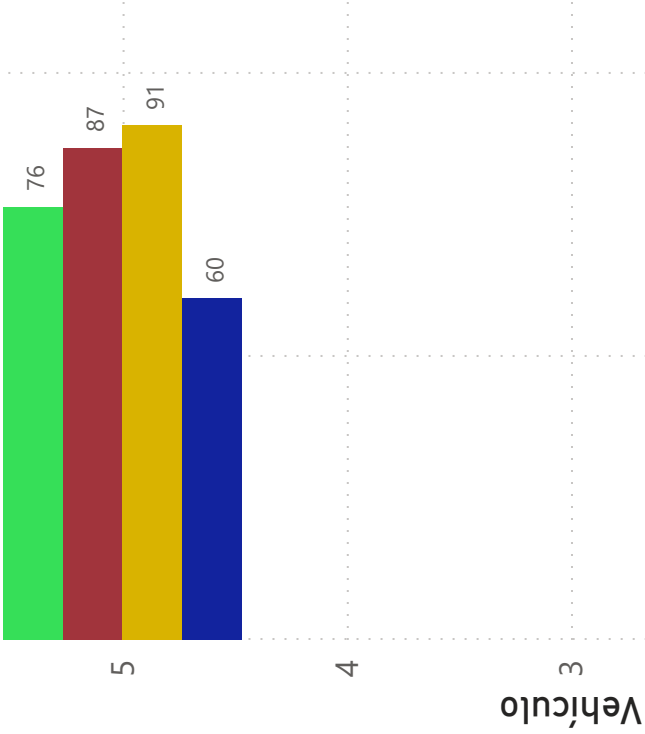
8

9

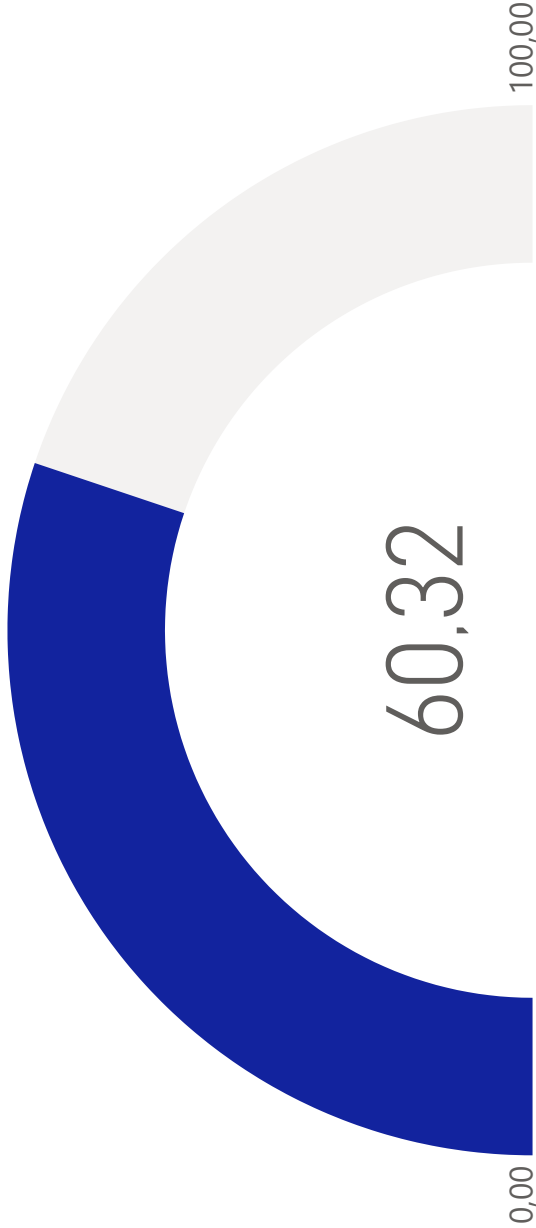
10

Calidad (C), Rendimiento (R), Disponibilidad (D) y OEE por Vehículo

Calida... ● Rendi... ● Disponi... ● OEE

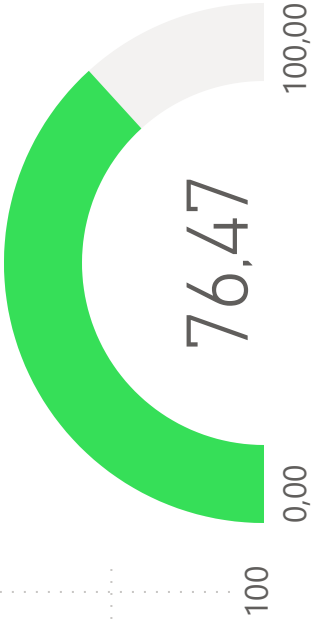


OEE [%] (promedio/vehículo seleccionado)



