



**Universidad
Zaragoza**

Trabajo Fin de Máster

**Aspectos territoriales e impactos ambientales desde la
responsabilidad del productor y del consumidor: Una
aplicación a las huellas de carbono en España.**

Autor

Diego Sesma Martín

Directores

Rosa Duarte Pac

Ignacio Cazcarro Castellano

Facultad de Economía y Empresa

Octubre 2015

Aspectos territoriales e impactos ambientales desde la responsabilidad del productor y del consumidor: Una aplicación a las huellas de carbono en España.

Territorial aspects and environmental impacts from the responsibility of producer and consumer: An application to the carbon footprints in Spain.

Abstract:

Cualquier actividad económica desarrollada en un territorio genera efectos económicos y ambientales que, en la mayoría de los casos, trascienden su localización geográfica. El comercio internacional ha provocado que el consumo de un país esté vinculado con las emisiones generadas en otros países. Como consecuencia, se ha planteado la incorporación del comercio internacional a la contabilización de emisiones para favorecer un trato más equitativo entre países y poder determinar la responsabilidad medioambiental de una región en términos globales. De ahí que el objetivo de este trabajo sea identificar, tanto desde la perspectiva del productor (generador de impactos) como del consumidor (destinatario de los bienes generados por la actividad económica), las huellas de carbono de la economía española para 19 regiones y 40 sectores, a través de un modelo MRIO. Sobre esta base, obtenemos en primer lugar resultados globales y, para cada región, el balance de emisiones incorporadas en el comercio. En segundo lugar, presentamos resultados detallados para dos regiones concretas como son Cataluña y Aragón.

Any economic activity in a territory generates economic and environmental effects which, in most cases, transcend beyond their geographical location. International trade has caused that consumption of a country is linked to the emissions generated in other countries. As a result, it has raised the incorporation of international trade accounting for emissions to encourage a more equitable treatment between countries and to determine the environmental responsibility of a region in global terms. Hence, the aim of this study is to identify, from the perspective of the producer (generator impacts) and consumer (recipient of the goods generated by economic activity), carbon footprints of the Spanish economy for 19 regions and 40 sectors, through a MRIO model. On these bases, we first obtain global results and, for each region, the balance of emissions embodied in trade and. Secondly, we present detailed results for two specific regions such as Catalonia and Aragon.

Palabras clave (Keywords): huella de carbono, input-output multirregional, producción, consumo, impactos locales.

Carbon footprints, multi-regional input-output, production, consumption, regional impacts.

1. Introducción.

Las relaciones entre la actividad económica y el medio ambiente son complejas. La economía está en continua evolución y el continuo crecimiento económico desemboca en mayores presiones medioambientales. Por eso, cualquier actividad económica desarrollada en un territorio debe tener en cuenta los impactos económicos, sociales y también ambientales derivados de la misma. Sin embargo, dichos impactos frecuentemente trascienden su localización geográfica concreta, siendo importantes las ligazones establecidas entre regiones e internacionalmente.

Por otro lado, la creciente integración internacional e interregional, a través de la expansión del comercio, trae consigo que a menudo los bienes producidos en unas regiones, acaben siendo consumidos por agentes de otras regiones o países. Dicho de otro modo, el comercio internacional provoca que el consumo de un país esté enlazado con las emisiones generadas en otros países. Como consecuencia, las emisiones generadas realmente en un país no tienen por qué ser las mismas que las emisiones que son (directa o indirectamente) necesarias para su consumo. Este debate sobre las consecuencias del comercio internacional en relación al medio ambiente ha ganado protagonismo en la última década, sobre todo a partir de la entrada en vigor, en 2005, del Protocolo de Kioto.

Los objetivos del Protocolo han sido adoptados poniendo la atención sobre las emisiones de la producción doméstica, pero descuidando las emisiones incorporadas en el comercio internacional. Como consecuencia, aquellas economías abiertas al exterior que pretendan incrementar sus exportaciones intensivas en contaminación deberían realizar un esfuerzo mayor por alcanzar estos objetivos nacionales, siendo necesaria, por tanto, la incorporación del comercio internacional a esta contabilidad de emisiones para favorecer un trato más equitativo entre los diferentes países y hacer factibles los objetivos propuestos en los protocolos. Esta creciente disociación entre productores y

consumidores finales, y sus consecuencias en la atribución de responsabilidades por los impactos ambientales ha sido ampliamente tratada en la literatura económica y ambiental reciente (Munksgaard y Pedersen, 2001; Serrano y Dietzenbacher, 2008, 2010; Cadarso et al. 2009).

Más allá de la discusión teórica sobre las responsabilidades del productor y del consumidor en la generación de impactos ambientales, su identificación y cuantificación es importante tanto para la evaluación de los posibles efectos de cambios económicos en un territorio como para la definición de medidas de política económica y ambiental. En este contexto, se hace necesario disponer de indicadores suficientemente complejos como para captar las relaciones multirregionales y multisectoriales de la actividad económica y sus efectos ambientales a través de toda la cadena de producción, a la vez que suficientemente informativos e integrados como para informar de manera efectiva la toma de decisiones de los agentes.

La huella de carbono resulta sin duda un importante indicador, ya que tiene la capacidad de localizar la responsabilidad del productor relacionada con las emisiones GEI a entidades o actividades de consumo; tiene la capacidad de realizar un seguimiento de los impactos en la cadena de oferta, abarcando múltiples países y sectores; permite la adopción de diferentes perspectivas contables desde el principio de responsabilidad del productor, consumidor o compartida; permite simular posibles escenarios que reflejen los efectos combinados de implementar políticas económicas, sociales y medioambientales a nivel nacional, regional y local, y por último, permite una evaluación más comprensible de la contribución humana a las emisiones de gases efecto invernadero que causan el cambio climático. A pesar de todas estas fortalezas, la huella de carbono también presenta debilidades. Por ejemplo, su carácter excesivamente agregado, su simplicidad para la consideración de los múltiples y heterogéneos impactos ambientales, la dificultad de traducir en medidas de política económica o ambiental los resultados obtenidos de los análisis de huellas, o la frecuente falta de disponibilidad de datos desagregados para desarrollar modelos que capturen las relaciones multisectoriales y multirregionales de las economías.

La huella de carbono puede ser definida como una *medida de la cantidad total de emisiones de dióxido de carbono que es directa e indirectamente causada por una actividad o es acumulada a lo largo de las etapas de vida en un producto* (Wiedmann y

Minx, 2007). De esta forma, la huella de carbono incluye la generación de emisiones por parte de los individuos, administraciones y sectores económicos tanto de forma directa como de forma indirecta, y hacia arriba o hacia abajo en la cadena de producción. Asimismo, el cálculo de las huellas ambientales en general, y de la huella de carbono en particular, puede realizarse desde una perspectiva “bottom-up”, de abajo hacia arriba, por lo tanto basándose en el análisis de procesos y análisis de ciclo de vida (Life-cycle analysis) o desde una perspectiva “top-down”, principalmente mediante el uso de modelos input-output extendidos ambientalmente (environmental input-output analysis).

El análisis bottom-up se ha desarrollado para entender los impactos ambientales de los productos individuales desde la cuna hasta la tumba. Es decir, al aplicar este enfoque se debe poner especial énfasis en determinar los límites del sistema, para no incurrir en errores de frontera y, así, minimizar los errores de cálculo. Esta perspectiva encuentra dificultades adicionales como pueden ser dificultades de estimación al extrapolar información de diferentes fuentes y bases de datos poco consistentes.

Desde otro punto de vista, el enfoque "top-down" combina la contabilidad económica (a través de tablas input-output) con la contabilidad ambiental (emisiones contaminantes) para obtener estimaciones de una forma comprensible y robusta, teniendo en cuenta todos los impactos de orden superior y estableciendo como límite todo el sistema económico. Esta perspectiva también posee limitaciones como, por ejemplo, la homogeneidad de precios entre productos y sectores. Sin embargo, la gran ventaja de este enfoque es la menor exigencia de tiempo y de elaboración una vez que el modelo está calibrado.

La mejor opción para obtener un análisis lo más detallado, comprensivo y robusto posible es combinar las fortalezas de ambos métodos utilizando un enfoque híbrido. Sin embargo, aún es escasa la literatura al respecto (Heijungs y Suh 2002, Heijungs et al, 2006, Heijungs y Suh, 2006).

Este trabajo adopta una perspectiva top-down para la identificación de las huellas de carbono de la economía española, desde las perspectivas del productor (generador de impactos) y del consumidor (destinatario de los bienes generados por la actividad económica). En este sentido, se estudia la generación de dichas huellas y su distribución multirregional y multisectorial. La economía española es representada mediante un

modelo multirregional que consta de 19 regiones (17 Comunidades Autónomas y más dos regiones adicionales correspondientes a la Unión Europea y el Resto del Mundo) y 40 sectores productivos. El modelo captura las emisiones totales ligadas a la actividad productiva de todas las regiones española, identificando las ligazones entre el consumo final de los bienes y los lugares de generación directa de los impactos.

Hasta donde conocemos, es la primera vez que se computan dichas huellas ambientales mediante un modelo multirregional de la economía española. El trabajo incluye también como caso de estudio, la comparación de los impactos de dos regiones de interés, Aragón y Cataluña, con los impactos promedio de la economía española. El modelo se ha programado totalmente en Matlab, siendo parte importante de este trabajo el aprendizaje de dicho lenguaje de programación y su aplicación a la elaboración de modelos multirregionales. Una representación resumida (“minimal example” o “pseudocode”) del código utilizado es la mostrada en la Figura A.1 del Anexo.

Los resultados obtenidos pueden ayudar a la toma de decisiones de política económica, agraria y ambiental, a evaluar la contribución de las actividades económicas al desarrollo sostenible, así como a la generación y evaluación de distintos escenarios económicos relacionados con los patrones de consumo y la distribución de la actividad industrial.

El resto del trabajo se estructura como sigue. En la sección 2 se presenta la metodología empleada. Los datos necesarios para construir el modelo son ampliamente detallados en la sección 3. En la sección 4 se exponen los resultados obtenidos, mientras que en la sección 5 se presentan las conclusiones y una discusión sobre las implicaciones que esto conlleva en materia de política económica y ambiental. Se cierra el trabajo con un Anexo de las figuras y tablas más representativas en términos de resultados.

2. Antecedentes y metodología.

2.1 Antecedentes.

Los modelos input-output tienen su origen en los desarrollos de Wassily Leontief en las décadas de 1930-40, planteando su propuesta más conocida sobre tablas input-output en (Leontief, 1941). Sin embargo, esta metodología se ha extendido posteriormente para

analizar la vinculación entre diversos campos sociales y la actividad productiva (Leontief 1970, 1974 es una aplicación de tablas input-output al medioambiente), así como los flujos intersectoriales e interregionales. Por eso, ha sido necesario modificar y ampliar los modelos input- output existentes para poder analizar estas relaciones, que en el caso de este trabajo serán economía y medio ambiente.

Otros trabajos que han ampliado el análisis input- output para aplicarlos a otras ramas sociales son Isard (1951), Chenery (1953), Moses (1955), Miller y Blair (2009), y Wiedmann (2009) entre otros. De hecho, el modelo MRIO descrito por Chenery (1953) y Moses (1955) es una aproximación a la modelización interregional Input- Output (IRIO) descrita por Isard (1951 y 1960). La diferencia entre ambas modelizaciones se encuentra en la forma en la forma de estimar el comercio interregional y los coeficientes técnicos de cada región (Miller y Blair, 2009).

El uso de la metodología input-output para evaluar los impactos ambientales ha recibido creciente atención en la literatura centrada en el cálculo de huellas ambientales por su capacidad para recoger, de forma sistemática los impactos ambientales a través de las distintas etapas del proceso de producción. Así, Proops et al. (1993), Bicknell et al. (1998), Ferng (2002), Hubacek y Giljum (2003), Resosudarmo (2003) o McDonald and Patterson (2004), entre otros, son ejemplos de trabajos que usan la metodología input-output para calcular la huella ambiental asociada a la demanda final.

