

Luis Antonio López*
María Ángeles Cadarso*
Mateo Ortiz*

LA HUELLA DE CARBONO DEL COMERCIO INTERNACIONAL ESPAÑOL

El comercio internacional permite trasladar entre países el impacto ambiental asociado a la producción. En este artículo, se evalúa la huella de carbono del comercio internacional español entre 2000 y 2014 utilizando un modelo multirregional input-output. Aunque la economía española mantuvo una balanza de emisiones negativa en los 15 años analizados, a partir de 2007 la balanza se ha equilibrado por la disminución continua de las emisiones importadas. Los resultados reflejan un desacoplamiento favorable entre el valor monetario y la huella de carbono de las exportaciones e importaciones.

The Carbon footprint of the Spanish international trade

International trade allows to shift from one country to another the environmental impact of production. In this article, we examine the carbon footprint of the Spanish international trade between 2000 and 2014 using a multiregional input-output model. Although the Spanish economy maintained a negative emissions balance over the 15 years analysed, from 2007 onwards the negative balance has been partially neutralized by a continuous decrease in imported trade. The results reflect a favourable decoupling between the monetary value and the carbon footprint of exports and imports.

Palabras clave: emisiones en el comercio internacional, balanza de emisiones, huella de carbono, modelo input-output multirregional, fugas de carbono.

Keywords: emissions in international trade, emissions balance, carbon footprint, multiregional input-output model, carbon leakages.

JEL: F18, F64, Q50, Q58.

1. Introducción

El comercio internacional es un factor clave en la mejora en la eficiencia y la productividad del sistema productivo y, con ello, en el desarrollo económico de un país. A través de las importaciones de bienes

intermedios y de capital las empresas son capaces de adoptar la tecnología más novedosa existente en los distintos sectores de la economía mundial. Las exportaciones de un país permiten a sus empresas aprovecharse de las economías de escala que implica producir en un mercado globalizado. Al mismo tiempo, la complejidad de las exportaciones se ha demostrado también como un índice que explica las ganancias de bienestar de los países al mostrar dicha complejidad su capacidad de competir en los mercados internacionales (Hidalgo y Hausmann, 2009). Sin embargo, el comercio

* Global Energy and Environmental Economics Research Group (GE³AR). Faculty of Economics and Business, University of Castilla-La Mancha, Albacete.

Versión de febrero de 2020.

DOI: <https://doi.org/10.32796/ice.2020.913.6990>

internacional también permite trasladar entre países la carga o impacto ambiental asociado a una actividad económica, en la medida que los posibles efectos ambientales negativos se producen en el país que extrae el recurso o produce la mercancía y no donde esta mercancía es consumida (Cadarsó, Monsalve, y Arce, 2018). Como consecuencia se puede estar produciendo un intercambio ecológico desigual (Zhang *et al.*, 2018) y se amenaza el cumplimiento de los objetivos de mitigación a nivel global (Kanemoto *et al.*, 2014).

La globalización y, en concreto, la fragmentación internacional de la producción ha tenido unos efectos positivos sobre el crecimiento de la productividad (Gandoy y Díaz-Mora, 2017) y sobre el bienestar de sus habitantes (Requena, 2017), aunque estos pueden ser desiguales entre países (Minondo, 2017). En términos ambientales, los impactos asociados al comercio mundial son también cada vez más significativos. Las empresas han fragmentado su producción en distintas fases y las han localizado en aquellos países que disponen de unos menores costes, en muchos casos salariales, pero también energéticos y, con ello, más intensivos en emisiones de carbono. El resultado ha sido, por un lado, que más emisiones están incorporadas en el comercio internacional, produciéndose una fuga de emisiones de los países más avanzados a los países en desarrollo (Peters, Davis, y Andrew, 2012). Por otro lado, dicho comercio ha supuesto un crecimiento de las emisiones globales al especializarse ciertos países intensivos en carbono en la producción de bienes muy contaminantes. Esto es, por ejemplo, lo que sucede para el comercio entre España con China, ya que China se ha convertido en un refugio de emisiones de la economía española (López, Arce, y Zafrilla, 2013).

El concepto de huella, ya sea en términos ambientales o sociales (Wiedmann y Lenzen, 2018), se ha convertido en una de las medidas de referencia a la hora de cuantificar el impacto total que en términos ambientales genera una actividad económica. En concreto, la huella de carbono cuantifica las emisiones de CO₂ totales, directas e indirectas, necesarias para

satisfacer la demanda final de una economía (desde un país, a una región o una ciudad). Por tanto, la huella de carbono, también conocida como contabilidad basada en el consumo y que responde a un criterio de asignación de responsabilidad basado en el consumo (Afionis *et al.*, 2017; Peters, 2008), incorpora expresamente las emisiones asociadas a las importaciones finales e intermedias que hace un país. Frente a este concepto, el criterio de responsabilidad del productor solo cuantifica las emisiones de CO₂ que se producen dentro del territorio de un país o emisiones domésticas, independientemente de que los bienes y servicios producidos se consuman en dicha economía o sean exportados. Por tanto, el criterio del consumidor o huella de carbono amplía la soberanía del país (Arce *et al.*, 2017), región (Ottelin *et al.*, 2019) o ciudad (Mi *et al.*, 2016; Moran *et al.*, 2018) con relación al criterio del productor, ya que, al incorporar las emisiones asociadas a toda la cadena global de la producción impide que se diluya la responsabilidad.

El carbono incorporado en el comercio internacional también puede interferir en los objetivos y políticas de mitigación del cambio climático adoptados por los distintos países, como son los que se derivan del Protocolo de Kioto o, más recientemente, del Acuerdo de París. La razón es que los compromisos de mitigación que toman los países se refieren a las emisiones que se producen dentro de su territorio y, por tanto, los países podrían cumplir con sus objetivos de mitigación si trasladan las actividades más contaminantes a otras regiones de la economía mundial. En concreto, la Unión Europea (UE) es la única región del planeta cuyos objetivos de reducción de gases efecto invernadero (GEI) dentro de su territorio, de un 58 % para 2030, serían suficientes para mantener los incrementos de la temperatura por debajo de un 1,5°C que es el compromiso adquirido en el Acuerdo de París (Watson *et al.*, 2019). Sin embargo, conforme se reducen las emisiones domésticas, más relevancia adquieren las emisiones incorporadas en las importaciones y, por tanto, en la huella

de carbono, como está ocurriendo en la UE (Wood *et al.*, 2019). En consecuencia, es necesario estudiar las emisiones incorporadas en el comercio internacional de tal forma que su análisis sirva de base para establecer medidas de mitigación que incorporen progresivamente las fugas de carbono que sufren los países ricos y que permitan aumentar la ambición en los objetivos y políticas posibilitando que la economía mundial pueda alinearse en la senda marcada por los Acuerdos de París. Además, también el comercio internacional y la relocalización de la producción en las cadenas globales de la producción puede perjudicar el necesario desacoplamiento entre crecimiento de la producción y los impactos negativos sobre el medio ambiente (Sanyé-Mengual *et al.*, 2019) u otros en el ámbito social (García-Alaminos *et al.*, 2020) que reclama una transición ecológica justa y sostenible.

En el contexto descrito el principal objetivo de este artículo es el de evaluar la huella de carbono del comercio internacional de la economía española y su evolución entre 2000 y 2014, utilizando un modelo *input-output* multirregional con extensión medioambiental (MRIO, por sus siglas en inglés). Las tablas *input-output* han devenido en una herramienta indispensable para el análisis del impacto de la globalización y el comercio internacional, en un contexto mundial en el que la deslocalización implica cada vez más comercio de bienes intermedios y crecen y aumentan su complejidad las cadenas globales de la producción (Johnson y Noguera, 2012). Los modelos MRIO con extensión medioambiental permiten cuantificar el impacto en el medioambiente incluyendo el conjunto de estas cadenas globales y la participación en ellas de cada país y cada sector. A partir de ahí, se calcula la balanza de emisiones de la economía española, como diferencia entre las emisiones incorporadas en las exportaciones menos las emisiones contenidas en las importaciones. La posición relativa de cada país en relación con sus socios comerciales puede proporcionar elementos clave para la lucha contra el cambio climático (Sanz, Yñiguez, y Rueda-Cantucho, 2016).

2. Cálculo de las emisiones contenidas en el comercio internacional

Modelo *input-output* multirregional (MRIO) ampliado

El modelo básico que se va a utilizar es un modelo MRIO con extensión medioambiental. El marco metodológico del modelo MRIO puede verse con más detalle en Miller y Blair (2009) y está siendo ampliamente utilizado en la literatura para el cálculo de impactos ambientales y sociales incluyendo todas las cadenas globales de la producción y el comercio internacional —véase, por ejemplo, Alsamawi *et al.*, 2017; Meng *et al.*, 2018; Peters, Davis, y Andrew (2012); Simas, Wood, y Hertwich (2014); Tukker *et al.* (2016); Wiedmann (2016); Wiedmann y Lenzen (2018)—.