5
VEHÍCULO

Calidad (D) [%]



Rendimiento (R) [%]



Disponibilidad (D) [%]



Vehículo

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10

Vehículo



- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5
- ☐ 6
- ☐ 7
- ☐ 8
- ☐ 9
- ☐ 10

735,73

Huella de carbono (HC) [kg CO2e]

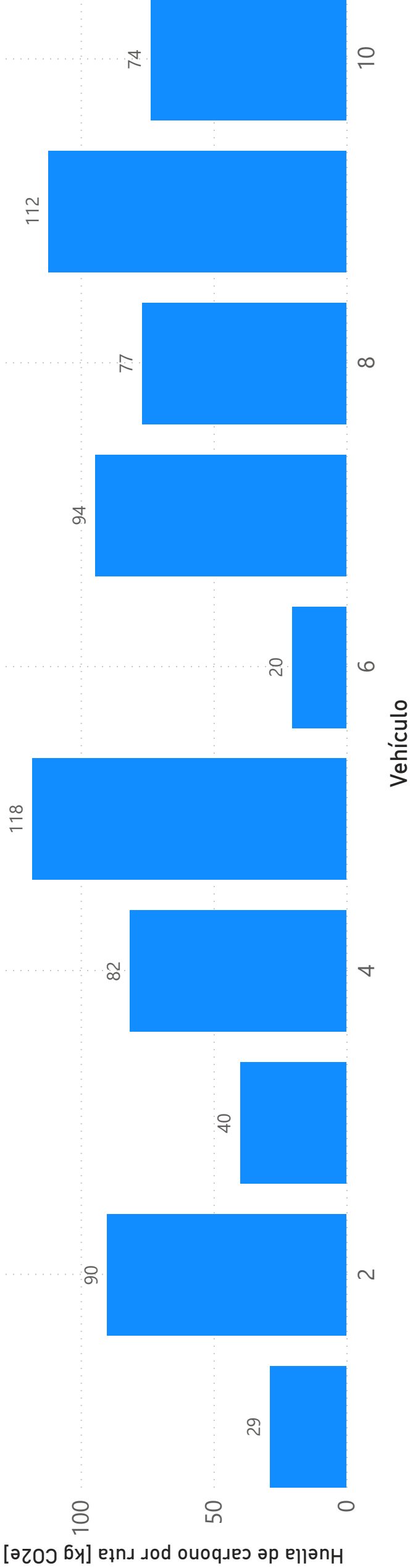
1,75 mil

Distancia recorrida (d) [km]

2,34 mil

Tiempo de conducción [min]

Huella de carbono por ruta [kg CO2e] por Vehículo



118,13

Huella de carbono (HC) [kg CO2e]

284,00

Distancia recorrida (d) [km]