En el caso de España, también los modelos input-output se han usado extensamente para estudiar impactos ambientales asociados a la actividad económica desde una perspectiva multisectorial. Véase por ejemplo Alcántara (1995), Alcántara y Roca (1995), Sánchez-Chóliz y Duarte (2004), y Serrano y Dietzenbacher (2010) para estudios relacionados con emisiones de CO_2 , y Duarte et al. (2002) y Cazcarro et al. (2013) para análisis relacionados con flujos de agua.

Respecto a los modelos multirregionales, si bien su uso es creciente en el ámbito internacional, especialmente debido a la mayor disponibilidad de bases de datos desagregadas (WIOD, EXIOPOL, EORA, GTAP, etc.) existen pocas aplicaciones en el ámbito interregional. Así, en el caso español pueden encontrarse este tipo de modelos en los trabajos de Cazcarro et al. (2013, 2015) donde, nuevamente, se analizan los flujos de

agua entre las Comunidades Autónomas españolas, y Serrano y Dietzenbacher (2010) para las emisiones de CO_2 .

2.2. Metodología: Modelo MRIO extendido

El modelo utilizado en este trabajo se basa en un modelo llamado Multirregional Input-Output (matrices de comercio basadas en coeficientes comerciales; Isard, 1951, Chenery, 1953, Moses, 1955, Miller and Blair, 2009). El modelo MRIO que se presenta a continuación para el año 2005 para el caso de España se compone de 40 sectores económicos y 19 regiones correspondientes a las 17 Comunidades Autónomas españolas ($i= 1, 2, \dots, 17$), y otras dos regiones: la Unión Europea (UE) y el Resto del Mundo (RM), es decir, $i= 18, 19$. El modelo concreto, calibrado para la economía española 2005 puede verse en Cazcarro et al. (2013)

Los elementos clave de un modelo input-output multirregional son la matriz de coeficientes técnicos A^\oplus , definida en este contexto, y su inversa de Leontief L^\oplus , la matriz de producción X^\oplus y la matriz de demanda final Y^\oplus .

$$A^\oplus = \begin{bmatrix} A_{1,1} & A_{1,2} & \dots & A_{1,19} \\ A_{2,1} & A_{2,2} & \dots & A_{2,19} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{19,1} & A_{19,2} & \dots & A_{19,19} \end{bmatrix}; \quad L^\oplus = (\mathbf{I}-A^\oplus)^{-1} = \begin{bmatrix} L_{1,1} & L_{1,2} & \dots & L_{1,19} \\ L_{2,1} & L_{2,2} & \dots & L_{2,19} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_{19,1} & L_{19,2} & \dots & L_{19,19} \end{bmatrix};$$

$$X^\oplus = [X_1 \quad X_2 \quad \dots \quad X_{19}] = \begin{bmatrix} X_{1,1} & X_{1,2} & \dots & X_{1,19} \\ X_{2,1} & X_{2,2} & \dots & X_{2,19} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{19,1} & X_{19,2} & \dots & X_{19,19} \end{bmatrix};$$

$$Y^\oplus = [Y_1 \quad Y_2 \quad \dots \quad Y_{19}] = \begin{bmatrix} Y_{1,1} & Y_{1,2} & \dots & Y_{1,19} \\ Y_{2,1} & Y_{2,2} & \dots & Y_{2,19} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{19,1} & Y_{19,2} & \dots & Y_{19,19} \end{bmatrix};$$

Verificando las matrices anteriores la ecuación de equilibrio que se muestra a continuación:

$$X^\oplus = A^\oplus X^\oplus + Y^\oplus \leftrightarrow X^\oplus = (\mathbf{I}-A^\oplus)^{-1}Y^\oplus$$

En la matriz de coeficientes técnicos \mathbf{A}^\oplus , cada matriz \mathbf{A}_{rr} de dimensión 40 x 40 indica los coeficientes técnicos domésticos en la región r. Las matrices fuera de la diagonal de dimensión 40 x 40, \mathbf{A}_{rs} , indican los coeficientes de la región s correspondientes a los inputs importados desde r. Asociado a esta matriz, cada elemento característico de \mathbf{L}^\oplus , l_{rs}^{ij} , expresa la cantidad total de output del sector i producido en r y directamente o indirectamente incorporado en la demanda final del sector j de la región s (a través de la cadena de suministro, que explícitamente considera todos los sectores y regiones participantes en alguna de las etapas de producción).

La matriz \mathbf{Y}^\oplus está formada por 19 vectores columna \mathbf{y}_s , con el vector \mathbf{y}_{ss} (40 x 1) representando la demanda final doméstica de s, y con el otro, \mathbf{y}_{rs} , representando la demanda final de bienes desde r hasta s no consumidos como inputs productivos, es decir, las importaciones de productos terminados desde r hasta s.

La matriz \mathbf{X}^\oplus está formada por 19 vectores columna, \mathbf{x}_s , de los cuales cada uno de ellos representan, de acuerdo a 1, la producción necesaria para obtener la demanda final \mathbf{y}_s . Esta producción puede ser dividida en \mathbf{x}_{ss} (un vector 40 x 1), el cual es la producción de s empleada para cubrir con la demanda final \mathbf{y}_s , y los vectores \mathbf{x}_{rs} , los cuales recogen la producción necesaria adicional para las otras regiones r.

Por otro lado, se ha definido una matriz $\mathbf{Z}^\oplus = \mathbf{A}^\oplus \mathbf{X}^\oplus$, que representa la matriz de flujos económicos intermedios entre sectores y regiones, que contiene en la diagonal los diferentes \mathbf{Z}_{rr} , que son las tablas Input- Output internas de cada región. Las matrices de las importaciones de los productos intermedios a la región s, \mathbf{Z}_{rs} , y las matrices de importaciones a la región s de bienes y servicios finales \mathbf{y}_{rs} han sido construidos de cada una de las s tablas regionales de importaciones \mathbf{M}_s e información adicional de los diferentes institutos regionales de estadística.

Para estimar las emisiones asociadas con la producción en cada región, se define \mathbf{w}^r (19 x 1) como el vector de coeficientes de emisiones atmosféricas consumidas por output de la región r, cuyo elemento característico w_r^i indica la cantidad de emisiones por unidad de output del sector i en la región r. La matriz \mathbf{W}^\oplus está formada por los correspondientes vectores diagonalizados \mathbf{w}_r . Las emisiones asociadas a la producción, e incorporada a los productos de demanda final son obtenidas como se muestra a continuación:

$$\mathbf{H} = \mathbf{W}^\oplus (\mathbf{I} - \mathbf{A}^\oplus)^{-1} \mathbf{Y}^\oplus = \mathbf{P}^\oplus \mathbf{Y}^\oplus \text{ siendo } \mathbf{P}^\oplus = \mathbf{W}^\oplus \mathbf{L}^\oplus \quad \text{ó:}$$

$\mathbf{H}^\oplus = \mathbf{W}^\oplus \mathbf{L}^\oplus \hat{\mathbf{Y}}^\oplus$, donde cada uno de los tres elementos de la matriz anterior tienen una dimensión (760x760) y $\hat{\ }^{\wedge}$ indica diagonalización (en concreto, la matriz obtenida no es una matriz diagonal sino una matriz formada por submatrices diagonalizadas).

De esta forma, $\mathbf{H}_{r,s}$ es una matriz de dimensión (40 x 40) cuyos elementos H_{rs}^{ij} representan las emisiones directas e indirectas necesarias en los i sectores de la región r para satisfacer las demandas del sector j en la región s .

$\mathbf{H}_{s,s}$ es la matriz de la cantidad de emisiones que son emitidas en las actividades productivas en la región s para satisfacer la demanda final de la región s , mientras que $\sum_{r,r \neq s} \mathbf{H}_{r,s}$ es la matriz de emisiones emitidas en la producción de otras regiones para satisfacer la demanda final de la región s y $\sum_{s,s \neq r} \mathbf{H}_{r,s}$ es la matriz de emisiones emitidas en la región r para satisfacer la demanda final de otras regiones. Luego, siendo \mathbf{e} un vector columna de unos, $\mathbf{e}' \mathbf{H}_{s,s} \mathbf{e}$ es el volumen de emisiones empleadas en s para sostener su propia demanda final, es decir, el componente doméstico de las emisiones contaminantes de la región s . En base a lo anterior, es decir, siguiendo el criterio de Cazcarro et al. (2013), podemos obtener la cantidad total de emisiones importadas por la región s para satisfacer su demanda final como $\sum_{r,r \neq s} \mathbf{e}' \mathbf{H}_{r,s} \mathbf{e}$. De forma análoga, podemos escribir como $\sum_{s,s \neq r} \mathbf{e}' \mathbf{H}_{r,s} \mathbf{e}$ las emisiones incorporadas en las exportaciones de la región r . Además, puede verse que $\sum_r \mathbf{e}' \mathbf{H}_{r,s} \mathbf{e} = \mathbf{e}' \mathbf{H}_{s,s} \mathbf{e} + \sum_{r,r \neq s} \mathbf{e}' \mathbf{H}_{r,s} \mathbf{e}$ sería la huella de carbono de la región s mientras que $\sum_s \mathbf{e}' \mathbf{H}_{r,s} \mathbf{e} = \mathbf{e}' \mathbf{H}_{r,r} \mathbf{e} + \sum_{s,s \neq r} \mathbf{e}' \mathbf{H}_{r,s} \mathbf{e}$ es la contaminación directa e indirectamente incorporada en la producción de r . Comparando ambas magnitudes podría establecerse el balance neto de emisiones (exportaciones menos importaciones) de cada región. Otra aproximación a las exportaciones e importaciones de contaminación, es la aportada por Serrano y Dietzenbacher (2010). Bajo su criterio, la contaminación total incorporada en las exportaciones de la región r podría expresarse como $\sum_{r \neq s} \mathbf{e}' \mathbf{P}_{r,r} \mathbf{Y}_{rs} + \sum_{r \neq s} \mathbf{e}' \mathbf{P}_{s,r} \mathbf{Y}_{rs} + \sum_{r \neq s} \mathbf{e}' \mathbf{P}_{r,s} \mathbf{Y}_{sr} + \sum_{r \neq s} \mathbf{e}' \mathbf{P}_{r,s} \mathbf{Y}_{ss}$. De forma análoga, la contaminación total incorporada en las importaciones que realiza la región r vienen capturadas por $\sum_{s \neq r} \mathbf{e}' \mathbf{P}_{s,s} \mathbf{Y}_{sr} + \sum_{s \neq r} \mathbf{e}' \mathbf{P}_{r,s} \mathbf{Y}_{sr} + \sum_{r \neq s} \mathbf{e}' \mathbf{P}_{s,r} \mathbf{Y}_{rr} + \sum_{r \neq s} \mathbf{e}' \mathbf{P}_{s,r} \mathbf{Y}_{r,s}$

De acuerdo a estas expresiones, el balance neto de emisiones para una región r puede expresarse como:

$$\sum_{r \neq s} e' P_{r,r} Y_{rs} + \sum_{r \neq s} e' P_{s,r} Y_{rs} + \sum_{r \neq s} e' P_{r,s} Y_{sr} + \sum_{r \neq s} e' P_{r,s} Y_{ss} -$$

$$\sum_{s \neq r} e' P_{s,s} Y_{sr} + \sum_{s \neq r} e' P_{r,s} Y_{sr} + \sum_{r \neq s} e' P_{s,r} Y_{rr} + \sum_{r \neq s} e' P_{s,r} Y_{r,s} =$$

$$TB = \sum_{r \neq s} e' P_{r,r} Y_{rs} + \sum_{r \neq s} e' P_{r,s} Y_{ss} - \sum_{s \neq r} e' P_{s,s} Y_{sr} - \sum_{r \neq s} e' P_{s,r} Y_{rr}$$

Ambos enfoques, Cazcarro et al. (2013) y Serrano et al (2010), difieren en la atribución de las contaminaciones exportadas o importadas a las regiones, siendo clave para esta divergencia la consideración de la demanda final. No obstante, puede comprobarse que ambas opciones proporcionan el mismo balance neto, dada la anulación en dicho balance de las contaminaciones reexportadas. En este trabajo se sigue la opción de Serrano et al (2010) aunque, como se ha dicho, esta opción no influye en la determinación de los balances regionales. En relación al balance de emisiones, un signo positivo indica que la región es exportadora neta, es decir, genera más contaminación en la obtención de sus exportaciones que la generada en todo el mundo para satisfacer su demanda final o mientras que un signo negativo (región importadora neta) indicaría que la región recibe de forma directa e indirecta del resto de las economías más contaminación que la que él genera e incorpora en sus exportaciones. De alguna forma, el balance de emisiones acercaría a la diferencia entre las emisiones atribuibles a una región bajo las perspectivas de la responsabilidad del productor y del consumidor.