En un modelo MRIO, las regiones y/o países se incluyen considerando su propia tecnología de producción y el comercio se divide entre intermedio y final especificando el origen y destino (sectorial y de país) de cada mercancía comerciada. La ecuación básica del modelo *input-output* puede expresarse de la forma siguiente:

$$x = Ax + y \tag{1}$$

donde x hace referencia a la producción total de la economía, A es la matriz de coeficientes técnicos (cantidad de *input* necesaria por unidad de producción) y, finalmente, y hace referencia a la demanda final de la economía (consumo de las familias, de las AA PP, inversión y variación de existencias y exportaciones finales). En forma matricial y generalizando para m regiones, la Ecuación [1] quedaría como sigue:

$$\begin{pmatrix} x^1 \\ x^2 \\ x^3 \\ \vdots \\ x^m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A^{11} & A^{12} & A^{13} & \dots & A^{1m} \\ A^{21} & A^{22} & A^{23} & \dots & A^{2m} \\ A^{31} & A^{32} & A^{33} & \dots & A^{3m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A^1 & A^2 & A^3 & \dots & A^{mm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x^1 \\ x^2 \\ x^3 \\ \vdots \\ x^m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} y^1 \\ y^2 \\ y^3 \\ \vdots \\ y^m \end{pmatrix} \tag{2}$$

Resolviendo la Ecuación [2] usando la matriz inversa de Leontief $[L=(I-A)^{-1}]$ y considerando la demanda final exógena se obtiene la Ecuación [3]:

$$x=(I-A)^{-1}y \quad [3]$$

El modelo puede ser ampliado para considerar las emisiones de carbono que se producen por unidad de producción en cada sector en cada país (coeficiente de emisiones), que recogerá el vector f .

$$F=\hat{f}(I-A)^{-1}\hat{y}=P\hat{y} \quad [4]$$

donde $P=\hat{f}(I-A)^{-1}$ es el multiplicador de emisiones, que mide el impacto sobre las emisiones de carbono de cada sector, en cada región/país, por unidad de producción realizada que pueda ir destinada a satisfacer la demanda final y donde ambos, demanda final \hat{y} y factor de impacto \hat{f} , están diagonalizados (en el caso de la demanda final por tramos, doméstica, en la diagonal principal y exportaciones —importaciones— en posiciones diagonales secundarias) para poder obtener los multiplicadores y los resultados en forma matricial. Esta última circunstancia proporciona más riqueza de resultados y permite más profundidad en el análisis sin necesidad de información estadística adicional (Cadarsó *et al.*, 2012; Wiedmann, Chen, y Barrett, 2016).

La submatriz P^{rs} del multiplicador P en la Ecuación [4] muestra el impacto total sobre las emisiones que tiene lugar en el país r al atender una unidad de demanda final del país s . Examinando la matriz F de la Ecuación [4] por filas, obtenemos la distribución del impacto que tiene lugar en un sector de un país causado por todos los países y todos los sectores. La suma de cada fila de F muestra el impacto total dentro del territorio, doméstico, del país r que produce la mercancía correspondiente a cada fila ($f^r=\sum_s F^{rs}$) o el impacto del país productor. Estos resultados son consistentes con los datos procedentes de las estadísticas oficiales de referencia en cada caso. En cambio, cuando se observa la matriz F

por columnas, se obtiene el impacto en todo el mundo, en cada país y en cada sector, asociado a la producción necesaria para atender una determinada demanda final de una mercancía en un país. Con la suma de cada columna, se obtiene una «integración vertical por países» que proporciona los impactos en emisiones generados por una demanda final particular (de cada sector de cada país r) ($fV^s=\sum_r F^{rs}$). Esta última medida se centra, por tanto, en el consumo más que en la producción, por lo que proporciona la huella de carbono o la responsabilidad del consumidor y mide la cantidad total, directa e indirecta, en todo el mundo a lo largo de la cadena global de la producción, del impacto sobre las emisiones asociado a la demanda final de los agentes de un país (consumo de familias y AA PP e inversión de empresas). En este caso de la huella de carbono, la cantidad de emisiones asociadas a un producto final incluye, por tanto, todas las emisiones asociadas a las importaciones necesarias directa e indirectamente para la producción, independientemente de donde se hayan producido.

Además, también es posible separar por un lado la demanda final doméstica (la que atiende la demanda final de los agentes domésticos), y^{rr} , del resto de demanda final (exportaciones), y^{rs} , con el objetivo de analizar de manera más profunda las cadenas globales de la producción y el impacto del comercio internacional, exportaciones e importaciones en la huella de carbono de cada país y sector. Esto es lo que muestra la Ecuación [5] para el caso de 2 regiones, por simplicidad en la exposición:

$$\begin{pmatrix} F^{11} & F^{12} \\ F^{21} & F^{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P^{11} & P^{12} \\ P^{21} & P^{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y^{11} & 0 \\ 0 & y^{22} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} P^{11} & P^{12} \\ P^{21} & P^{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & y^{12} \\ y^{21} & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P^{11} y^{11} & P^{12} y^{22} \\ P^{21} y^{11} & P^{22} y^{22} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} P^{12} y^{21} & P^{11} y^{12} \\ P^{22} y^{21} & P^{21} y^{12} \end{pmatrix} \quad [5]$$

(5a)
(5b)

donde, como puede observarse, los elementos y^{rr} que constituyen la demanda final doméstica se sitúan en la

diagonal principal, mientras que los elementos y^{rs} que constituyen las exportaciones (importaciones) se posicionan diagonalizados fuera de la diagonal principal. La matriz (5a) muestra las emisiones asociadas a la demanda final doméstica del país 1 (primera columna) y del país 2 (segunda columna). La segunda matriz (5b) muestra las emisiones asociadas a la demanda final importada por el país 1 (primera columna) y por el país 2 (segunda columna). De esta forma, es posible distinguir entre las cadenas globales asociadas a la demanda final doméstica o del resto del mundo y entre los impactos (domésticos y foráneos) asociados a cada una de ellas. Hay que señalar que las emisiones incorporadas en las mercancías intermedias importadas (exportadas) que se reexportan (reimportan), $P^{21} \hat{y}^{12}$ ($P^{12} \hat{y}^{21}$), se incluyen en F^{21} (F^{21}), formando parte de la huella del país 2 [1] a la vez que de sus emisiones territoriales o domésticas.

Balanza de emisiones

De forma análoga a la balanza de bienes y servicios, se puede calcular la Balanza de Emisiones (BE) como la diferencia entre las emisiones contenidas en las exportaciones y las emisiones contenidas en las importaciones de un país (Edens *et al.*, 2011). Vamos a verlo, por simplicidad, para dos países y dos sectores. Las matrices de la Ecuación [5] proporcionan toda la información necesaria para analizar el comercio virtual de emisiones y las balanzas de emisiones. Las emisiones contenidas en las exportaciones (EIE) y en las importaciones (EII) se obtienen, por ejemplo, para el país 1 a partir de las Ecuaciones [6] y [7]:

$$EIE^1 = P^{11} \hat{y}^{12} + P^{12} \hat{y}^{22} = F^{12} \quad [6]$$

$$EII^1 = P^{22} \hat{y}^{21} + P^{21} \hat{y}^{11} = F^{21} \quad [7]$$

donde no se incluyen las emisiones incorporadas en las mercancías intermedias importadas (exportadas) que se reexportan (reimportan), para evitar

doble contabilización. A partir de ahí, la Balanza de Emisiones (BE) se define como la diferencia entre las emisiones contenidas en las exportaciones menos las emisiones contenidas en las importaciones, siguiendo con el ejemplo del país 1, esta diferencia se puede expresar como en la Ecuación [8]:

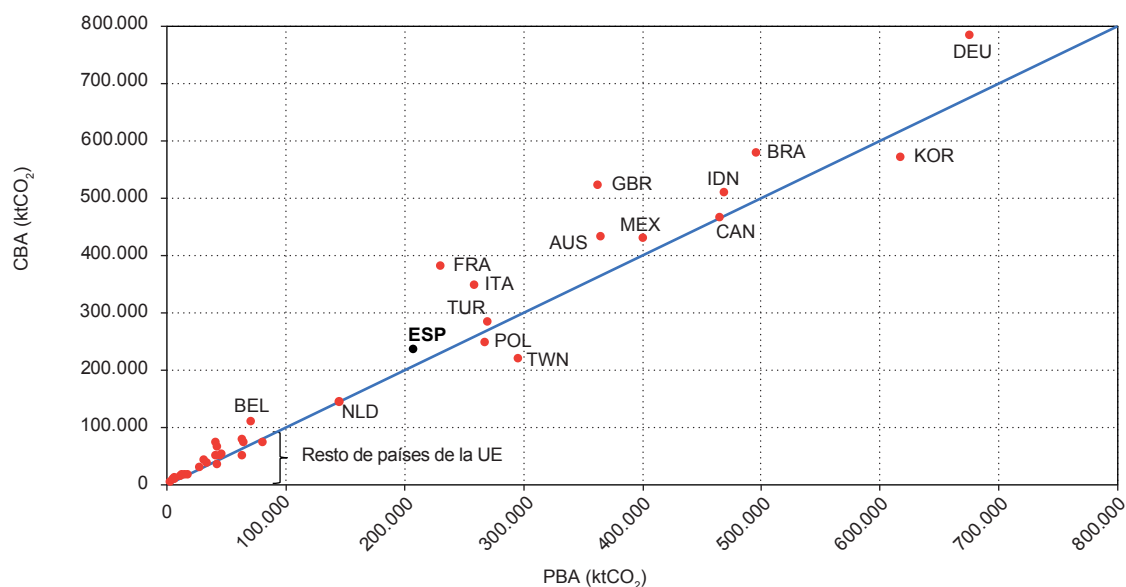
$$\begin{aligned} BE^1 &= EIE^1 - EII^1 = P^{11} \hat{y}^{12} + P^{12} \hat{y}^{22} - P^{22} \hat{y}^{21} \\ &\quad - P^{21} \hat{y}^{11} = F^{12} - F^{21} \end{aligned} \quad [8]$$

Un signo positivo de dicha balanza muestra que el país analizado exporta más carbono que el que importa y, con ello, se convierte en un emisor de carbono para sus socios comerciales y, además, está contaminando por cuenta de ellos. Por el contrario, un signo negativo indicaría que el país importa más emisiones que exporta y, por tanto, a través del comercio internacional estaría trasladando a otros países parte de los impactos negativos de su actividad económica y de su estilo de vida.