279,55

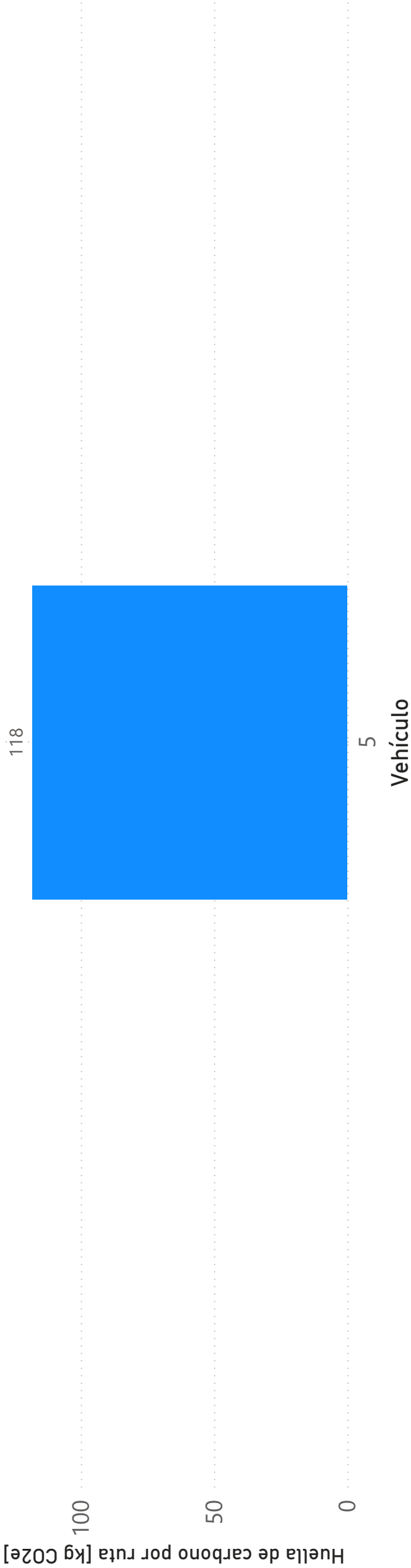
Tiempo de conducción [min]

Vehículo

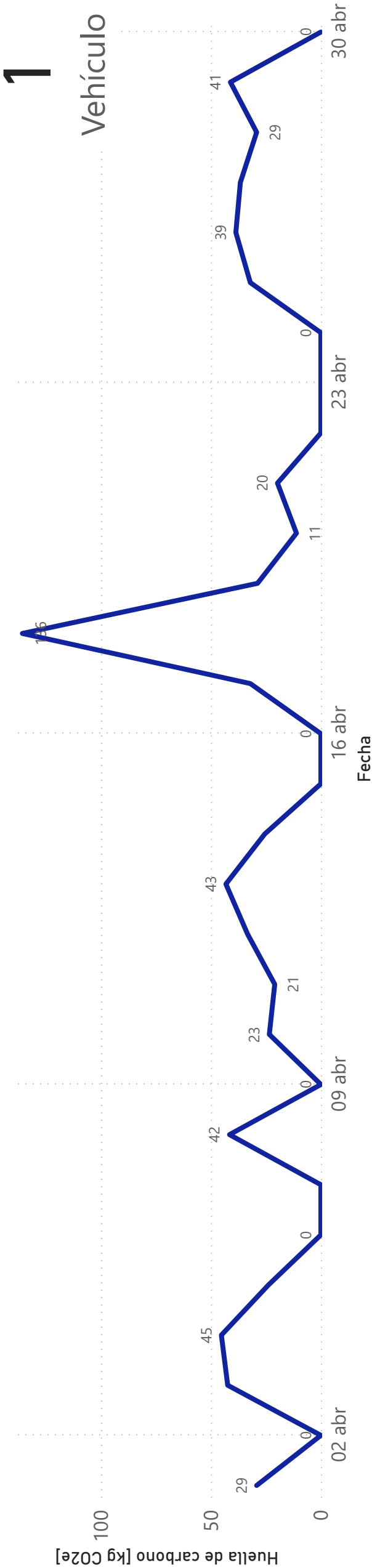


- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☒ 5
- ☐ 6
- ☐ 7
- ☐ 8
- ☐ 9
- ☐ 10