3. Datos

El punto de partida del trabajo es la información económica procedente de la tabla multirregional elaborada por Cazcarro et al. (2013) para la economía española y para 2005. Se toma dicho año como referencia ya que es el periodo para el que por primera vez hay disponibles un gran número de tablas oficiales consistentes y bien calibradas de las diferentes regiones, publicadas por sus respectivos Institutos Regionales de Estadística. Por otro lado, la tabla doméstica correspondiente a la Unión Europea (UE) fue estimada a través de un proceso de agregación de tablas europeas y, posteriormente,

comparada con la tabla unificada por (Rueda Cantuche et al., 2009) para comprobar su fiabilidad. Finalmente, para obtener la tabla doméstica para el Resto del Mundo (RM) se agregaron matrices domésticas publicadas por la OCDE para un número determinado de países. Este proceso implica realizar grandes transformaciones para evitar que se contabilicen por partida doble flujos intra-comerciales y de comercio con la Unión Europea, y escalar los resultados por la parte no computada con la agregación de tablas OCDE (Yamano and Ahmad, 2009).

Tomando como punto de partida dicha información, la tabla MRIO para el año 2005 específicamente empleada en este trabajo, cuenta con un nivel de agregación de 40 sectores. Así, en la tabla A.1. del Anexo, está detallada la clasificación sectorial por ramas de actividad, siguiendo las Clasificaciones de Productos por Actividad para los años 2008 y 2010, ajustadas a las de la clasificación europea de actividades económicas NACE Rev. 2.

Respecto a la información ambiental, los datos de emisiones para España, por tipo de sustancia contaminante, para los años 2008 y 2010 se han tomado de las Cuentas de emisiones a la atmósfera por ramas de actividad (CNAE 2009) y Hogares como consumidores finales, sustancias contaminantes y periodo, proporcionadas por el Instituto Nacional de Estadística. Por otro lado, los datos de emisiones para Aragón del año 2008 se han obtenido del registro y actualización del Inventario de emisiones para Aragón (Gobierno de Aragón, 2006-2010) y para Cataluña (año 2001) de los trabajos realizados previamente para esta Comunidad Autónoma.¹

Adicionalmente, puntualizar que en el caso de Aragón, en aquellos sectores o ramas de actividad para los que no había datos desagregados, se ha tomado como referencia el coeficiente de emisión nacional para su mismo año (en este caso 2008). En cambio, para Cataluña no se ha podido aplicar el mismo criterio puesto que no hay datos de emisiones nacionales disponibles en la base de datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) para el año 2001. En este caso, para aquellos sectores sin desagregación se ha tomado el coeficiente promedio nacional ya que se ha supuesto que las ramas productivas no sufren variaciones bruscas en términos de emisiones a lo largo

¹Generalitat de Catalunya, Institut d'Estadística de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge. *El compte satèl·lit de les emissions atmosfèriques a Catalunya, 2001*. Barcelona 2009.

del tiempo. De esta forma, se ha evitado perder información que pueda sesgar los resultados finales.

En cuanto a las sustancias contaminantes recogidas en el presente trabajo, consideramos los seis gases efecto invernadero recogidos en el Protocolo de Kioto: óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonos o compuestos hidrogenofluorcarbonados (HFC`s), perfluorcarbonos o compuestos polifluorcarbonados (PFC`s), hexafluoruro de azufre (SF_6), metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). Todas las emisiones están identificadas en toneladas de CO_2 equivalente. Para ello, se han utilizado las conversiones recogidas en el índice Global-Warming Potentials para un periodo temporal de 100 años, como se puede ver en el siguiente cuadro.

Cuadro 1: factores GWP_{100} empleados para la conversión de las diferentes sustancias contaminantes en toneladas equivalentes de CO_2 .

Sustancia contaminante	Factor
De CH_4 a CO_2 equivalente	21
De N_2O a CO_2 equivalente	310
De HFC a CO_2 equivalente	5.920
De PFC a CO_2 equivalente	7.850
De SF_6 a CO_2 equivalente	23.900

Fuente: Papel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC ó IPCC, en sus siglas en inglés)².

Por último, notar también que en el caso de Cataluña las emisiones correspondientes a los hidrofluorcarbonos (HFC) y los perfluorcarbonos (PFC) se han convertido a CO_2 equivalente considerando el factor de menor valor dado de los intervalos 140-1800 y 4500-6200, respectivamente.³

²Web Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático: <https://www.ipcc.ch>.

³Generalitat de Catalunya, Institut d'Estadística de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge. *El compte satèl·lit de les emissions atmosfèriques a Catalunya, 2001*. Barcelona 2009.

4. Resultados

4.1 Distribución de la contaminación directa e incorporada en la demanda final.

Examinando los datos obtenidos y reorganizados para obtener los coeficientes directos, encontramos que los sectores con mayores coeficientes de emisión, es decir, con mayor intensidad por unidad producida, son los de producción y distribución de energía eléctrica y gas, las actividades de extracción y procesamiento de minerales (no metálicos especialmente), la agricultura, el transporte, y otras actividades industriales como la metalurgia, la química, agroalimentaria, y del papel y artes gráficas.

Sin embargo, el interés del análisis va más allá de esta contaminación directa por unidad de producto; nos centraremos en la contaminación asociada a todo el proceso productivo desde el origen de los inputs productivos, hasta su incorporación a la obtención de los bienes finales, teniendo en cuenta el comercio interregional en todo el proceso. En otras palabras, analizaremos la contaminación total incorporada en los bienes y servicios que componen la demanda final de cada región (de hogares, gobierno, etc.).

Los datos de comercio interregional muestran una fuerte integración entre las regiones españolas. Como puede verse en la tabla A.9 del Anexo, aproximadamente un 70% de la contaminación asociada a la demanda final de las distintas regiones españolas se genera dentro de España, y en la mayoría de los casos dentro de la propia región, excepto en Murcia, Ceuta y Melilla (se estudian conjuntamente), Extremadura, Madrid, Cantabria y Baleares donde se observa que sólo en torno al 35% o menos de la contaminación asociada a su demanda final se genera en su propia región. Por el contrario, encontramos otras regiones como Andalucía, Asturias, Castilla y León, Canarias y País Vasco donde más de un 50% de la contaminación asociada a su demanda final se genera en su propia región.

El sector exterior localiza también una importante parte de la contaminación incorporada (“embodied”, como se conoce habitualmente en inglés) en la demanda final, siendo en todas las regiones más importante el peso del resto del mundo que el de la Unión Europea. Destaca el caso de Cataluña donde casi un 40% de la contaminación asociada a su demanda final se genera en el exterior (Unión Europea y resto del mundo), siendo a su vez la región que mayor contaminación asociada a su demanda final genera

en el resto del mundo (un 23% aproximadamente). Le sigue Valencia con un 32,2% de contaminación asociada a su demanda final localizada en el sector exterior, representando la contaminación que se genera en el resto del mundo un 20,1% de ese porcentaje externo total. Finalmente, destacar el comportamiento de Castilla y León, región donde menor porcentaje de la contaminación asociada a su demanda final se genera en el exterior (16,4%).

En general, como es esperable por su volumen de población (y consumidores nacionales por tanto, pero también extranjeros que llegan a España como turistas), buena parte de la contaminación se da por el consumo o demanda final de las regiones de Madrid, Andalucía y Cataluña. En concreto Madrid demanda el 19% de las emisiones requeridas por la demanda final en España, Andalucía el 15%, Cataluña el 14%, y ya les siguen con menos del 10%, País Vasco y la Comunidad Valenciana, y con entre el 5% y 6% respectivamente, Canarias, Galicia y Castilla y León.

Lo mismo ocurre si comparamos las emisiones con la participación en el PIB de cada región. Las regiones más contaminantes coinciden con aquellas que tienen mayor PIB respecto al total nacional. Estos son los casos de Cataluña, Madrid y Andalucía, que representan aproximadamente un 19, 18 y 14% del PIB nacional respectivamente. Siguiendo a estas están la Comunidad Valenciana, Castilla y León y el País Vasco con porcentajes que oscilan entre el 5 y el 10% del PIB total nacional.

Sin embargo, Cataluña y la Comunidad de Madrid presentan un comportamiento diferente. Cataluña es una economía muy abierta, que exporta netamente gran cantidad de productos y servicios (y así emisiones) al resto de España y a la EU (si bien importa netamente del Resto del mundo), siendo exportadora neta en global. En concreto Cataluña es altamente exportadora neta de emisiones en los bienes y servicios relacionados con el procesado de minerales no metálicos y las actividades relativas al transporte. La emisión incorporada en importaciones es menor que la exportación, y en el caso de Cataluña procede principalmente de productos como la agricultura (de la huerta murciana y valenciana), pues los productos primarios no se producen tanto, eso sí, se transforman.

Por su parte, Madrid importa netamente productos y servicios (con gran demanda de los bienes y servicios relacionados con agricultura y productos primarios, así como actividades de procesado de minerales no metálicos) y, de esta forma, emisiones del

resto de España y del Resto del mundo (con la UE los niveles de exportaciones e importaciones embebidas son bastante equilibrados) siendo importadora neta de forma global. Andalucía también es importadora neta, si bien no tanto por bienes y servicios relacionados con agricultura y productos primarios (que al contrario, exporta), sino por los relacionados con la extracción de productos energéticos y refino, producción y distribución de energía eléctrica y gas, y minerales no metálicos en ésta la comunidad autónoma más poblada de España, con más de 8 millones de habitantes.

En el caso de Madrid puede verse también que más del 9% de sus compras directas e indirectas proviene de Cataluña, siendo origen por tanto de contaminación en dicha región. Lo mismo ocurre con las compras a Valencia y Castilla La Mancha, que representan entre las dos más del 16% de toda la contaminación incorporada en su demanda final. Solamente un 20% de la contaminación que termina en la demanda final de Madrid se genera precisamente en la propia región, siendo este porcentaje superado claramente por regiones como las de Andalucía (de gran tamaño y por lo tanto con gran capacidad para disponer de un amplio mercado interno), País Vasco, Asturias, Castilla y León, Galicia o La Rioja.

Aragón por su parte es exportadora neta de emisiones en términos globales. Por destinos, además del 47% de emisiones generadas que terminan en la propia demanda final de la región, más de un 6% terminan en la demanda final de La Rioja, algo menos de ese porcentaje termina tanto en Navarra como en Cataluña, y ya menos del 5% en Castilla La Mancha.

Asimismo, en la tabla A.8 se puede ver que en el caso de Aragón más del 11% de sus compras directas e indirectas provienen de Cataluña, siendo ésta por tanto el origen de la contaminación en dicha región (le siguen Valencia y Madrid). Castilla La Mancha realiza la mayor parte de sus compras a Madrid, representando el 8% de toda la contaminación incorporada en su demanda final. Otro caso representativo es el de Baleares donde el 21% de la contaminación incorporada en su demanda final se debe a las compras que realiza a dos de las regiones españolas más importantes, Valencia y Cataluña. Finalmente, Murcia, Ceuta y Melilla destacan por sus compras directas e indirectas a Andalucía y Valencia, representando aproximadamente un 25% de toda la contaminación incorporada en su demanda final, respectivamente. Para el resto de regiones, sus relaciones están distribuidas más uniformemente, siendo aun así Madrid y

Cataluña los orígenes de contaminación principales. Castilla y León es otra de esas regiones con clara exportación neta de emisiones, que en particular supone más de un 4% de las emisiones incorporadas en demanda final de las respectivas regiones receptoras, como Cantabria (un elevado 9% de sus emisiones por demanda final), Castilla La Mancha, Madrid, Extremadura y Galicia.

Siguiendo con el análisis de los destinos de contaminación de cada región (tablas A.10 y A.11) hay que mencionar los comportamientos de Andalucía, Baleares, Canarias y País Vasco donde más de la mitad del porcentaje del destino de su contaminación son ellas mismas (especialmente acentuado el 83,8% de Canarias). En menor medida destacan La Rioja o Castilla y León. Por otro lado, volvemos a observar el fuerte carácter exterior de Cataluña y Valencia con valores que rondan el 30% de contaminación destinada a Europa y Resto del mundo.