Datos

Para la aplicación del modelo MRIO utilizamos los datos proporcionados por la *World Input-Output Database* (WIOD) en su versión de 2016 (Timmer *et al.*, 2015; Timmer *et al.*, 2016). Esta base de datos ofrece tablas *input-output* multirregionales para 15 años, desde 2000 hasta 2014, con información desagregada a 56 sectores y 44 regiones (28 miembros de la UE más otros 15 países con economías influyentes y un agregado del resto del mundo, RoW). WIOD también proporciona los datos de las emisiones de CO₂ generadas en la producción, siguiendo la misma clasificación sectorial y geográfica de las tablas *input-output*. Las variables monetarias de WIOD vienen expresadas en millones de dólares (millones US\$) y las emisiones en kilotoneladas de CO₂ (ktCO₂), por lo que los resultados de este trabajo se presentan bajo las mismas unidades de medida. Todos los cálculos realizados en el presente estudio se hicieron manteniendo la

GRÁFICO 1
COMPARATIVA DEL PBA Y CBA ENTRE PAÍSES, 2014
(En ktCO₂)



NOTA: En el Gráfico 1 se han excluido las emisiones de Japón, Rusia, India, China, Estados Unidos y Resto del Mundo.
FUENTE: Elaboración propia.

desagregación sectorial y regional de WIOD (56 sectores y 44 regiones); sin embargo, los resultados se agregaron a 15 sectores y 9 regiones para poder presentarlos de forma compacta y comprensible. Las correspondencias entre las dos clasificaciones se encuentran en el Anexo I.

3. Principales resultados

Las emisiones de la economía española y su comercio exterior en el contexto internacional

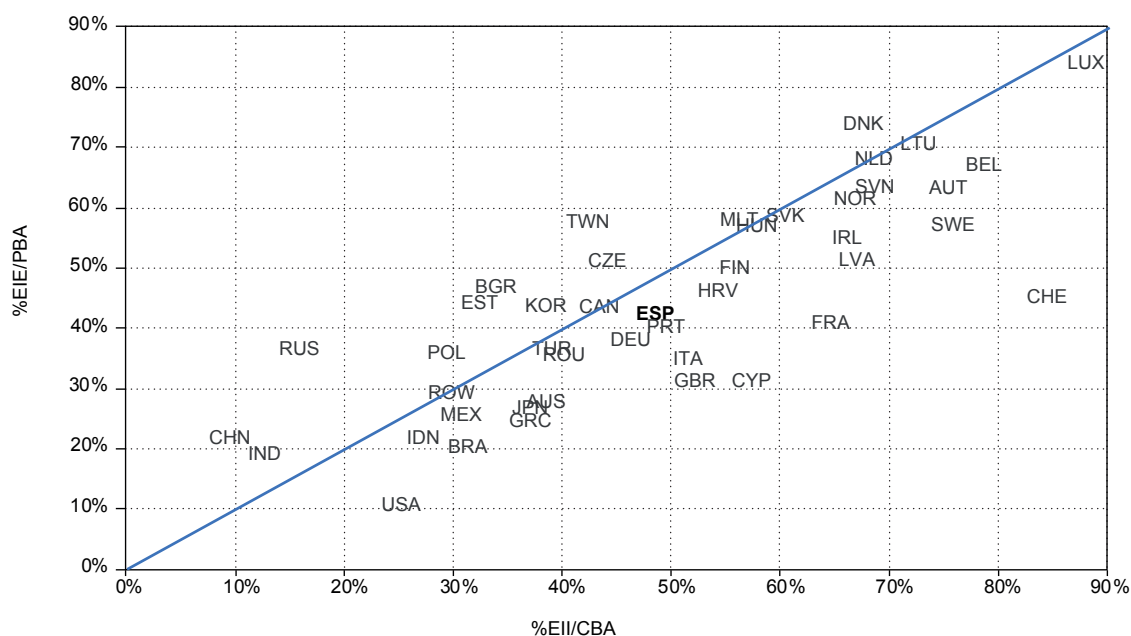
El estudio en profundidad de las emisiones de CO₂ generadas por la economía española y su comercio internacional exige analizar las emisiones a través de dos mediciones distintas, a saber: las emisiones basadas en la producción —emisiones generadas

directamente dentro del territorio nacional (también llamadas emisiones territoriales o domésticas)— y las emisiones basadas en el consumo o huella de carbono —emisiones directas e indirectas incorporadas en los productos finales consumidos por los agentes de la demanda final española (hogares, inversión y AA PP).

En 2014, España ocupó el puesto 20 y 19 a nivel mundial en lo que se refiere a las emisiones de carbono dentro de su territorio (las que están sujetas a los objetivos de reducción de emisiones según los compromisos adquiridos en los Acuerdos de París), y en términos de huella, respectivamente (PBA y CBA, por sus siglas en inglés) (Gráfico 1). Además, sus emisiones territoriales son similares a las de países de nuestro entorno como Francia e Italia y, como en ellos, estas son inferiores a sus emisiones como consumidor (su huella de carbono), motivo por el que aparecen por

GRÁFICO 2

PARTICIPACIÓN PORCENTUAL DE LAS EIE Y EII EN EL RESPECTIVO PBA Y CBA DE CADA PAÍS, 2014
(En %)



FUENTE: Elaboración propia.

encima de la bisectriz del Gráfico 1, aunque en el caso de la economía española la diferencia entre ambas es mucho menor. Al igual que España, Francia e Italia, todos los países situados por encima de esa línea presentarían una responsabilidad sobre las emisiones de carbono mayor como consumidores que como productores, indicando al mismo tiempo que las emisiones contenidas en sus importaciones son mayores que las emisiones contenidas en sus exportaciones. Este suele ser el caso de una economía con un nivel de desarrollo medio-alto y con una economía comparativamente más descarbonizada que sus socios comerciales. En la situación contraria, cerca de la posición española y en el entorno europeo se encontraría Polonia, por ejemplo, con una responsabilidad inferior como consumidor que como productor y, en general, países con orientación exportadora, menor nivel de desarrollo y

economías más contaminantes, en donde la localización de actividades contaminantes puede haber sido resultado de fugas de carbono (Peters y Hertwich, 2008). Esa diferente responsabilidad como consumidor y productor hace que España descienda un puesto a nivel mundial en cuanto a emisiones contenidas en sus exportaciones (puesto 21), mientras que escala algunos puestos cuando consideramos las emisiones incorporadas en sus importaciones (puesto 17).

Estos puestos en la mitad de la tabla (de 44 países, incluyendo la región del resto del mundo) se mantienen, aunque algo más bajos, también en relación con la proporción que suponen las emisiones incorporadas en las importaciones (EII) sobre la huella de carbono (Gráfico 2, puesto 22) y en la proporción de las emisiones contenidas en las exportaciones (EIE) sobre el total de emisiones generadas dentro del territorio

español (Gráfico 2, puesto 24) en este mismo año 2014. En el primer caso, España tiene niveles similares a los de Alemania y Portugal, y también como en estos dos países (entre otros) el peso de las emisiones incorporadas en las importaciones en la huella de España es mayor que el de las emisiones incorporadas en las exportaciones en las emisiones territoriales y, por ello, se encuentra por debajo de la bisectriz del Gráfico 2. En términos de EIE, los países más similares son Canadá y Francia. Tanto el grado de apertura de la economía, como el tamaño del mercado doméstico, junto con la intensidad de las emisiones domésticas y de los socios comerciales, explicarían esas posiciones. Los dos primeros factores explicarían las participaciones extremas de Luxemburgo (en la parte alta del gráfico), Estados Unidos, China e India (en la parte baja). Mientras que el hecho de que China e India se sitúen por encima de la bisectriz indica un patrón de emisiones doméstico más contaminante que el de los países de los que importan.