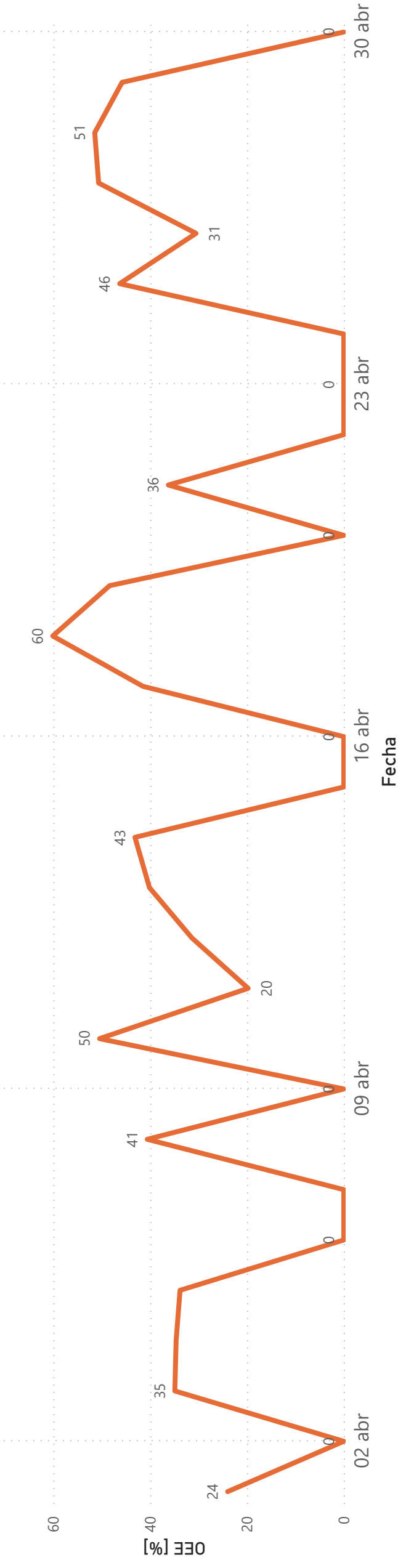
Huella de carbono por ruta [kg CO2e] por Vehículo



Huella de carbono [kg CO2e] por Fecha



OEE [%] por Fecha



81,39

% OTIF

272

Número de entregas realizadas (NE)

40

Entregas fallidas

Vehículo

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 5

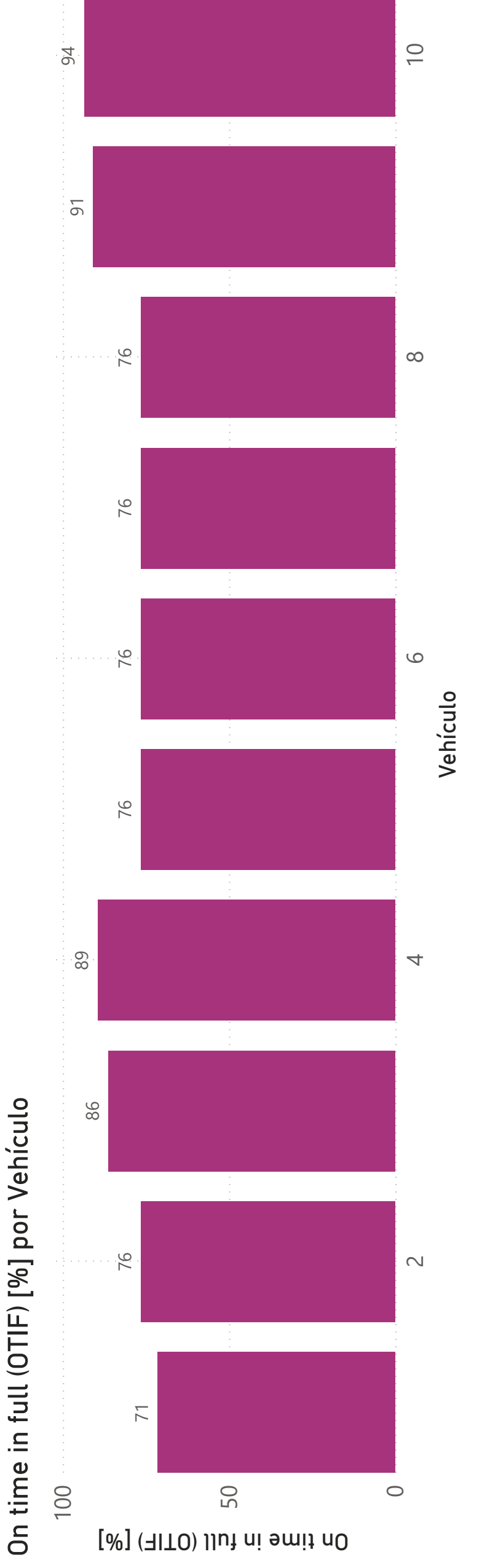
☐ 6

☐ 7

☐ 8

☐ 9

☐ 10



89,47

% OTIF

38

Número de entregas realizadas (NE)

4

Entregas fallidas

Vehículo



- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☒ 4
- ☐ 5
- ☐ 6
- ☐ 7
- ☐ 8
- ☐ 9
- ☐ 10

On time in full (OTIF) [%] por Vehículo