4.2. Balance de emisiones.

En este caso, en la tabla A.12 del Anexo tenemos las emisiones incorporadas (embebidas, o “embodied”) a las exportaciones e importaciones por Comunidad Autónoma, así como los respectivos balances comerciales de emisiones, que resultan de la diferencia entre las importaciones y las exportaciones.

Si los balances tienen signo positivo implica que las emisiones incorporadas en las exportaciones son mayores que aquellas incorporadas en las importaciones, es decir, la región es una importadora neta de emisiones o, alternativamente, la responsabilidad del productor es mayor que la responsabilidad del consumidor. España en conjunto es importadora neta de emisiones con un saldo de 6.935.701,51 toneladas de CO₂ equivalente. Este resultado puede entenderse especialmente como una cantidad de emisiones evitadas gracias al comercio internacional. De hecho la hipótesis del cálculo de coeficientes para la EU y Resto del mundo no atiende a las emisiones reales de estas regiones, sino que se han tomado los mismos coeficientes medios para España lo cual permite hacer interpretaciones de este tipo. La intuición que se desprende de otros trabajos que han analizado las emisiones totales y los coeficientes de los diferentes países y regiones del mundo hacen pensar que una estimación más precisa de los coeficientes de emisión de estas regiones llevaría a enfatizar aún más el resultado

obtenido de exportación neta de emisiones de la región del Resto del Mundo en su conjunto, e importación de la Unión Europea.

Las regiones con exportaciones netas, además de la región del Resto del Mundo son Aragón (3.700.515 toneladas de CO_2), Castilla La Mancha, Asturias, Cantabria, Castilla y León, Cataluña, Galicia, La Rioja, Navarra, País Vasco, Extremadura y Valencia. En el caso de Aragón, como de Castilla y León, Madrid y Castilla la Mancha, la exportación de emisiones es claramente primordialmente a otras regiones españolas (más del triple que la exportación a la EU y Resto del Mundo), mientras que en el caso de Cataluña, Murcia, Ceuta y Melilla, País Vasco y la Comunidad Valenciana la proporción de la exportación dentro de España es menor (1.3 veces o menos que la exportación a la EU y Resto del Mundo).

Las regiones con importaciones netas, además de la EU en su conjunto, son claramente Madrid, Canarias, Baleares y Andalucía. El resultado de esta última región contrasta con los resultados de exportación neta de agua incorporada o agua virtual de la región obtenida en diversos estudios previos.

4.3 Huella per cápita

La huella per cápita para el total de las regiones españolas es de 5,6 toneladas de CO_2 equivalente. La mayor huella de carbono se obtiene para las regiones de Aragón, País Vasco, Canarias, La Rioja, Madrid, Navarra, y Murcia, Ceuta y Melilla (que se computan conjuntamente). Sorprende el valor per cápita de estas últimas (19,92 tn de CO_2 equivalente) frente a las 10,04 del País Vasco o a las escasas 6-7 tn per cápita de CO_2 equivalente del resto de regiones anteriormente mencionadas.

La Comunidad de Madrid, a pesar de no ser la comunidad autónoma con mayor población con sus más de 6 millones de habitantes según el padrón municipal (le superan Andalucía con más de 8 millones de habitantes y Cataluña con más de 7), sí es la que mayor emisión o huella de carbono (CO_2 equivalente de los contaminantes referidos) incorpora por su demanda final (dejando aparte el caso de Murcia, Ceuta y Melilla).

Estos resultados los vemos reflejados en el alto consumo o demanda final de los bienes y servicios, y en general, esto tiene que ver con la afluencia (los niveles de renta y consumo) de las diferentes regiones, de la especialización productiva de la región (altos niveles y coeficientes de emisión directa, suelen generar transformación de bienes y servicios en la región consumidos en la misma), pero también el origen, tipo de intensidad contaminante y modo de transporte de los bienes importados. En especial, el comercio interregional que aquí se ha estudiado de forma específica presenta altos niveles de transporte por carretera, siendo en general el modo más contaminante, frente al transporte por ferrocarril o el marítimo (mientras que el aéreo es menos habitual para el transporte de mercancías). De ahí la importancia de conocer los diferentes orígenes, procesos y transporte incorporado en los productos consumidos a la hora de tratar de reducir las huellas de carbono regionales.

4.4. Limitaciones y discusión de los resultados

A pesar de los resultados obtenidos no hay que olvidar las posibles causas de incertidumbre en este tipo de trabajos como, por ejemplo, la fiabilidad de datos, los supuestos de proporcionalidad entre unidades monetarias y físicas, agregaciones y desagregaciones, etc.

La valoración de las incertidumbres en estudios relacionados con input-output ha sido abordada, entre otros, por Bullard (1967), Bessembinder (1995), Lenzen et al. (2003), Roy (2004), McMichael and Fishbeck (2006), Hawkins et al. (2007), Wiedmann et al. (2008), Yamakawa and Peters (2009), Lenzen et al. (2010) y Wilting (2012).

En el presente trabajo se podrían destacar incertidumbres relacionadas con los datos de las tablas regionales españolas (fuentes de datos, actualizaciones de las respectivas tablas), agregaciones y desagregaciones sectoriales, datos input-output de otros países y datos de emisiones tanto españolas como de otros países.

En este caso, como ya se ha comentado, se ha utilizado una tabla MRIO para el año 2005 puesto que era el último año para el que se disponían de tablas regionales desagregadas por sectores. Lo ideal en este caso, sería contar con una tabla MRIO más actualizada (por ejemplo, al año 2010) para obtener resultados más coherentes con el presente.

Por otro lado, está el problema de la escasez de datos de emisiones regionales desagregadas por sectores, lo que no permite aplicar unos coeficientes de emisiones para cada Comunidad Autónoma. En este caso, se ha aproximado tomando la media nacional, pero lo más correcto sería tener coeficientes por sectores para cada región española. Relacionado con esto último, puede encontrarse un problema adicional: cómo agregar y desagregar sectores, es decir, qué pautas seguir, ya que esto puede hacer que los resultados varíen sustancialmente si no se tiene prudencia.

Finalmente, una puntualización que es necesario recalcar es que el hecho de considerar tecnología española para el resto del mundo está llevando a unos resultados que de alguna forma actuarían como "límite inferior", dado que la tecnología (el tipo de emisiones por output) de España es más limpia que la del resto del mundo. En concreto, España es un país que cuenta con un sector eléctrico poco emisor, con bastantes renovables y con una siderurgia e industria más ligera, generadora de menor número de emisiones. Por tanto, por ejemplo en el caso de China, al asumir coeficientes españoles, se está considerando que hay "X" cantidad de emisiones, que son evitadas en España con la importación de esos bienes, aunque en realidad se está generando más CO_2 con la quema de carbón, que es del modo en que obtienen la electricidad la mayoría de industrias y que generan muchos de esos bienes que luego entran en España como importaciones.

5. Conclusiones e implicaciones de política económica.

La sociedad y las economías dependen del capital natural de la biosfera para poder llevar a cabo sus funciones. Es por eso que la organización y el control de los activos ecológicos de la biosfera deban llegar a ser la principal preocupación para aquellos agentes interesados en asegurar el bienestar del ser humano y el sustento del planeta. La urgencia y relevancia de estas preocupaciones dan especial énfasis a la necesidad de actuar. Sin embargo, estas acciones deben estar guiadas por estudios previos, que nos digan a qué distancia estamos de los límites disponibles de nuestro planeta para lograrla sostenibilidad. Es importante, por tanto, contar con herramientas que ayuden a los diferentes agentes sociales a conocer el verdadero impacto sobre el medio de las actividades de consumo y producción. Esas herramientas son, sin duda, los indicadores ecológicos.

Ya se ha visto a lo largo de este trabajo que la creciente integración internacional e interregional, a través de la expansión del comercio, trae consigo que a menudo los bienes producidos en unas regiones, acaben siendo consumidos por agentes de otras regiones o países. Este hecho hace necesaria nuevamente la incorporación de indicadores que ayuden a tener una idea fiel de la importancia del problema que se aborda y a la, posterior, toma de decisiones en términos de política económica.

En este trabajo se ha adoptado una perspectiva top-down para la identificación de las huellas de carbono de la economía española, desde las perspectivas del productor (generador de impactos) y del consumidor (destinatario de los bienes generados por la actividad económica), así como su distribución multirregional y multisectorial.

Dicho esto, se ha concluido que los sectores producción y distribución de energía eléctrica y gas, las actividades de extracción y procesamiento de minerales (no metálicos especialmente), la agricultura, el transporte y otras actividades industriales como la metalurgia, son los que mayor coeficiente de emisión presentan. Además, la mayor parte de la contaminación producida por las regiones española se da para satisfacer la demanda de Madrid y Cataluña. Sin embargo ambas regiones presentan un comportamiento diferente. Cataluña es una economía muy abierta, que exporta netamente gran cantidad de productos y servicios (y así emisiones) al resto de España y a la EU (si bien importa netamente del Resto del mundo), siendo exportadora neta en global. Por su parte Madrid importa netamente productos y servicios (y así emisiones) del resto de España y del Resto del mundo (con la UE los niveles de exportaciones e importaciones embebidas son bastante equilibrados) siendo importadora neta de forma global. Destaca también el comportamiento de la Comunidad Valenciana que, al igual que Cataluña, también tiene una clara orientación industrial y exportadora que resulta en una exportación neta de emisiones al resto de España, a la UE y también al Resto del mundo. Ese mismo resultado neto de balance de emisiones se obtiene para Castilla La Mancha, y en menor medida para Castilla y León. Aragón, por su parte, también es exportadora neta de emisiones en términos globales.

A pesar de que los resultados más marcados se mantienen ante cambios en la definición de coeficientes, o en la incorporación o actualización de tablas regionales, existen incertidumbre y sesgos en algunos aspectos que podrían proponerse como objetivos de mejora. Entre ellos, la actualización de la tabla multirregional MRIO para el año 2010 la

mejora de la agregación /desagregación de ramas de actividad o la recogida de datos de emisiones regionales para elaborar nuevas tablas y disponer de coeficientes de emisión de cara a mejorar los análisis.

Por otro lado, entre las líneas de avance estaría la incorporación de coeficientes de emisiones desagregados por ramas de actividad o sectores para alguna otra Comunidad Autónoma representativa con el fin de tener una imagen lo más fiel posible de la realidad, así como el tratamiento por separado y específico de las emisiones relacionadas con el transporte interregional por carretera, ya que en la mayoría de estudios se constata que los resultados resultan sensibles al diferente tratamiento (asignación de sus emisiones al propio sector, o por el contrario de forma distribuida entre los sectores que lo contratan; así como la decisión de atribuirlo al sector y región emisora vs. la receptora) de este sector con elevadas emisiones.

6. Referencias.

Alcántara, V., 1995. *Economía y contaminación atmosférica. Hacia un nuevo enfoque desde el análisis input- output*. PhD Thesis, Universidad Autónoma de Barcelona.

Alcántara, V., Roca, J., 1995. *Energy and CO₂ emissions in Spain: methodology of analysis and some results for 1980-1990*. *Energy Economics* 17 (3), 221-230.

Bessembinder, J. 1995. *Uncertainties in input-output coefficients for land use optimization studies: an illustration with fertilizer use efficiency*. *Netherlands Journal of Agricultural Sciences*. 43, 47-59.

Bicknell, K.B., Ball, R.J., Cullen, R., Bigsby, H.R. 1998. *New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy*. *Ecological Economics* 27 (2), 149-160.

Bullard, C.1967. *Uncertainty in the 1967 U.S Input- Output data*. CAC Document N° 191. Center for Advanced Computation University of Illinois at Urbana- Champaign Urbana, Illionois 61801.

Cazcarro, I., Duarte, R., Sánchez- Chóliz, J., 2013. *A multirregional Input-Output model for the evaluation of Spanish water flows*. *Environmental Science & Technology*47 (21), pp 12275–12283. DOI: 10.1021/es4019964.

Cazcarro, I., Duarte, R., Sánchez-Chóliz, J., 2015. *Downscaling the grey water footprints of production and consumption*, *Journal of Cleaner Production* (forthcoming). DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.07.113.