Responsabilidad del productor versus huella de carbono de la economía española

Centrando nuestra atención en España y la evolución de sus emisiones en el período 2000-2014, el Gráfico 3 muestra la evolución de las emisiones basadas en la producción y en el consumo de la economía española para ese período. Las emisiones territoriales crecen de forma acelerada entre el año 2000 y 2007 a una tasa del 17,5 % y, a partir de ese año, el impacto de la crisis financiera y económica da lugar a una reducción de la producción y, con ello, de las emisiones de carbono producidas dentro del territorio español de un 25 % hasta 2014. Las emisiones pasan de 263.000 ktCO₂ en el año 2000, a un máximo de 310.000 ktCO₂ en 2007. En los años posteriores, durante el período 2008-2014, las emisiones territoriales caen profundamente hasta llegar a su punto mínimo dentro de los 15 años analizados en 2013. Finalmente, muestran una ligera recuperación alcanzando las

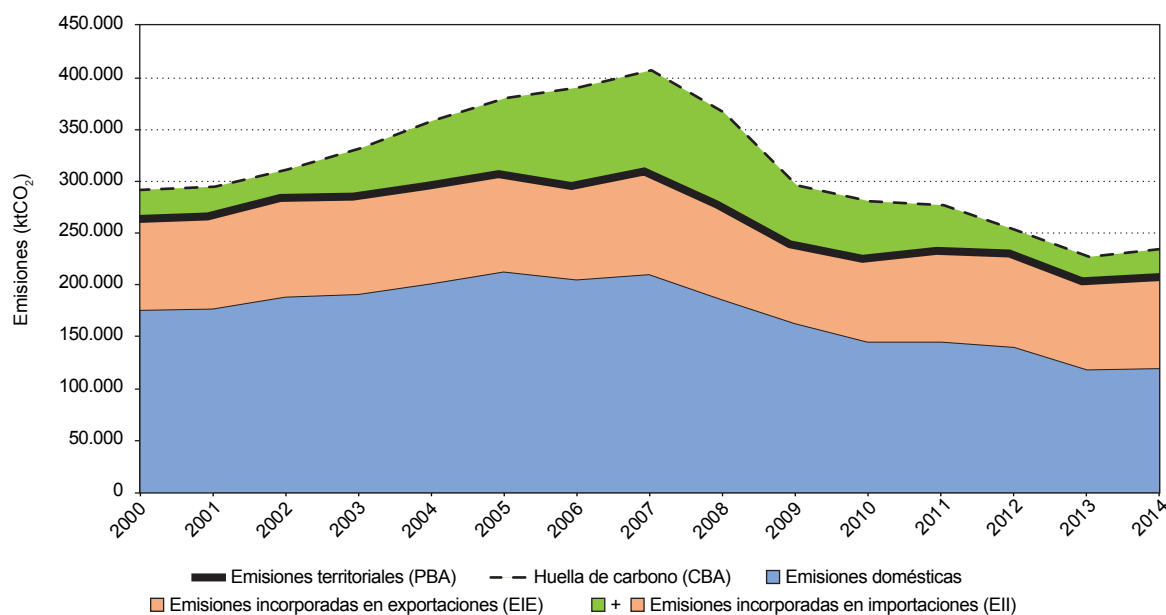
207.000 ktCO₂ en 2014, año en el que el PIB de la economía española volvió a la senda de crecimiento positivo después de cinco años de recesión.

La huella de carbono de la economía española es superior a las emisiones territoriales para todo el período considerado. Aunque con variaciones mucho más acentuadas, la huella muestra un comportamiento similar al de las emisiones territoriales y también experimentó un punto de inflexión en el año 2007. En el período 2000-2007, las emisiones asociadas al consumo pasaron de 293.000 a 407.000 ktCO₂ (con un crecimiento del 39 %, superior al de las emisiones dentro del territorio español), expandiendo la brecha entre la huella y las emisiones territoriales y superando a estas últimas en casi 100.000 ktCO₂ (un 24 %). Este superior crecimiento de la huella de carbono al de las emisiones dentro del territorio es debido principalmente al crecimiento de las emisiones contenidas en las importaciones y es un hecho que se repite para la mayoría de los países desarrollados en este período (Peters *et al.*, 2011), poniendo en riesgo el cumplimiento de los objetivos que se firmaron en el Protocolo de Kyoto para el período 2008-2012 (Kanemoto *et al.*, 2014). Este crecimiento pronunciado fue sucedido por una drástica y continua caída (del 35,8 % hasta 2014) que redujo la huella de carbono española hasta 228.000 ktCO₂ en 2013, lo cual contrajo la brecha entre las dos medidas de emisiones. Tal fue el tamaño de la caída (la huella cae casi 11 puntos porcentuales más que las emisiones territoriales) que la balanza de emisiones, calculada como $PBA - CBA$, pasó de -98.000 ktCO₂ en 2007 a -28.000 ktCO₂ en 2014.

La balanza de emisiones resulta útil para captar las emisiones contenidas en los intrincados flujos de bienes y servicios que se dan en las cadenas globales de la producción, y clasificar a los países como productores o consumidores netos de emisiones. Un país i será productor neto de emisiones si su balanza es positiva, es decir, si $PBA_i > CBA_i$, mientras que cuando su balanza es negativa, $PBA_i < CBA_i$, se considera como consumidor neto de emisiones. A nivel agregado para

GRÁFICO 3

EMISIONES DENTRO DEL TERRITORIO Y HUELLA DE CARBONO DE LA ECONOMÍA ESPAÑOLA Y SU COMERCIO INTERNACIONAL, 2000-2014
(En ktCO₂)



FUENTE: Elaboración propia.

un país, la balanza de emisiones también se puede obtener calculando la diferencia entre las emisiones incorporadas en las exportaciones (EIE) y las emisiones incorporadas en las importaciones (EII). Si $EIE_i > EII_i$, la balanza del país i será positiva, mientras que cuando $EIE_i < EII_i$, la balanza de i será negativa.

El Gráfico 3 nos muestra la evolución de las EIE y las EII de España durante el período analizado. En el período precrisis, ambas aumentan, aunque a ritmos muy distintos: 12,7 % las EIE y un 68,8 % las EII. En el segundo subperíodo 2008-2014, el análisis de estas dos variables nos permite identificar que la contracción de la balanza de emisiones (en valor absoluto) se debe principalmente a la reducción de las EII (que caen en un 36 %), pues las EIE se han mantenido más o menos constantes (con una caída leve del 3,8 %), de hecho, se puede observar que el grosor

del área naranja prácticamente no varía durante todo el período 2000-2014 (salvo una leve reducción entre 2009-2010). Mientras que la reducción de la huella de carbono entre 2008-2014 se debe a una caída simultánea de las EII y de las emisiones incorporadas en la demanda final doméstica, la disminución de las emisiones territoriales de España se explica casi en su totalidad por la caída en las emisiones destinadas a satisfacer la demanda final doméstica y no a una reducción de las EIE.

La caída de las emisiones domésticas y de las EII a partir de 2008 se explica en mayor medida por la contracción de la demanda española como consecuencia de la crisis. La caída del PIB y el importante aumento del desempleo en la economía española durante esos años dan lugar a una reducción de la demanda final doméstica y, con ello, una menor huella de carbono.

En este contexto, las empresas orientan de forma más intensiva su producción a los mercados exteriores y, por ello, las emisiones incorporadas en las exportaciones prácticamente se mantienen. Sin embargo, en esos años también se produce un cambio estructural que reduce el peso de sectores muy contaminantes sobre las importaciones y la demanda doméstica (como la construcción, por ejemplo) y por la progresiva implementación de las políticas de mitigación adoptadas por la UE y por las instituciones españolas (Zafrilla *et al.*, 2012). Políticas que van desde el fomento de energías renovables —su participación en el mix eléctrico pasó del 19,4 % en 2006 al 42,8 % en 2014 (REE, 2016)—, a la progresiva consolidación del mercado de derechos de emisiones europeo o el establecimiento de unos estándares de contaminación más estrictos para los vehículos.

Emisiones de carbono incorporadas en las exportaciones e importaciones españolas

Para evaluar los efectos de estos cambios coyunturales sobre las emisiones asociadas al comercio internacional de la economía española, es imprescindible analizar la evolución general de la economía y particularmente, la reestructuración sectorial de las importaciones y las exportaciones. Esta información es presentada en el Gráfico 4, en donde podemos ver los cambios en el valor y la composición sectorial de las exportaciones (panel a) e importaciones (panel b) de la economía española a lo largo del período 2000-2014. Lo primero que se destaca es la evolución de las exportaciones e importaciones totales (línea punteada y línea continua, respectivamente), cuya diferencia nos permite deducir que la balanza de bienes y servicios fue negativa durante 2000-2011. A partir de 2012 el valor de las exportaciones supera al de las importaciones y la balanza empieza a arrojar un saldo positivo que crece gradualmente hasta 2014. Según datos del INE, actualizados hasta 2018, la balanza de bienes y

servicios española ha conservado su saldo positivo¹. El crecimiento sobresaliente de las exportaciones en el período 2009-2014 contrasta con el comportamiento decreciente de las emisiones territoriales y el comportamiento estable de las EIE, lo cual indica que en estos años ha habido un desacoplamiento entre el volumen del comercio exterior y el volumen de las emisiones generadas por este.