Chenery, H.B., 1953. *Regional Analysis*, in: Chenery, H.B., Clark, P.G., Pinna, V.C. (Eds.), *The Structure and Growth of the Italian Economy*. U.S. Mutual Security Agency, Rome, pp. 98-139.

Duarte, R., Sánchez- Chóliz, J., Bielsa, J. 2002. *Water use in the Spanish economy: an input- output approach*. *Ecological Economics* 43 (1), 71-85.

Ferng, J.J. 2002. *Toward a scenario analysis framework for energy footprints*. *Ecological Economics* 40 (1), 53-69.

Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B., Giljum, S. 2011. *Integrating Ecological, Carbon and Water Footprint: Defining the "Footprint Family" and its Application in Tracking Human Pressure on the Planet*. One Planet Economy Network (OPEN).

Generalitat de Catalunya, Institut d'Estadística de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge. *El compte satèl·lit de les emissions atmosfèriques a Catalunya, 2001*. Barcelona 2009.

Gobierno de Aragón, 2006-2010. *Inventario de Emisiones a la atmósfera en la comunidad de Aragón*. Departamento de Medio Ambiente, Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático, Gobierno de Aragón, con colaboración del Instituto Aragonés de Estadística.

Hawkins, T., Hendrickson, C. and Matthews, H.S. 2007. *Uncertainty in the Mixed-Unit Input- Output Life Cycle Assessment Model of the US Economy*. 16th International Input- Output Conference of the International Input- Output Association (IIOA), 2-6 July 2007. Istanbul, Turkey.

Hubacek, K., Giljum, S., 2003. *Applying physical input -output analysis to estimate land appropriation (ecological footprints) of international trade activities*. *Ecological Economics* 44 (1), 137-151.

Institut d'Estadística de Catalunya. *El compte satèl·lit de les emissions atmosfèriques a Catalunya, 2001*. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya.

Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC/TEAP Report* (2005)

Isard, W., 1951. *Interregional and regional input-output analysis: A model of a space economy*. *Review of Economics and Statistics* 33, 318-328.

Lenzen, M., Murray, A., Korte, B., Dey, C.J. 2003. *Environmental impact assessment including indirect effects- a case study using input- output analysis*. *Environmental Impact Assessment Review*. 23, 263-282.

- Lenzen, M., Wood, R., Wiedmann, T., 2010. *Uncertainty analysis for multi-region input-output models- a case study of the UK's carbon footprint*. Economic Systems Research, 222(1), 43-63.
- Leontief, W. 1941. *The structure of American economy, 1919-1929: An empirical application of equilibrium analysis*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Leontief, W. 1970. *Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach*. Review of Economics and Statistics, 52(3), pp. 262-271.
- Leontief, W. 1974. *Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach: A Reply*. Review of Economics and Statistics, 56(1), pp. 109-110.
- McDonald, G.W., Patterson, M.G., 2004. *Ecological Footprints and interdependencies of New Zealand regions*. Ecological Economics 50, 49-67.
- McMichael, F., Fishbeck, P. 2006. *Uncertainty in Leontief Input- Output Equations: Some Numerical Examples*. In *Environmental Life- Cycle Assessment of Good and Services: An Input-Output Approach*. Hendrickson, C; Lave, L; Matthews, H, Eds. Resources for the Future. Washington, D.C.
- Miller, R.E, Blair, P.D., 2009. *Input- Output Analysis: Foundations and Extensions*. Cambridge University Press.
- Moses, L.N., 1955. *The stability of interregional trading patterns and input-output analysis*. American Economic Review 45, 803-832.
- Munksgaard, J., Pedersen, K.L. 2001. *CO₂ accounts for open economies: producer or consumer responsibility?*. Energy Policy. 29(4), March 2001, 327–334.
- Navarro Gálvez, F., 2012. *Modelos multisectoriales input-output en el estudio de los impactos ambientales. Una aplicación para la economía de Cataluña*. Departamento de Economía Aplicada. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Proops, J.L.R., Faber, M., Wagenhals, G., 1993. *Reducing CO₂ emissions. A comparative input- output study for Germany and the U.K.* Ed. Springer-Verlag. Berlin. Heilderberg.

- Resosudarmo, B.P., 2003. *River water pollution in Indonesia: an input- output analysis*. International Journal of Environment and Sustainable Development 2 (1), 62-77.
- Roy, J.R. 2004. *Regional input-output analysis, data and uncertainty*. The Annals of Regional Science. 38(3), 397-412.
- Sánchez- Choliz, J., Duarte, R., 2004. *CO₂ emissions embodied in international trade: evidence for Spain*. Energy Policy 32, 199-205.
- Serrano, M., Dietzenbacher, E., 2008. *Responsibility and trade emission balances: two approaches for the same concept*. International Input- Output Meeting on Managing the Environment. Sevilla (Spain).
- Serrano, M., Dietzenbacher, E., 2010. *Responsibility and trade emission balances: An evaluation of approaches*. Ecological Economics 69 (11), 2224–2232.
- Yamano, N.; Ahmad, N., *The OECD input output database: 2006 edition*. 2006/8. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development, 2009.
- Wiedmann, T., Minx, J., 2007. *A Definition of* . In: C.C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends: Chapter 1, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY.
- Wiedmann, T., Lenzen, M., Wood, R., 2008. *Uncertainty Analysis of the UK-MRIO Model- Results from a Monte- Carlo Analysis of the UK Multi- Region Input- Output Model (Embedded Carbon Dioxide Emissions Indicator)*; Report to the UK Department for Environment, Food and Rural Affairs by Stockholm Environment Institute at the University of York and Centre for Integrated Sustainability Analysis at the University of Sydney. Project Ref.: EV020333. Defra, London, UK.
- Wilting, H. C. 2012. *Sensitivity and uncertainty analysis in MRIO modelling; some empirical results with regard to the Dutch carbon footprint*. Economic Systems Research. 24:2, 141-171.
- Yamakawa, A., Peters, G. 2009. *Environmental input- output analysis: Using time-series to measure uncertainty*. Economic Systems Research. 21(4), 337-362.

Enlaces web.

Instituto Nacional de Estadística (INE) <http://www.ine.es>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) <https://www.ipcc.ch>.

7. Anexo

Figura A.1: Representación resumida (“minimal example”) del código utilizado en Matlab.

```
% Se carga la información de la matriz MRIO y los vectores de
emisiones
Load MRIOGENERAL.mat;
data
% Se definen el número de sectores (40) y países o regiones (19)
n=40
p=19
c = size(data)
%Se obtienen partes de la matriz general (submatrices) de la tabla,
como los consumos intermedios (Z), la demanda final (Y), la demanda
final total (TOTALY), el vector de emisiones directas (ED) y su
coeficiente asociado dividiendo estas por el total de producción
(Emis):
Z=(...); Y=(...); TOTALY=sum(Y); ED =(...); Emis =(...)
%Ello se realiza haciendo uso de la función “for” (desde el país 1
hasta el p=19)
for i =1:p;
    (...)
end
%Se obtienen los coeficientes técnicos (matriz A)
A
%Se obtiene la matriz identidad del tamaño de toda la tabla (n*p)
I=eye(n*p);
%Y con ello la matriz de Leontief
invL=inv(I-A);
%Los coeficientes de emisión se pueden obtener como:
Coeficientes verticalmente integrados=diagEmis*invL;
%Los cantidades de emisión incorporadas en demanda final se pueden
obtener como:
Cantidades verticalmente integradas=diagEmis*invL*diagTOTALY;
%Y la huella de carbono (Carbonfootprint)como:
Carbonfootprint = Cantidades verticalmente integradas en demanda final
de la región
%Se obtienen las exportaciones de emisiones, las importaciones de
emisiones y los balances de emisión:
emimp =(...); emexp =(...); Emteb = Emreb = (...)
%Para ello se vuelve a hacer uso de la estructura de funciones como
“for” y de “if/else” para realizar todas las combinaciones de países.
Fori = 1:p
    (...)
    for j = 1:p
        if j == i
            c = c;
        else
            (...)
        end
    end
    emteb(:,i) = (...);
end
```

```
%Se realizan comprobaciones interesantes, como puedan ser la
comprobación de los resultados de balances (emteb y emreb) con los
resultados de exportaciones e importaciones de emisiones. También los
de las cantidades de emisiones directas, y de las verticalmente
integradas, así como el del cálculo de la huella de carbono
(Carbonfootprint) por métodos complementarios al de las cantidades
(verticalmente integradas) para satisfacer la demanda final:
comprobacionTodo0s = emteb+emimp-emexp;
EDmatrix=reshape(ED,n,p);
EDagg= sum(reshape(ED',n,p));
EDaggCol= sum(EDmatrix');
Carbon footprint= EDMatrix+emimp-emexp;
```

Tabla A.1. Clasificación de los 40 sectores productivos por rama de actividad

SECTOR/RAMA PRODUCTIVA	Correspondencias CNE 2008	Correspondencias CNE 2010
1. Agricultura, ganadería, caza, pesca y servicios asociados.	(01, 02, 03)	(01, 02, 03)
Productos de la agricultura	(01.1 - 01.3)	(01)
Productos de la ganadería	(01.4)	(01)
Servicios agrícolas y ganaderos	(01.6 - 01.7)	(01)
Productos de la selvicultura y la explotación forestal	(02)	(02)
Pescado y otros productos de la pesca; productos de la acuicultura; servicios de apoyo a la pesca	(03)	(03)
2. Extracción de productos energéticos y refino	(05, 09(p), 19)	(05, 09, 19)
Antracita, hulla y lignito.	(05, 09(p))	(05, 09)
Coque y productos de refino de petróleo	(19)	(19)
3. Producción y distribución de energía eléctrica y gas.	(35)	(35)
Servicios de producción, transporte y distribución de energía eléctrica	(35.1)	
Gas manufacturado; servicios de suministro de vapor y aire acondicionado	(35.2 - 35.3)	
4. Captación, depuración y distribución de agua.	(36)	(36)
Agua natural; servicios de tratamiento y distribución de agua	(36)	
5. Industria cárnica	(10.1)	(10-12)
Carne y productos cárnicos	(10.1)	
6. Industrias lácteas.	(10.5)	(10-12)
Leche y productos lácteos.	(10.5)	
7. Otras industrias alimenticias	(10.2 - 10.4 10.6 - 10.9)	(10-12)
Aceites y grasas vegetales y animales.	(10.4)	
Productos para la alimentación animal.	(10.9)	
Otros productos alimenticios.	(10.2 - 10.3, 10.6 - 10.8)	
8. Elaboración de bebidas y tabaco.	(11, 12)	(10-12)
Bebidas alcohólicas.	(11.01 - 11.06)	
Bebidas no alcohólicas	(11.01 - 11.06)	
Tabaco manufacturado.	(12)	
9. Industria textil, de prendas de vestir y cuero.	(13, 14, 15)	(13-15)
Productos textiles.	(13)	
Prendas de vestir.	(14)	
Artículos de cuero y calzado.	(15)	
10. Industria de la madera y el corcho	(16)	(16)
Madera y corcho y productos de madera y corcho, excepto muebles; artículos de cestería...	(16)	(16)
11. Industrias del papel y artes gráficas.	(17, 18)	(17, 18)
Pasta papelera, papel y cartón.	(17.1)	(17)
Artículos de papel y cartón	(17.2)	(17)
Servicios de impresión y de reproducción de soportes grabados	(18)	(18)
12. Industria química.	(20)	(20)
Productos químicos básicos, compuestos nitrogenados, fertilizantes...	(20.1- 20.2)	
Otros productos químicos.	(20.3-20.5)	
Fibras artificiales y sintéticas	(20.6)	
13. Industria del caucho y otras artes plásticas.	(22)	(22)
Productos de caucho.	(22.1)	
Productos de plástico.	(22.2)	
14. Minerales no metálicos	(23)	(23)
Artículos de cerámica	(23.2-23.4)	
Cemento, cal y yeso; productos de hormigón, cemento y yeso	(23.5-23.6)	
Otros productos minerales no metálicos	(23.7-23.9)	
15. Metalurgia	(24)	(24)
Productos metálicos básicos.	(24)	
16. Fabricación de productos metálicos	(25)	(25)
Productos metálicos manufacturados, excepto maquinaria y equipo.	(25)	
17. Maquinaria y equipo mecánico	(28)	(28)