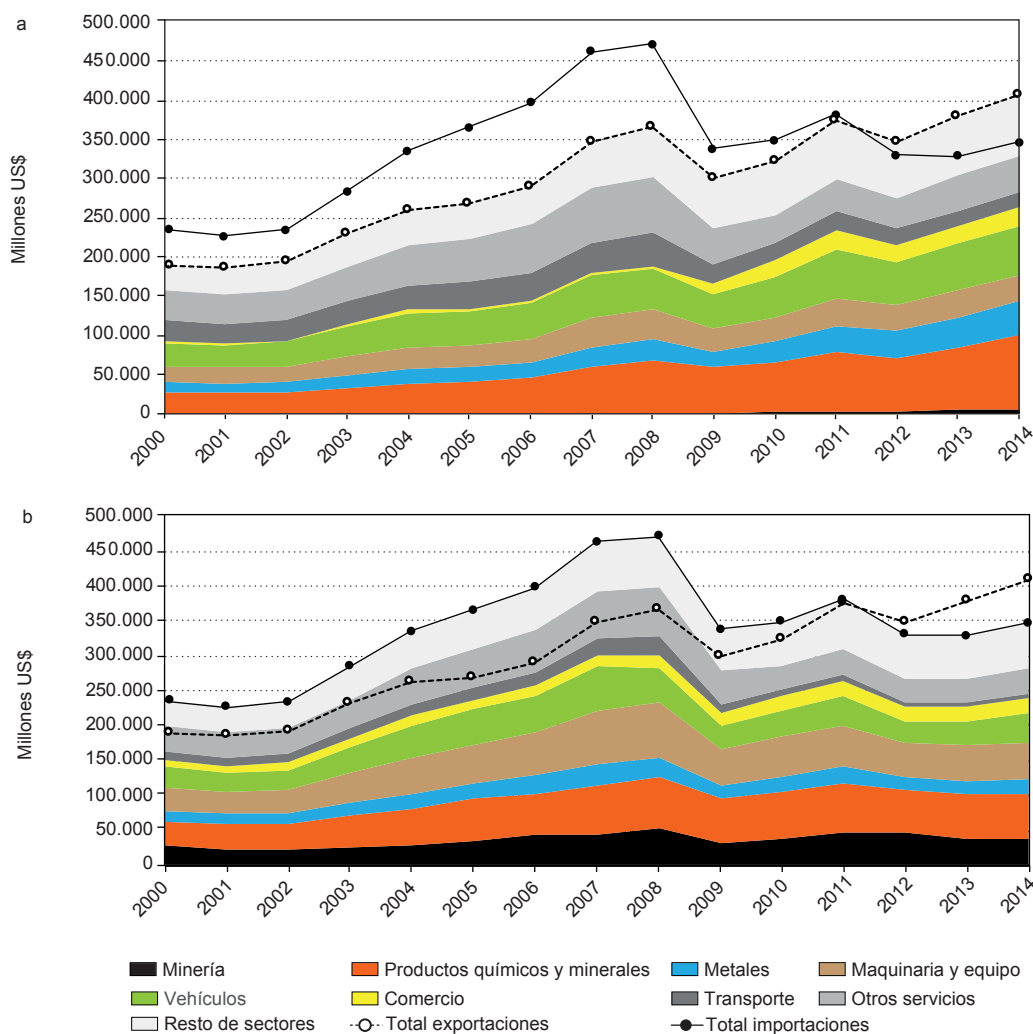
Los efectos de la crisis impactaron a las importaciones con mayor fuerza que a las exportaciones. En 2009 las importaciones disminuyeron un 28 %, pasaron de US\$472.000 millones a US\$339.000 millones, y hasta 2014 no mostraron recuperación alguna, pues su tasa de crecimiento promedio entre 2010-2014 fue de 0,08 %. Por su parte, la caída de las exportaciones en el 2009 fue menor, 18 %, y su tasa de crecimiento promedio en 2010-2014 fue del 6,6 %, lo cual propició la transición de una balanza negativa a una positiva. El incremento de las exportaciones se debe principalmente al aumento en las exportaciones de cuatro tipos de productos: productos químicos y minerales, metales, vehículos y comercio, cuyos valores en 2014 superan a los del 2009 en un 60, 107, 44, y 108 %, respectivamente. Los productos químicos y minerales y el comercio destacan además por haber aumentado considerablemente su peso en las exportaciones totales, ya que su participación porcentual promedio en el período precrisis fue de 15,1 y 1,1 %, respectivamente, y durante el período poscrisis ascendió al 20,4 y 6,1 %. Por otro lado, dentro de los sectores que vieron mermada su participación promedio en las exportaciones se destacan el transporte y otros servicios, pasando de 12,4 y 20,1 % en precrisis a 6,1 y 12,2 % en la etapa poscrisis.

En el caso de las importaciones, las variaciones en la composición sectorial han sido muy sutiles puesto que todos los sectores han fluctuado bajo una sincronía casi

¹ El Gráfico 3 solo ofrece información hasta 2014, porque los datos son extraídos de las tablas *input-output* con el fin de mantener la clasificación sectorial y las magnitudes consistentes con los demás resultados.

GRÁFICO 4

COMPOSICIÓN SECTORIAL DE LAS EXPORTACIONES E IMPORTACIONES ESPAÑOLAS, 2000-2014
(En millones de dólares)



NOTA: El Gráfico 4 muestra el comportamiento de 8 sectores seleccionados por su influencia en la composición sectorial de las exportaciones (Panel a) e importaciones (Panel b) españolas. Los demás sectores de la economía fueron agregados en la categoría «Resto de sectores».

FUENTE: WIOD.

perfecta. Sin embargo, podemos destacar cuatro sectores cuya participación sí cambió significativamente con respecto a sus niveles precrisis. Los sectores que redujeron su peso fueron vehículos, transporte y otros servicios, cuyas participaciones en las importaciones en el período precrisis tuvieron un valor promedio de

12,8, 5,1 y 14,9 %, respectivamente, pero en la etapa poscrisis ese valor se redujo a 10,7, 2,6 y 10,6 %. Por otro lado, los productos químicos y minerales aumentaron su participación promedio en las importaciones, pasando del 15,5 % en la etapa precrisis al 18,9 % en la poscrisis.

Esta reestructuración sectorial de la balanza de bienes y servicios nos deja algunos hallazgos importantes en términos de emisiones de CO₂, principalmente en lo que se refiere a los sectores del transporte y los productos químicos y minerales, dos sectores altamente contaminantes que concentran el 22 y 25 % de las emisiones territoriales de España, respectivamente. Por lo tanto, la contracción de las exportaciones del transporte contribuye a reducir las emisiones EIE; en cambio, el aumento de las exportaciones del sector de productos químicos y minerales las estaría presionando al alza.

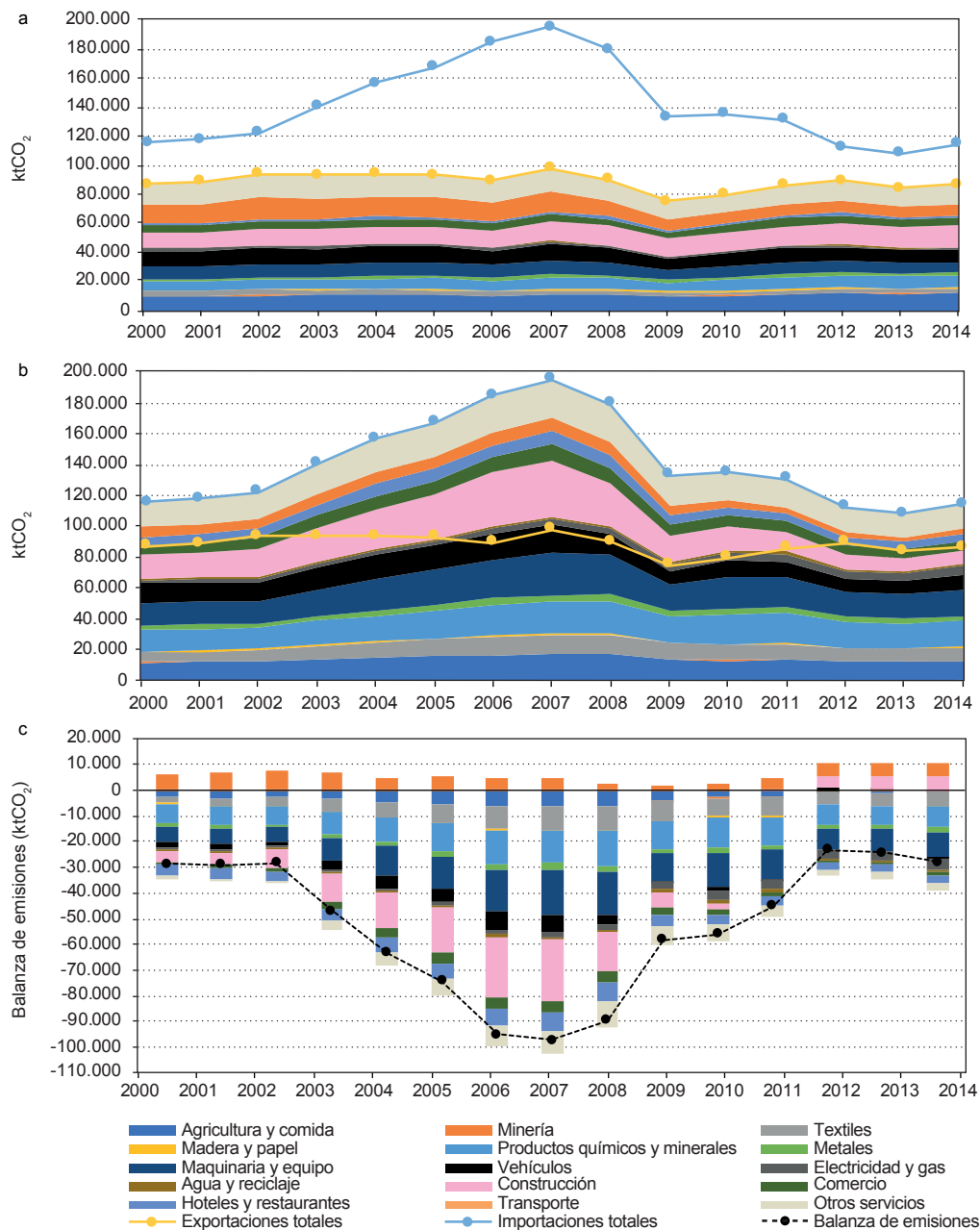
Aunque el aumento o disminución de las importaciones de sectores contaminantes influyen en las EII y en la huella de carbono, no todos los productos importados son consumidos en última instancia por residentes españoles, sino que muchos de ellos son *inputs* intermedios de otros sectores que los pueden transformar a otro tipo de productos y/o los reexportan para que sean consumidos en otros países. Esto implica que las emisiones incorporadas en las importaciones registradas en la balanza de bienes y servicios no están contenidas necesariamente en la huella de carbono ni en las EII de España. Por tanto, a la hora de hacer comparaciones sectoriales entre las EIE y EII lo mejor es hacerlo bajo la perspectiva del consumidor, es decir, clasificando las emisiones por tipos de producto de consumo final que las tienen incorporadas. Esta clasificación está representada en el Gráfico 5, donde, por ejemplo, las EIE (panel a) del sector vehículos incluyen las emisiones territoriales de España que están incorporadas directa o indirectamente en vehículos destinados al consumo final de otros países; mientras que las EII (panel b) de vehículos incluyen las emisiones territoriales de otros países que están incorporadas directa e indirectamente en vehículos consumidos por residentes españoles. Finalmente, la balanza de emisiones del panel c nos muestra el saldo neto de emisiones para cada sector: en los valores positivos del eje vertical encontramos los sectores en los que las EIE son mayores que las EII y en los valores negativos se encuentran los sectores cuyas EII superan a las EIE.