Fabricación de maquinaria y equipo n.c.o.p	(28)	
18. Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	(26)	(26)
Componentes electrónicos y circuitos impresos ensamblados	(26.1)	
Ordenadores y equipos periféricos	(26.2)	
Otro material electrónico y óptico	(26.3-26.8)	
19. Fabricación de vehículos de motor y otro material de transporte	(29, 30)	(29, 30)
Vehículos de motor	(29.1)	
Carrocerías y piezas para vehículos de motor; remolques y semirremolques	(29.2-29.3)	
Barcos y embarcaciones.	(30,1)	
Locomotoras y material ferroviario.	(30,2)	
Aeronaves y naves espaciales y su maquinaria.	(30,3)	
Otro material de transporte n.c.o.p	(30.4-30.9)	
20. Muebles y otras industrias manufactureras	(31, 32)	(31, 32)
Muebles	(31)	
Otros productos manufacturados n.c.o.p	(32)	
21. Construcción	(41 -43)	(41 -43)
Edificios residenciales y trabajos de construcción relacionados con los mismos.	41(p)	
Edificios no residenciales y trabajos de construcción relacionados con los mismos.	41(p)	
Obras de ingeniería civil.	(42)	
Trabajos de construcción especializados	(43)	
22. Venta y reparación de vehículos de motor; comercio de combustible para automoción	(45)	(45)
Comercio de vehículos de motor, de sus repuestos y accesorios.	(45.1, 45.3, 45.4)	
Servicios de mantenimiento y reparación de vehículos de motor.	(45.2)	
23. Comercio al por mayor e intermediarios	(46)	(46)
Servicios de comercio al por mayor e intermediación del comercio	(46)	
24. Comercio al por menor; reparación de efectos personales	(47)	(47)
Servicios de comercio al por menor	(47)	
25. Hostelería	(55)	(55-56)
Servicios de alojamiento	(55)	
26. Restaurantes	(56)	(55-56)
Servicios de comidas y bebidas	(56)	
27. Transportes	(49- 51)	(49- 51)
Servicios de transporte por ferrocarril	(49.1 - 49.2)	(49)
Otros servicios de transporte terrestre	(49.3 - 49.5)	(49)
Servicios de transporte marítimo y por vías navegables interiores	(50)	(50)
Servicios de transporte aéreo	(51)	(51)
28. Actividades anexas a los transportes	(52.2)	(52)
Servicios anexas al transporte	(52.2)	
29. Correos y Telecomunicaciones	(53, 61)	(53, 61)
Servicios de correos y mensajería	(53)	(53)
Servicios de telecomunicaciones	(61)	(61)
30. Intermediación financiera y actividades auxiliares	(64, 66)	(64, 66)
Servicios de intermediación financiera	(64)	(64)
Servicios auxiliares a la intermediación financiera	(66)	(66)
31. Seguros y planes de pensiones.	(65)	(65)
Servicios de seguros, reaseguros y planes de pensiones, excepto Seg.Social obligatoria	(65)	(65)
32. Actividades inmobiliarias y anexas.	(68)	(68)
Servicios inmobiliarios	(68)	(68)
33. Actividades de alquiler, informática y de I+D.	(62,63,72,77.1,77.2,77.3)	(62,63,72,77.1,77.2,77.3)
Servicios de programación, consultoría y otros servicios relacionados con la informática...	(62,63)	(62,63)
Servicios de investigación y desarrollo científico	(72)	(72)
Servicios de alquiler de vehículos de motor	(77.1)	(77)
Servicios de alquiler de enseres domésticos, otra maquinaria, equipo y bienes materiales	(77.2- 77.3)	(77)
34. Otras actividades empresariales.	(69- 70)	(69- 70)
Servicios jurídicos y contables, sedes centrales, asesoría y gestión	(69- 70)	(69- 70)

empresarial		
35. Educación.	(85)	(85)
Servicios de educación	(85)	(85)
36. Sanidad, saneamiento y servicios sociales.	(86, 87-88)	(86, 87-88)
Servicios de atención sanitaria	(86)	(86)
Actividades de servicios sociales	(87-88)	(87-88)
37. Actividades artísticas, recreativas y de entretenimiento.	(90,92,93)	(90,92,93)
Servicios de creación, artísticos y de espectáculos	(90)	(90,92)
Servicios de juegos de azar y apuestas	(92)	(90,92)
Servicios deportivos, recreativos y de entretenimiento	(93)	(93)
38. Actividades diversas de servicios personales.	(96)	(96)
Otros servicios personales	(96)	(96)
39. Administración Pública.	(84)	(84)
Servicios de administración pública y defensa; servicios de seguridad social obligatoria	(84)	(84)
40. Hogares que emplean personal doméstico.	(97-98)	(97-98)
Servicios de los hogares como empleadores de personal doméstico	(97-98)	(97-98)

Fuente: elaboración propia a partir de la correspondencia de productos- CPA 2008/ ramas. NACE

Rev. 2

Tabla A.2. Coeficientes de emisión CO₂ equivalente España (año 2008)

40 SECTORES TABLA MRIO	Emisiones CO ₂ equiv. (kt)	Producción total (millones €)	Coef. Emisión
1. Agricultura, ganadería, caza, pesca y servicios asociados	44.288	53.143	0,833
2. Extracción de productos energéticos y refinó	22.804	97.765	0,233
3. Producción y distribución de energía eléctrica y gas	92.101	61.053	1,509
4. Captación, depuración y distribución de agua	171	6.859	0,025
5. Industria cárnica	6.496	24.839	0,054
6. Industrias lácteas		11.161	0,054
7. Otras industrias alimenticias		63.137	0,054
8. Elaboración de bebidas y tabaco		20.532	0,054
9. Industria textil, de prendas de vestir y de cuero	704	36.080	0,019
10. Industria de la madera y el corcho	859	11.872	0,072
11. Industria del papel y artes gráficas	3.445	27.956	0,123
12. Industria química	9.619	57.448	0,167
13. Industria del caucho y materias plásticas	765	27.075	0,028
14. Minerales no metálicos	42.795	10.716	3,994
15. Metalurgia	14.479	53.399	0,271
16. Fabricación de productos metálicos	1.162	49.383	0,024
17. Maquinaria y equipo mecánico	920	73.207	0,013
18. Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	189	32.218	0,006
19. Fabricación de vehículos de motor y otro material de transporte	2.114	86.327	0,024
20. Muebles y otras industrias manufactureras	530	24.503	0,022
21. Construcción	1.668	315.190	0,005
22. Venta y reparación de vehículos de motor; comercio de combustible para automoción	753	30.721	0,025
23. Comercio al por mayor e intermediarios	2.503	109.161	0,023
24. Comercio al por menor; reparación de efectos personales	1.860	74.269	0,025
25. Hostelería	1.831	19.591	0,016
26. Restaurantes		97.218	0,016
27. Transportes	51.925	78.170	0,664
28. Actividades anexas a los transportes	940	42.026	0,022
29. Correos y telecomunicaciones	346	44.864	0,008
30. Intermediación financiera y actividades auxiliares	266	70.375	0,004
31. Seguros y planes de pensiones	61	17.645	0,003
32. Actividades inmobiliarias y anexas	113	108.335	0,001
33. Actividades de alquiler, informáticas y de I+D	1.672	53.107	0,031
34. Otras actividades empresariales	398	79.382	0,005
35. Educación	887	56.519	0,016
36. Sanidad, saneamiento y servicios sociales	1.514	89.640	0,017
37. Actividades artísticas, recreativas y de entretenimiento	61	37.031	0,002
38. Actividades diversas de servicios personales	118	12.802	0,009
39. Administración pública	1.812	77.773	0,023
40. Hogares que emplean personal doméstico	0	7.942	0,000

Fuente: elaboración propia.

Tabla A.3. Coeficientes de emisión CO₂ equivalente España (año 2010).

40 SECTORES TABLA MRIO	Emisiones CO ₂ (kt)	Producción total (millones €)	Coef. Emisión
1.Agricultura, ganadería, caza, pesca y servicios asociados	44.465	51.688	0,860
2. Extracción de productos energéticos y refino	20.785	85.707	0,243
3. Producción y distribución de energía eléctrica y gas	59.833	79.913	0,749
4. Captación, depuración y distribución de agua	157	7.837	0,020
5. Industria cárnica	6.282	135.116	0,046
6. Industrias lácteas	6.282	135.116	0,046
7. Otras industrias alimenticias	6.282	135.116	0,046
8. Elaboración de bebidas y tabaco	6.282	135.116	0,046
9. Industria textil, de prendas de vestir y de cuero	726	34.867	0,021
10. Industria de la madera y el corcho	805	8.041	0,100
11. Industria del papel y artes gráficas	3.270	25.905	0,126
12. Industria química	9.063	61.736	0,147
13. Industria del caucho y materias plásticas	811	24.155	0,034
14. Minerales no metálicos	33.224	21.630	1,536
15. Metalurgia	13.224	52.441	0,252
16. Fabricación de productos metálicos	1.198	35.016	0,034
17. Maquinaria y equipo mecánico	720	31.936	0,023
18. Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	154	26.238	0,006
19.Fabricación de vehículos de motor y otro material de transporte	1.949	87.195	0,022
20.Muebles y otras industrias manufactureras	475	21.186	0,022
21. Construcción	1.208	216.290	0,006
22. Venta y reparación de vehículos de motor; comercio de combustible para automoción	761	27.767	0,027
23. Comercio al por mayor e intermediarios	3.055	100.026	0,031
24. Comercio al por menor; reparación de efectos personales	2.700	75.636	0,036
25. Hostelería	1.848	108.582	0,017
26. Restaurantes	1.848	108.582	0,017
27. Transportes	43.731	64.580	0,677
28. Actividades anexas a los transportes	798	46.394	0,017
29. Correos y telecomunicaciones	402	44.402	0,009
30. Intermediación financiera y actividades auxiliares	362	56.894	0,006
31.Seguros y planes de pensiones	83	16.576	0,005
32. Actividades inmobiliarias y anexas	93	149.676	0,001
33. Actividades de alquiler, informáticas y de I+D	1.412	64.722	0,022
34. Otras actividades empresariales	53	11.316	0,005
35. Educación	1.265	59.417	0,021
36. Sanidad, saneamiento y servicios sociales	1.901	93.755	0,020
37. Actividades artísticas, recreativas y de entretenimiento	95	35.521	0,003
38. Actividades diversas de servicios personales	162	16.617	0,010
39. Administración pública	2.168	74.509	0,029
40. Hogares que emplean personal doméstico	0	10.295	0,000

Fuente: elaboración propia.

Tabla A.4. Coeficientes de emisión CO_2 equivalente promedio (años 2008-2010) de España.

40 SECTORES TABLA MRIO	Coef. Emisión promedio
1. Agricultura, ganadería, caza, pesca y servicios asociados	0,847
2. Extracción de productos energéticos y refino	0,238
3. Producción y distribución de energía eléctrica y gas	1,129
4. Captación, depuración y distribución de agua	0,022
5. Industria cárnica	0,050
6. Industrias lácteas	0,050
7. Otras industrias alimenticias	0,050
8. Elaboración de bebidas y tabaco	0,050
9. Industria textil, de prendas de vestir y de cuero	0,020
10. Industria de la madera y el corcho	0,086
11. Industria del papel y artes gráficas	0,125
12. Industria química	0,157
13. Industria del caucho y materias plásticas	0,031
14. Minerales no metálicos	2,765
15. Metalurgia	0,262
16. Fabricación de productos metálicos	0,029
17. Maquinaria y equipo mecánico	0,018
18. Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	0,006
19. Fabricación de vehículos de motor y otro material de transporte	0,023
20. Muebles y otras industrias manufactureras	0,022
21. Construcción	0,005
22. Venta y reparación de vehículos de motor; comercio de combustible para automoción	0,026
23. Comercio al por mayor e intermediarios	0,027
24. Comercio al por menor; reparación de efectos personales	0,030
25. Hostelería	0,016
26. Restaurantes	0,016
27. Transportes	0,671
28. Actividades anexas a los transportes	0,020
29. Correos y telecomunicaciones	0,008
30. Intermediación financiera y actividades auxiliares	0,005
31. Seguros y planes de pensiones	0,004
32. Actividades inmobiliarias y anexas	0,001
33. Actividades de alquiler, informáticas y de I+D	0,027
34. Otras actividades empresariales	0,005
35. Educación	0,018
36. Sanidad, saneamiento y servicios sociales	0,019
37. Actividades artísticas, recreativas y de entretenimiento	0,002
38. Actividades diversas de servicios personales	0,010
39. Administración pública	0,026
40. Hogares que emplean personal doméstico	0,000

Fuente: elaboración propia.

Tabla A.5. Coeficientes de emisión CO₂ equivalente Aragón (año 2008).

40 SECTORES TABLA MRIO	Emis. total CO ₂ (tn)	Producción total (miles €)	Coef. de emisión
1. Agricultura, ganadería, caza, pesca y servicios asociados	4.565.670	4.960.632	0,920
2. Extracción de productos energéticos y refino	22.804	97.765	0,233
3. Producción y distribución de energía eléctrica y gas	92.101	61.053	1,509
4. Captación, depuración y distribución de agua	0	270.199	0,020
5. Industria cárnica	0	1.507.090	0,046
6. Industrias lácteas	229	302.155	0,001
7. Otras industrias alimenticias	7.247	3.824.966	0,002
8. Elaboración de bebidas y tabaco	21.660	741.544	0,029
9. Industria textil, de prendas de vestir y de cuero	293.405	1.581.710	0,185
10. Industria de la madera y el corcho	859	11.872	0,072
11. Industria del papel y artes gráficas	434.031	2.339.809	0,185
12. Industria química	475.322	3.981.755	0,119
13. Industria del caucho y materias plásticas	479.015	2.582.316	0,185
14. Minerales no metálicos	42.795	10.716	3,994
15. Metalurgia	88.795	399.255	0,222
16. Fabricación de productos metálicos	1.162	49.383	0,024
17. Maquinaria y equipo mecánico	920	73.207	0,013
18. Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	189	32.218	0,006
19. Fabricación de vehículos de motor y otro material de transporte	0	10.793.366	0,022
20. Muebles y otras industrias manufactureras	530	24.503	0,022
21. Construcción	1.478.944	7.972.818	0,185
22. Venta y reparación de vehículos de motor; comercio de combustible para automoción	83.045	447.688	0,185
23. Comercio al por mayor e intermediarios	2.503	109.161	0,023
24. Comercio al por menor; reparación de efectos personales	1.860	74.269	0,025
25. Hostelería	1.831	19.591	0,017
26. Restaurantes	1.831	97.218	0,017
27. Transportes	51.925	78.170	0,664
28. Actividades anexas a los transportes	940	42.026	0,022
29. Correos y telecomunicaciones	346	44.864	0,008
30. Intermediación financiera y actividades auxiliares	266	70.375	0,004
31. Seguros y planes de pensiones	5.501	2.671.253	0,002
32. Actividades inmobiliarias y anexas	5.391	2.618.039	0,002
33. Actividades de alquiler, informáticas y de I+D	1.672	53.107	0,031
34. Otras actividades empresariales	398	79.382	0,005
35. Educación	1.034	1.266.208	0,001
36. Sanidad, saneamiento y servicios sociales	2.527	2.572.428	0,001
37. Actividades artísticas, recreativas y de entretenimiento	61	37.031	0,002
38. Actividades diversas de servicios personales	118	12.802	0,009
39. Administración pública	8.605	3.634.534	0,002
40. Hogares que emplean personal doméstico	0	7.942	0,000

Fuente: elaboración propia

Tabla A.6. Coeficientes de emisión CO₂ equivalente Cataluña (año 2001).

40 SECTORES TABLA MRIO	Emisiones CO ₂ (tn)	Producción total (miles €)	Coef. Emisión
1. Agricultura, ganadería, caza, pesca y servicios asociados	1.048.157	4.157.740	0,252
2. Extracción de productos energéticos y refino	5.054.528	3.168.628	1,595
3. Producción y distribución de energía eléctrica y gas	57.189	4.127.181	0,014
4. Captación, depuración y distribución de agua	32.483	707.123	0,046
5. Industria cárnica	499.507	15.771.119	0,032
6. Industrias lácteas	499.507	15.771.119	0,032
7. Otras industrias alimenticias	499.507	15.771.119	0,032
8. Elaboración de bebidas y tabaco	499.507	15.771.119	0,032
9. Industria textil, de prendas de vestir y de cuero	285.015	8.796.238	0,032
10. Industria de la madera y el corcho	66.915	1.485.854	0,045
11. Industria del papel y artes gráficas	367.506	7.862.138	0,047
12. Industria química	2.920.917	15.059.437	0,194
13. Industria del caucho y materias plásticas	128.949	4.562.453	0,028
14. Minerales no metálicos	9.037.148	3.679.267	2,456
15. Metalurgia	302.554	2.379.503	0,127
16. Fabricación de productos metálicos	201.445	7.344.176	0,027
17. Maquinaria y equipo mecánico	79.928	6.601.411	0,012
18. Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	87.989	9.215.461	0,010
19. Fabricación de vehículos de motor y otro material de transporte	176.830	14.029.258	0,013
20. Muebles y otras industrias manufactureras	51.981	2.902.357	0,018
21. Construcción	153.937	22.364.264	0,007
22. Venta y reparación de vehículos de motor; comercio de combustible para automoción	261.478	29.536.876	0,009
23. Comercio al por mayor e intermediarios	0	0	0,027
24. Comercio al por menor; reparación de efectos personales	0	0	0,030
25. Hostelería	91.946	14.004.961	0,007
26. Restaurantes	0	0	0,018
27. Transportes	6.954.532	7.817.846	0,890
28. Actividades anexas a los transportes	108.458	6.629.617	0,016
29. Correos y telecomunicaciones	91.039	4.920.083	0,019
30. Intermediación financiera y actividades auxiliares	26.486	8.952.495	0,003
31. Seguros y planes de pensiones	0	0	0,004
32. Actividades inmobiliarias y anexas	187.819	34.314.565	0,005
33. Actividades de alquiler, informáticas y de I+D	0	0	0,027
34. Otras actividades empresariales	0	0	0,005
35. Educación	31.823	5.139.082	0,006
36. Sanidad, saneamiento y servicios sociales	50.353	8.441.540	0,006
37. Actividades artísticas, recreativas y de entretenimiento	417.546	7.828.076	0,053
38. Actividades diversas de servicios personales	0	0	0,010
39. Administración pública	53.174	5.834.556	0,009
40. Hogares que emplean personal doméstico	0	1.125.054	0,000

Fuente: elaboración propia.

Tabla A.7. Contaminación por demanda final regional.

	Andalucía	Aragón	Castilla La Mancha	Asturias	Baleares	Canarias	Cantabria	Castilla y León	Cataluña	Galicia
Andalucía	19.906.835	153.780	213.638	100.050	383.535	312.247	53.170	159.950	1.266.585	207.134
Aragón	454.295	4.271.537	411.162	31.959	57.470	104.995	57.044	154.365	1.927.026	82.034
Castilla La Mancha	1.327.060	139.542	4.217.911	51.438	73.387	149.605	160.815	360.169	1.666.811	180.970
Asturias	292.403	50.951	63.572	2.748.720	51.727	40.429	182.480	215.971	222.346	360.391
Baleares	62.871	82.812	10.839	5.738	2.289.835	100.300	4.108	11.392	246.855	19.019
Canarias	329.093	7.902	13.688	5.726	34.334	7.035.797	9.827	9.716	82.171	19.923
Cantabria	167.836	25.791	24.834	51.600	16.975	23.150	1.040.836	159.703	205.602	55.815
Castilla y León	524.975	105.747	572.028	146.275	36.096	112.397	342.730	6.949.652	735.891	543.843
Cataluña	1.844.116	1.057.257	292.072	295.053	1.032.925	678.451	282.318	475.542	10.700.246	565.793
Galicia	548.178	112.972	113.406	343.510	89.101	202.533	92.612	462.958	689.750	6.035.992
La Rioja	48.635	41.661	18.104	23.870	7.372	23.741	17.118	145.284	109.651	43.887
Madrid	2.396.469	282.672	747.167	221.896	174.195	928.265	156.390	600.943	1.373.790	459.227
Navarra	248.486	162.094	43.422	19.516	99.144	46.505	115.075	96.663	574.085	38.229
País Vasco	340.403	95.989	83.922	118.152	63.129	99.210	237.564	326.046	577.347	184.853
Extremadura	947.611	120.871	97.908	16.497	22.435	63.315	25.532	127.485	226.169	44.382
Murcia, Ceuta y Melilla	329.767	4.872	37.078	3.186	167.470	27.557	746	11.865	190.070	8.619
Valencia	1.574.898	358.387	293.868	55.138	324.716	457.861	102.228	244.596	1.162.787	285.248
EU	2.382.576	937.203	692.907	454.724	535.383	1.209.007	212.508	942.104	5.133.058	1.527.616
RW	4.663.419	1.045.206	1.066.808	677.549	872.694	2.348.109	536.303	1.121.421	8.195.916	2.395.584
TOTAL	38.389.925	9.057.244	9.014.334	5.370.596	6.331.922	13.963.474	3.629.403	12.575.826	35.286.156	13.058.560

(continuación tabla anterior)

La Rioja	Madrid	Navarra	País Vasco	Extremadura	Murcia, Ceuta y Melilla	Valencia	EU	RW	TOTAL
15.072	1.977.881	107.287	297.282	898.245	1.383.387	851.743	5.900.143	3.203.050	37.391.013
148.607	1.416.014	243.543	195.208	53.389	170.933	452.324	1.470.898	1.054.955	12.757.759
22.646	3.884.311	81.875	144.782	429.898	794.338	665.254	2.275.166	1.512.679	18.138.659
11.214	489.034	26.356	140.365	39.033	81.281	166.113	1.035.609	933.240	7.151.235
4.404	281.332	4.479	12.211	8.255	82.980	76.897	489.918	355.694	4.149.939
1.697	128.808	7.080	123.184	10.417	20.529	53.870	239.821	262.995	8.396.577
6.657	507.513	27.428	216.868	19.728	37.059	94.779	529.340	474.923	3.686.436
55.634	2.360.778	125.698	734.494	309.945	225.919	428.554	1.813.164	1.213.582	17.337.402
112.094	4.430.414	371.758	795.686	232.170	699.201	1.146.960	7.228.150	6.320.349	38.560.552
14.265	1.243.540	90.303	353.902	103.750	221.489	270.668	2.566.200	1.735.866	15.290.995
1.023.438	265.419	123.811	164.659	10.164	17.360	36.566	347.313	225.062	2.693.116
62.384	9.789.671	140.894	497.572	494.608	742.506	915.679	4.520.660	3.529.544	28.034.530
56.962	472.623	1.556.591	255.258	26.581	93.020	86.324	760.218	539.971	5.290.769
75.177	796.870	183.559	11.576.290	52.259	138.556	203.331	3.454.450	3.807.618	22.414.724
8.974	1.104.097	15.653	87.102	1.957.313	84.881	115.059	2.267.540	1.234.381	8.567.206
546	236.686	23.340	6.884	34.386	1.458.973	232.974	2.255.178	2.314.916	7.345.112
32.677	3.942.804	80.303	162.675	137.363	1.338.622	6.485.598	5.290.341	4.864.527	27.194.636
175.469	6.057.988	484.708	1.954.696	453.378	889.667	2.196.123	1.553.734.493	855.201.270	2.435.174.878
439.128	8.341.209	549.447	3.888.561	1.243.562	1.833.260	3.634.470	949.672.209	6.419.496.175	7.412.021.030
2.267.046	47.726.992	4.244.113	21.607.678	6.514.443	10.313.959	18.113.285	2.545.850.812	7.308.280.798	10.111.596.568

* EU: Unión Europea; RW: resto del mundo.

Fuente: elaboración propia.