Desde esta perspectiva del consumidor, los sectores que generan más emisiones directas (como los productos químicos y minerales, la electricidad o el transporte) pierden protagonismo, mientras que los sectores cuya producción requiere de *inputs* altamente contaminantes (como la construcción u otros servicios) contribuyen significativamente a las EIE y EII. Se observa que las EIE son menores que las EII para todo el período 2000-2014. A lo largo de esos 15 años, el nivel de las EIE ha tenido un comportamiento estable, fluctuado entre 75.237 ktCO₂ (en 2009) y 98.116 ktCO₂ (en 2007). Llama la atención que, a pesar del crecimiento acelerado de las exportaciones españolas en la etapa poscrisis (ver Gráfico 2), las EIE no tuvieron un crecimiento significativo en ese período, sino que se mantuvieron estables alrededor de las 83.000 ktCO₂ (con una tasa de crecimiento promedio del 3 %, entre 2010-2014), confirmando el desacoplamiento relativo entre las emisiones y el valor de las exportaciones. Los cambios más significativos en la composición sectorial de las EIE a partir de la crisis se observan en el transporte, cuya participación promedio entre 2000-2008 fue del 14,2 % y para el período poscrisis (2009-2014) bajó a 9,3 %. El otro caso para destacar es el de la construcción, cuya participación promedio para la etapa precrisis fue del 12,5 %, y durante la poscrisis aumentó a 16,5 %. Desde la perspectiva del consumo final, la construcción juega un papel decisivo en la evolución de las emisiones incorporadas en el comercio internacional de España, pues es un sector que además de demandar enormes cantidades de *inputs* de sectores altamente contaminantes, ha tenido un papel crucial en el desarrollo de la crisis de la economía española de 2008.

Mientras las EIE de la construcción crecieron a partir de la crisis, sus EII cayeron drásticamente. El panel b del Gráfico 5 nos muestra que el desplome de las EII totales en 2009 fue motivado en gran medida por la caída de las EII incorporadas en el consumo final de la construcción en España. La construcción era el sector

GRÁFICO 5

EMISIONES INCORPORADAS EN LAS EXPORTACIONES, EN LAS IMPORTACIONES Y BALANZA DE EMISIONES DE LA ECONOMÍA ESPAÑOLA, 2000-2014 (En ktCO₂)



NOTA: Composición sectorial de las emisiones incorporadas en las exportaciones (panel a), de las emisiones incorporadas en las importaciones (panel b) y balanza de emisiones por sectores (panel c).

FUENTE: Elaboración propia.

que más contribuía a las EII españolas en la etapa precrisis, las EII del sector tuvieron un crecimiento acelerado a partir de 2003 y alcanzaron su punto máximo en 2007, cuando llegaron a 36.910 ktCO₂, representando el 18,9 % de las EII totales, más que cualquier otro sector. Sin embargo, en la etapa poscrisis las EII de la construcción se redujeron ostensiblemente hasta llegar a 9.549 ktCO₂ en 2014 y su participación sobre el total cayó al 8,3 %. De hecho, en el panel c podemos ver que el signo de la balanza de emisiones de la construcción se invirtió, pasando de una balanza negativa que se hacía cada vez más grande y que en 2007 se contabilizó en -23.958 ktCO₂ a una balanza positiva en los últimos cuatro años (5.487 ktCO₂ en 2014). Junto con el transporte y la minería son los únicos tres sectores que a 2014 arrojaron una balanza de emisiones positiva.

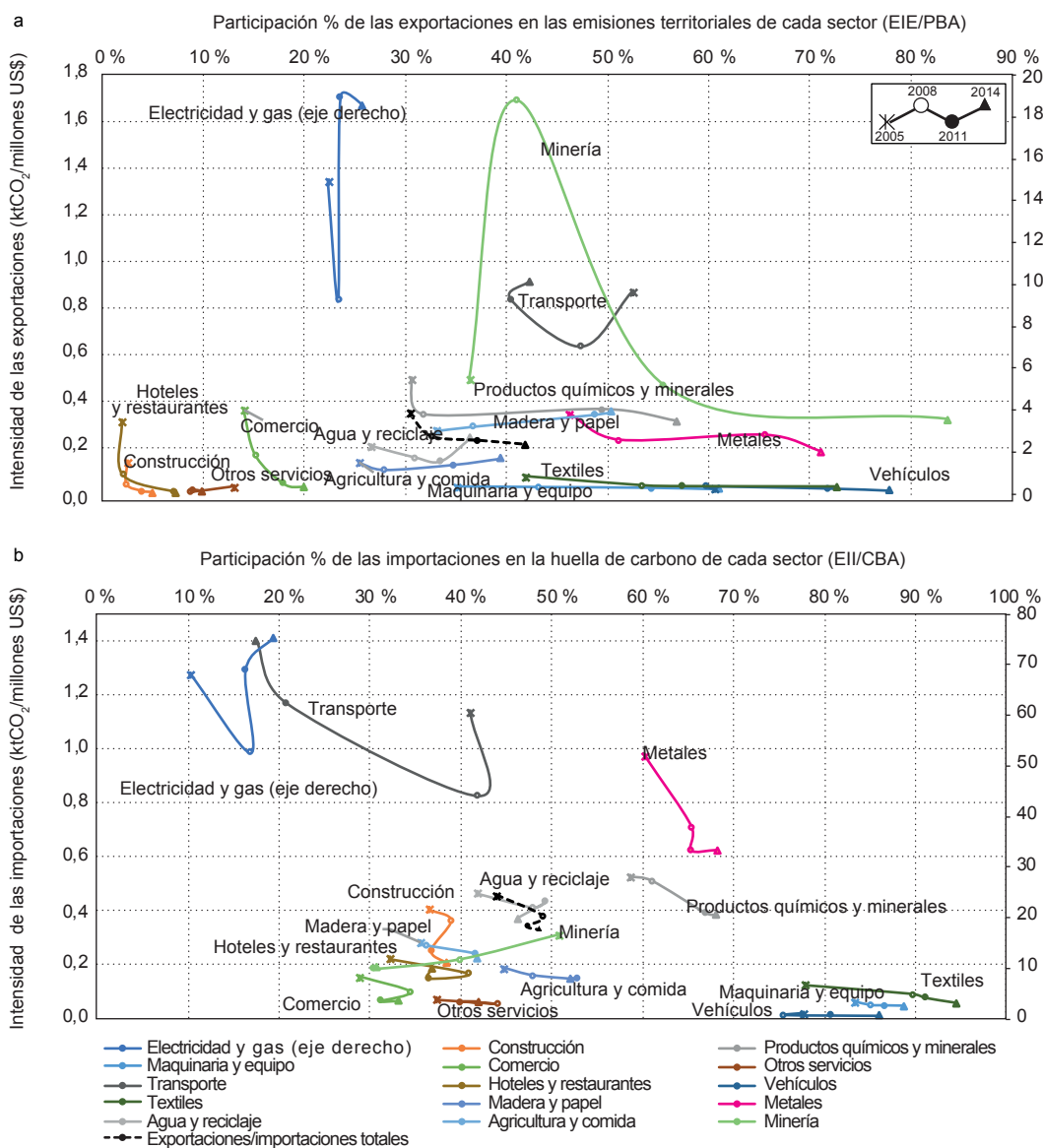
Los 12 sectores restantes muestran una balanza negativa para los 15 años analizados. Los sectores con las balanzas negativas más significativas a lo largo de la etapa poscrisis son textiles, productos químicos y minerales, maquinaria y equipo, electricidad y gas, hoteles y restaurantes y otros servicios. En todos ellos, la balanza negativa se ha reducido con respecto a 2007, excepto para el sector de electricidad y gas, para el que las EII han aumentado y las EIE han disminuido, haciendo que su balanza negativa crezca.

Tanto para el caso de las EII como para las EIE, llama la atención el desacoplamiento entre su evolución y la del valor monetario de las importaciones y exportaciones. A partir de 2010 las exportaciones aumentaron a un ritmo acelerado pero las EIE se mantuvieron mayormente estables; y, mientras las importaciones han mostrado un nivel relativamente constante, las EII han disminuido. Este desacoplamiento entre el valor monetario y las emisiones incorporadas en el comercio internacional muestra que la intensidad en carbono de las exportaciones e importaciones españolas ha disminuido, es decir, la economía española ha reducido la cantidad de CO₂ que genera por cada dólar exportado y por cada dólar importado.

Los valores sobre los ejes verticales del Gráfico 6 muestran las intensidades de las exportaciones (panel a) e importaciones (panel b) de cada sector para los años 2005, 2008, 2011 y 2014. La visualización de las intensidades en diferentes momentos del tiempo nos permite ver su evolución e identificar los sectores que han aumentado o disminuido sus intensidades y en qué medida lo han hecho. Los valores con respecto al eje horizontal indican la porción de emisiones territoriales (o huella de carbono) de cada sector incorporadas en sus exportaciones (o importaciones). Por ejemplo, la intensidad de las exportaciones de metales en 2005 fue de 0,34 ktCO₂ por cada millón de dólares exportado (ktCO₂/millón US\$) y en los años siguientes mostró niveles más bajos hasta que en 2014 se ubicó en 0,18. Por otro lado, el peso de las EIE de metales sobre el total de las emisiones territoriales del sector pasó del 46 % en 2005 al 71 % en 2014. El mismo análisis en la gráfica de importaciones nos indica que la intensidad de las importaciones de metales se redujo de 0,97 a 0,62 ktCO₂/millón US\$ entre 2005 y 2014 y que la porción de las EII de metales pasó de significar el 60 % de la huella de carbono total del sector en 2005 al 68 % en 2014. Del análisis sector por sector del Gráfico 6 se concluye que, salvo unas pocas excepciones, la evolución general de la mayoría de los sectores es similar a la de la industria metalúrgica: entre 2005 y 2014 la intensidad en carbono de las exportaciones e importaciones se ha reducido y las emisiones incorporadas en el comercio internacional han aumentado su participación dentro de las emisiones territoriales y la huella de carbono del sector respectivo. De hecho, el promedio para las importaciones y exportaciones totales de España sigue este mismo comportamiento (representadas por la línea discontinua). Se observa que, en promedio, la reducción en la intensidad y el incremento en participación sobre el total de emisiones han sido más contundentes para las exportaciones que para las importaciones. Estos resultados refuerzan la idea de que la producción dentro de España se ha ido adaptando a

GRÁFICO 6

INTENSIDAD DE LAS EMISIONES INCORPORADAS EN EL COMERCIO INTERNACIONAL ESPAÑOL Y SU PARTICIPACIÓN EN LAS EMISIONES TERRITORIALES Y HUELLA DE CARBONO POR SECTOR, 2005-2014 (En ktCO₂)



NOTAS: Intensidad en carbono de las exportaciones versus participación de las exportaciones en las emisiones territoriales de cada sector (panel a). Intensidad en carbono de las importaciones versus participación de las importaciones en la huella de carbono de cada sector (panel b). Datos para cuatro períodos: 2005, 2008, 2011 y 2014. En los dos paneles, las intensidades del sector electricidad y gas tienen como referencia los valores del eje derecho.

FUENTE: Elaboración propia.

estándares ambientales más rigurosos que han permitido aumentar el valor de la producción y de las exportaciones y al mismo tiempo, reducir la cantidad de CO₂ liberada en los procesos productivos. A pesar de que los países suministradores de la economía española también han mostrado mejoría en ese sentido, puesto que los resultados reflejan que la mayoría de las importaciones españolas son producidas con tecnologías cada vez menos contaminantes, el ritmo de su descarbonización es más lento que el de la producción española, lo cual está generando un desacoplamiento relativo entre las EIE y las EII.

Entre los sectores que tuvieron un comportamiento diferente al resto se destacan la electricidad y gas y el transporte. Los productos de electricidad y gas superan con creces las intensidades de los otros sectores (eje derecho en el Gráfico 6), especialmente en el caso de las importaciones, cuya intensidad en 2014 alcanzó las 75,4 ktCO₂/millones US\$. Aunque la intensidad de las exportaciones se ubica en niveles más bajos, su nivel se duplicó entre 2008 y 2014, pasando de 9,3 a 18,6 ktCO₂/millones US\$. Este incremento de la intensidad en carbono de las exportaciones del sector eléctrico durante la poscrisis se explica por un aumento en la participación del carbón en el mix energético de la generación eléctrica en España, en detrimento de otras fuentes menos contaminantes como el ciclo combinado o la generación hidráulica (REE, 2016) y contrarrestando la incipiente penetración que en ese período estaban haciendo otras fuentes renovables bajas en carbono (como las energías fotovoltaica y eólica).

En el caso del transporte, aunque sus intensidades también se incrementaron (especialmente en las importaciones), lo que llama más la atención es la reducción de la participación de las emisiones incorporadas en el comercio internacional como porcentaje de las emisiones totales asociadas al sector transporte. Esto supone que, a partir de 2005, el aporte del sector transporte a la huella de carbono española se concentra cada vez más en actividades de transporte que se desarrollan dentro del territorio español. Es decir,

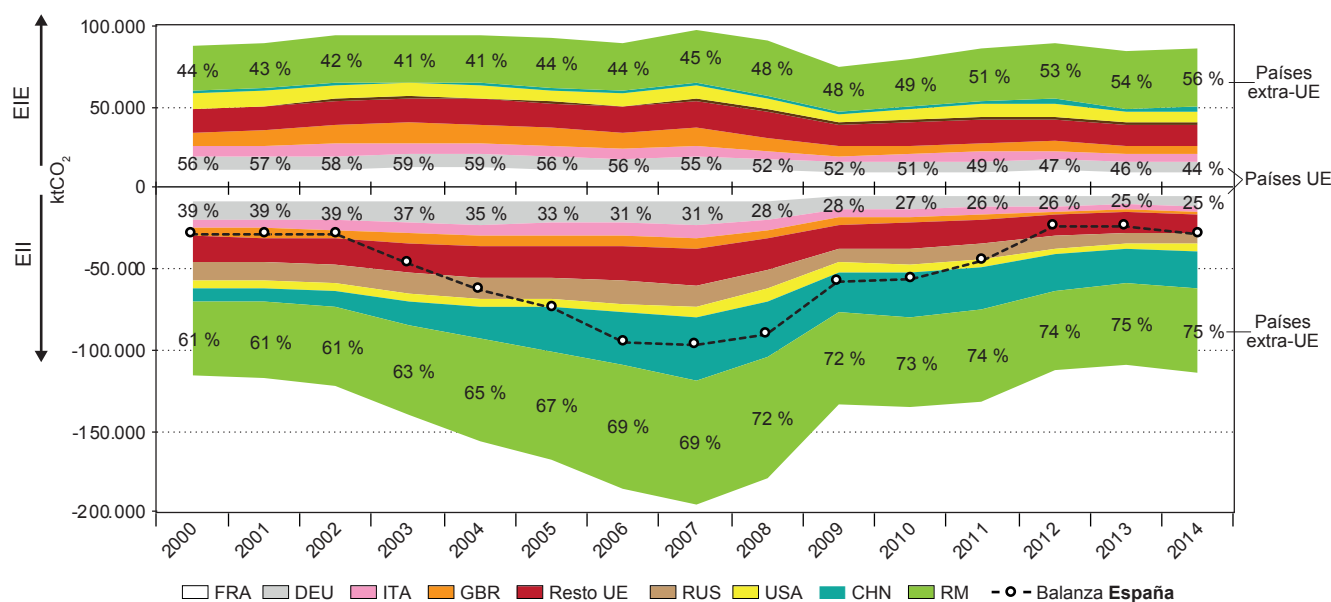
las emisiones del sector del transporte siguen una tendencia cada vez más localizada: son generadas por empresas españolas y para el consumo final español.

Exceptuando el transporte y otros servicios, las EIE de todos los sectores aumentaron como porcentaje del PBA sectorial. Destacan los casos de la minería, textiles, productos químicos y minerales, metales, maquinaria y equipo y vehículos, para los que la demanda en el mercado español se deprimió considerablemente y tuvieron que orientar gran parte de su producción a mercados extranjeros. En consecuencia, las emisiones que generaban dentro de territorio español se destinaron cada vez más a satisfacer la demanda final extranjera.