Tabla A.8. Distribución de la contaminación incorporada en la demanda final (Análisis por columnas)

	Andalucía	Aragón	Castilla La Mancha	Asturias	Baleares	Canarias	Cantabria	Castilla y León	Cataluña	Galicia
Andalucía	51,85	1,70	2,37	1,86	6,06	2,24	1,46	1,27	3,59	1,59
Aragón	1,18	47,16	4,56	0,60	0,91	0,75	1,57	1,23	5,46	0,63
Castilla La Mancha	3,46	1,54	46,79	0,96	1,16	1,07	4,43	2,86	4,72	1,39
Asturias	0,76	0,56	0,71	51,18	0,82	0,29	5,03	1,72	0,63	2,76
Baleares	0,16	0,91	0,12	0,11	36,16	0,72	0,11	0,09	0,70	0,15
Canarias	0,86	0,09	0,15	0,11	0,54	50,39	0,27	0,08	0,23	0,15
Cantabria	0,44	0,28	0,28	0,96	0,27	0,17	28,68	1,27	0,58	0,43
Castilla y León	1,37	1,17	6,35	2,72	0,57	0,80	9,44	55,26	2,09	4,16
Cataluña	4,80	11,67	3,24	5,49	16,31	4,86	7,78	3,78	30,32	4,33
Galicia	1,43	1,25	1,26	6,40	1,41	1,45	2,55	3,68	1,95	46,22
La Rioja	0,13	0,46	0,20	0,44	0,12	0,17	0,47	1,16	0,31	0,34
Madrid	6,24	3,12	8,29	4,13	2,75	6,65	4,31	4,78	3,89	3,52
Navarra	0,65	1,79	0,48	0,36	1,57	0,33	3,17	0,77	1,63	0,29
País Vasco	0,89	1,06	0,93	2,20	1,00	0,71	6,55	2,59	1,64	1,42
Extremadura	2,47	1,33	1,09	0,31	0,35	0,45	0,70	1,01	0,64	0,34
Murcia, Ceuta y Melilla	0,86	0,05	0,41	0,06	2,64	0,20	0,02	0,09	0,54	0,07
Valencia	4,10	3,96	3,26	1,03	5,13	3,28	2,82	1,94	3,30	2,18
EU	6,21	10,35	7,69	8,47	8,46	8,66	5,86	7,49	14,55	11,70
RW	12,15	11,54	11,83	12,62	13,78	16,82	14,78	8,92	23,23	18,34
TOTAL COLUMNAS	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

(continuación tabla anterior)

La Rioja	Madrid	Navarra	País Vasco	Extremadura	Murcia, Ceuta y Melilla	Valencia	EU	RW
0,66	4,14	2,53	1,38	13,79	13,41	4,70	0,23	0,04
6,56	2,97	5,74	0,90	0,82	1,66	2,50	0,06	0,01
1,00	8,14	1,93	0,67	6,60	7,70	3,67	0,09	0,02
0,49	1,02	0,62	0,65	0,60	0,79	0,92	0,04	0,01
0,19	0,59	0,11	0,06	0,13	0,80	0,42	0,02	0,00
0,07	0,27	0,17	0,57	0,16	0,20	0,30	0,01	0,00
0,29	1,06	0,65	1,00	0,30	0,36	0,52	0,02	0,01
2,45	4,95	2,96	3,40	4,76	2,19	2,37	0,07	0,02
4,94	9,28	8,76	3,68	3,56	6,78	6,33	0,28	0,09
0,63	2,61	2,13	1,64	1,59	2,15	1,49	0,10	0,02
45,14	0,56	2,92	0,76	0,16	0,17	0,20	0,01	0,00
2,75	20,51	3,32	2,30	7,59	7,20	5,06	0,18	0,05
2,51	0,99	36,68	1,18	0,41	0,90	0,48	0,03	0,01
3,32	1,67	4,33	53,57	0,80	1,34	1,12	0,14	0,05
0,40	2,31	0,37	0,40	30,05	0,82	0,64	0,09	0,02
0,02	0,50	0,55	0,03	0,53	14,15	1,29	0,09	0,03
1,44	8,26	1,89	0,75	2,11	12,98	35,81	0,21	0,07
7,74	12,69	11,42	9,05	6,96	8,63	12,12	61,03	11,70
19,37	17,48	12,95	18,00	19,09	17,77	20,07	37,30	87,84
100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

* EU: Unión Europea; RW: resto del mundo.

Fuente: elaboración propia.

Tabla A.9. Porcentaje de contaminación asociada a la demanda de cada región

Porcentaje contaminación	Andalucía	Aragón	Castilla La Mancha	Asturias	Baleares	Canarias	Cantabria	Castilla y León	Cataluña	Galicia
Región	51,9	47,2	46,8	51,2	36,2	50,4	28,7	55,3	30,3	46,2
Resto de España	29,8	31,0	33,7	27,7	41,6	24,1	50,7	28,3	31,9	23,7
EU	6,2	10,3	7,7	8,5	8,5	8,7	5,9	7,5	14,5	11,7
Resto del Mundo	12,1	11,5	11,8	12,6	13,8	16,8	14,8	8,9	23,2	18,3
EU+RM	18,4	21,9	19,5	21,1	22,2	25,5	20,6	16,4	37,8	30,0

La Rioja	Madrid	Navarra	País Vasco	Extremadura	Murcia, Ceuta y Melilla	Valencia
45,1	20,5	36,7	53,6	30,0	14,1	35,8
27,7	49,3	39,0	19,4	43,9	59,5	32,0
7,7	12,7	11,4	9,0	7,0	8,6	12,1
19,4	17,5	12,9	18,0	19,1	17,8	20,1
27,1	30,2	24,4	27,0	26,0	26,4	32,2

* EU: Unión Europea; RM: resto del mundo.

Fuente: elaboración propia.

Tabla A.10. Distribución de la contaminación directa (análisis por filas)

	Andalucía	Aragón	Castilla La Mancha	Asturias	Baleares	Canarias	Cantabria	Castilla y León	Cataluña	Galicia
Andalucía	53,2	0,4	0,6	0,3	1,0	0,8	0,1	0,4	3,4	0,6
Aragón	3,6	33,5	3,2	0,3	0,5	0,8	0,4	1,2	15,1	0,6
Castilla La Mancha	7,3	0,8	23,3	0,3	0,4	0,8	0,9	2,0	9,2	1,0
Asturias	4,1	0,7	0,9	38,4	0,7	0,6	2,6	3,0	3,1	5,0
Baleares	1,5	2,0	0,3	0,1	55,2	2,4	0,1	0,3	5,9	0,5
Canarias	3,9	0,1	0,2	0,1	0,4	83,8	0,1	0,1	1,0	0,2
Cantabria	4,6	0,7	0,7	1,4	0,5	0,6	28,2	4,3	5,6	1,5
Castilla y León	3,0	0,6	3,3	0,8	0,2	0,6	2,0	40,1	4,2	3,1
Cataluña	4,8	2,7	0,8	0,8	2,7	1,8	0,7	1,2	27,7	1,5
Galicia	3,6	0,7	0,7	2,2	0,6	1,3	0,6	3,0	4,5	39,5
La Rioja	1,8	1,5	0,7	0,9	0,3	0,9	0,6	5,4	4,1	1,6
Madrid	8,5	1,0	2,7	0,8	0,6	3,3	0,6	2,1	4,9	1,6
Navarra	4,7	3,1	0,8	0,4	1,9	0,9	2,2	1,8	10,9	0,7
País Vasco	1,5	0,4	0,4	0,5	0,3	0,4	1,1	1,5	2,6	0,8
Extremadura	11,1	1,4	1,1	0,2	0,3	0,7	0,3	1,5	2,6	0,5
Murcia, Ceuta y Melilla	4,5	0,1	0,5	0,0	2,3	0,4	0,0	0,2	2,6	0,1
Valencia	5,8	1,3	1,1	0,2	1,2	1,7	0,4	0,9	4,3	1,0

La Rioja	Madrid	Navarra	País Vasco	Extremadura	Murcia, Ceuta y Melilla	Valencia	EU	RW	TOTAL FILAS
0,0	5,3	0,3	0,8	2,4	3,7	2,3	15,8	8,6	100,0
1,2	11,1	1,9	1,5	0,4	1,3	3,5	11,5	8,3	100,0
0,1	21,4	0,5	0,8	2,4	4,4	3,7	12,5	8,3	100,0
0,2	6,8	0,4	2,0	0,5	1,1	2,3	14,5	13,1	100,0
0,1	6,8	0,1	0,3	0,2	2,0	1,9	11,8	8,6	100,0
0,0	1,5	0,1	1,5	0,1	0,2	0,6	2,9	3,1	100,0
0,2	13,8	0,7	5,9	0,5	1,0	2,6	14,4	12,9	100,0
0,3	13,6	0,7	4,2	1,8	1,3	2,5	10,5	7,0	100,0
0,3	11,5	1,0	2,1	0,6	1,8	3,0	18,7	16,4	100,0
0,1	8,1	0,6	2,3	0,7	1,4	1,8	16,8	11,4	100,0
38,0	9,9	4,6	6,1	0,4	0,6	1,4	12,9	8,4	100,0
0,2	34,9	0,5	1,8	1,8	2,6	3,3	16,1	12,6	100,0
1,1	8,9	29,4	4,8	0,5	1,8	1,6	14,4	10,2	100,0
0,3	3,6	0,8	51,6	0,2	0,6	0,9	15,4	17,0	100,0
0,1	12,9	0,2	1,0	22,8	1,0	1,3	26,5	14,4	100,0
0,0	3,2	0,3	0,1	0,5	19,9	3,2	30,7	31,5	100,0
0,1	14,5	0,3	0,6	0,5	4,9	23,8	19,5	17,9	100,0

* EU: Unión Europea; RW: resto del mundo.

Fuente: elaboración propia.

Tabla A.11. Destino de la contaminación (en porcentaje)

Porcentaje contaminación	Andalucía	Aragón	Castilla La Mancha	Asturias	Baleares	Canarias	Cantabria	Castilla y León	Cataluña
Termina en la propia región	53,2	33,5	23,3	38,4	55,2	83,8	28,2	40,1	27,7
Terminia en resto regiones España	22,4	46,7	55,9	34,0	24,4	10,2	44,5	42,5	37,1
En EU	7,3	6,5	10,2	9,5	5,5	1,2	8,6	6,8	18,9
En Resto del mundo	4,2	4,8	6,6	8,0	4,0	1,4	7,5	4,4	18,0

Galicia	La Rioja	Madrid	Navarra	País Vasco	Extremadura	Murcia, Ceuta y Melilla	Valencia
39,5	38,0	34,9	29,4	51,6	22,8	19,9	23,8
32,4	40,7	36,4	46,0	16,0	36,3	17,9	38,8
9,6	9,5	6,2	9,3	9,3	15,3	31,5	15,5
6,1	5,9	4,6	6,4	10,0	9,1	18,4	14,3

* EU: Unión Europea;

Fuente: elaboración propia.

Tabla A.12. Emisiones incorporadas en las exportaciones e importaciones, y balance comercial de emisiones (totales por región)

	Andalucía	Aragón	Castilla La Mancha	Asturias	Baleares	Canarias	Cantabria	Castilla y León	Cataluña	Galicia
EM EXP	21.762.468	11.063.732	15.541.090	4.951.664	2.073.910	1.693.302	3.125.840	12.726.519	40.110.715	12.022.458,43
EM IMP	22.761.381	7.363.218	6.416.765	3.171.025	4.255.894	7.260.199	3.068.807	7.964.943	36.836.319	9.790.023,16
TEB = REB	-998.912	3.700.515	9.124.325	1.780.639	-2.181.984	-5.566.897	57.033	4.761.576	3.274.396	2.232.435,28

	La Rioja	Madrid	Navarra	País Vasco	Extremadura	Murcia, Ceuta y Melilla	Valencia	EU	RW
EM EXP	1.997.710	23.334.218	5.446.114	13.639.873	7.559.788	9.896.852	23.962.029	1.094.320.771	1.198.014.060
EM IMP	1.571.640	43.026.681	4.399.458	12.832.827	5.507.025	12.865.699	14.880.679	1.204.996.705	1.094.273.827
TEB = REB	426.070	-19.692.462	1.046.656	807.046	2.052.762	-2.968.847	9.081.350	-110.675.934	103.740.233

* *EMEXP = emisiones incorporadas en exportaciones; EMIMP = emisiones incorporadas en importaciones; TEB = balance comercial de emisiones;*

REB=balance responsable de emisiones.

Fuente: elaboración propia