Aunque en menor medida, también se observa que en la mayoría de los sectores las EII han incrementado su participación en el total de la huella de carbono sectorial (exceptuando el transporte y la minería). Estos incrementos se deben a una desintegración regional de la cadena productiva, motivada principalmente por dos factores. El primero está relacionado con la irrupción de China en los mercados internacionales y su papel como suministrador global de productos a bajo coste, lo cual ha favorecido la integración de China en la cadena productiva de bienes finales consumidos en España y en otros países de la UE (Karstensen, Peters, y Andrew, 2018). En consecuencia, las cadenas de suministro de los productores españoles dependen cada vez más de proveedores extranjeros, lo cual ha incrementado las EII de la mayoría de sectores que atienden la demanda final española. El segundo factor para destacar es la entrada en vigor del mercado de derechos de emisiones de la UE, cuya implementación incitó a la deslocalización de procesos productivos contaminantes hacia países extracomunitarios en donde la regulación ambiental era menos rigurosa, incrementando así las EII de los productos consumidos en España (Koch y Basse Mama, 2019; Peters y Hertwich, 2008).

La globalización de las cadenas productivas ha reconfigurado el portafolio de socios comerciales de España y, por lo tanto, la distribución geográfica por origen y destino de las EII y las EIE también se ha

GRÁFICO 7

EMISIONES INCORPORADAS EN LAS IMPORTACIONES Y EN LAS EXPORTACIONES POR ORIGEN Y DESTINO, 2000-2014
 (En ktCO₂)


NOTAS: Los valores correspondientes a las emisiones incorporadas en las exportaciones son positivos, mientras que los correspondientes a las emisiones incorporadas en las importaciones son negativos. Las etiquetas con valores porcentuales indican la participación de países de la UE y de los países extra-UE sobre el total de las EIE y las EII.

FUENTE: Elaboración propia.

visto afectada. El Gráfico 7 presenta la evolución de la distribución de las EIE por país de destino y de las EII por país de origen durante el período 2000-2014.

Como ya vimos en resultados anteriores, entre 2000 y 2007 es cada vez mayor la diferencia entre la huella de carbono y las emisiones territoriales. El análisis a nivel regional nos permite identificar que esta diferencia está mayormente explicada por el crecimiento de las EII provenientes de China, el cual se acentuó a partir de 2002. Este punto de inflexión se debe a que China fue aceptado como miembro de la Organización Mundial del Comercio (OMC) en el 2001, lo cual elevó el volumen comercial de ese país y su importancia como suministrador de la economía española. Esto fue determinante para el ascenso de las EII españolas,

pues el mix energético de China depende altamente del carbón y otros combustibles fósiles, por lo que sus productos son más intensivos en carbono que los provenientes de otros países. En 2001, antes de que China entrara a la OMC, las emisiones provenientes de China representaban el 6,5 % del total de las EII españolas (7.581 ktCO₂), pero entre 2002 y 2007 crecieron a una tasa interanual promedio de 8,6 % hasta llegar a las 38.448 ktCO₂, representando el 19,7 % de las EII españolas.

El agregado Resto del Mundo (RM) representado en el gráfico también contribuyó significativamente al incremento de las EII en durante 2000-2007. En ese período, las EII provenientes de los países comprendidos en este grupo pasaron de 45.487 a 77.299 ktCO₂,

un crecimiento acumulado del 70 %. Este ascenso es el resultado de agregar pequeños aportes de múltiples países ubicados en todos los continentes que por sí solos no serían apreciables en el Gráfico 7 (ver Anexo I), sin embargo, podemos destacar a India, Turquía y Japón como los países que más aportaron al crecimiento de las EII provenientes de RM.

A pesar de los fuertes lazos comerciales que existen entre los países de la UE, se observa que la participación como origen y destino de los otros países miembros dentro de las EIE y EII españolas ha ido disminuyendo con el paso del tiempo, mientras que los países extra-Unión Europea (extra-EU) han incrementado su participación como consumidores indirectos de EIE españolas y, sobre todo, como emisores directos de las EII españolas. En el caso de las EII, la participación de las emisiones procedentes de países de la UE ha descendido gradualmente y de forma ininterrumpida durante los 15 años analizados, pasando del 39 % en el 2000 al 25 % en 2014. Una vez más, la consolidación del mercado de derechos de emisiones y otras regulaciones de la UE explica la reducción de las EII procedentes de países de la Unión. En esta reducción se debe distinguir entre dos efectos que actúan simultáneamente. El primero, es el esfuerzo hecho por empresas localizadas en la UE que han reducido efectivamente sus emisiones directas mediante la adopción de tecnologías y materiales bajos en carbono; el segundo, son los desplazamientos de emisiones europeas hacia países extra-UE a través de la deslocalización de la producción, también llamados fuga de carbono, los cuales son un efecto colateral e indeseable del endurecimiento de las regulaciones ambientales en la UE.

El esfuerzo que está realizando la UE para mitigar emisiones de carbono le ha llevado a superar su objetivo de reducción de emisiones con respecto a los niveles de 1990, el cual estaba fijado en una reducción del 20 % para 2020. De acuerdo con datos recientes (Karstensen *et al.*, 2018), en 2016 la UE ya había alcanzado una reducción del 24 % de sus emisiones

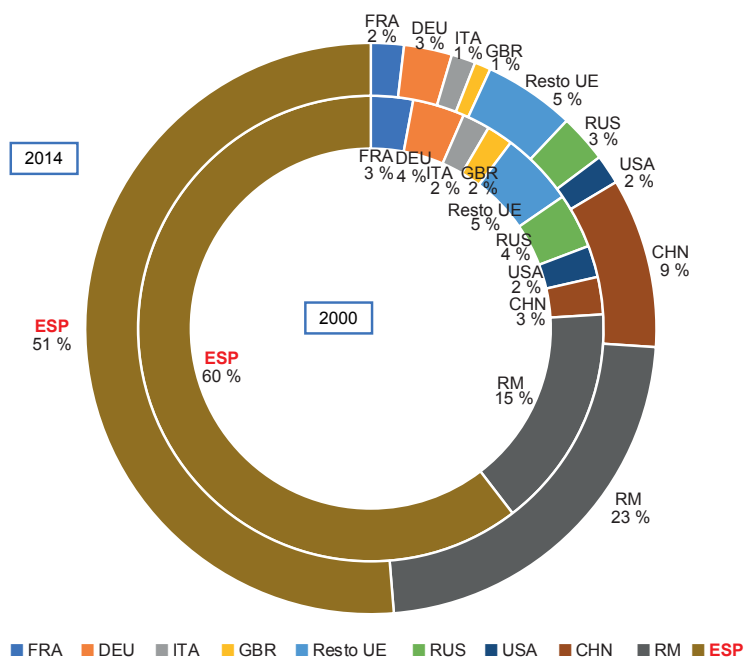
con respecto a 1990, lo cual implica que las emisiones domésticas y de otros países de la UE tendrían un peso cada vez menor en su huella de carbono (Gráfico 8). Lo que, al mismo tiempo, aumenta la relevancia de las emisiones incorporadas en las importaciones con otros orígenes cuyo esfuerzo mitigador es comparativamente menos exitoso: principalmente, de China y el resto del mundo, y en menor medida, de Estados Unidos. Esta dinámica hace que se consideren las distintas posibilidades de reducir la huella de carbono a través del cambio en los países suministradores, como analizan (de Boer *et al.*, 2019) para el conjunto de la UE.

4. Consideraciones finales

Alcanzar los compromisos adoptados en el Acuerdo París en 2015 con el objetivo de limitar el aumento de la temperatura a 1,5 grados centígrados requiere la adopción de esfuerzos para la mitigación de las emisiones de GEI por parte de todos los países a nivel mundial. La firma y ratificación de dicho acuerdo por parte de 195 países y el establecimiento de unos objetivos de reducción de emisiones de cada país individualmente (UNFCCC, 2016), ha supuesto un hito importante en la lucha contra el cambio climático. Que los compromisos de mitigación de las emisiones territoriales de la UE y, por tanto, de España en su Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, sean los más ambiciosos a nivel mundial es una buena noticia y, al mismo tiempo, una decisión que está en consonancia con la mayor responsabilidad que tienen los países ricos en el cambio climático (Peters *et al.*, 2015). Sin embargo, conforme la reducción de emisiones dentro de la UE se intensifica, es mayor la parte de las emisiones que se fugan al resto de la economía mundial en forma de externalidades. La ausencia de un acuerdo en la Cumbre del Clima COP25 de 2019, sobre el artículo 6 del Acuerdo de París relativo al uso de los mercados internacionales de carbono, pone de manifiesto la importancia que las emisiones

GRÁFICO 8

PARTICIPACIÓN PORCENTUAL DE LAS EMISIONES TERRITORIALES Y EII EN LA HUELLA DE CARBONO DE LA ECONOMÍA ESPAÑOLA, 2000 Y 2014



FUENTE: Elaboración propia.

incorporadas en el comercio internacional tienen en la lucha del cambio climático.

En este artículo hemos comprobado como la economía española mantiene en todo el período una huella de carbono superior a su responsabilidad como productor y, por tanto, una balanza de emisiones negativa debido a que el carbono incorporado en las importaciones es muy superior al de las exportaciones realizadas. La fuga de emisiones, o lo que otros países emiten para que los españoles mantengamos nuestro estilo de vida, alcanza un máximo que supera las 195.000 KtCO₂ en 2007, lo que significa que se producen fuera del territorio nacional casi 2 de cada 4 tCO₂ asociadas a la demanda de bienes y servicios finales consumidos en la economía española.

La crisis económica y financiera de 2007 supone un punto de inflexión a partir del cual dicha balanza de emisiones se reduce de forma significativa, conforme se reduce el déficit comercial español y se avanza en medidas de descarbonización y eficiencia energética. Sin embargo, la importante destrucción del empleo y el aumento de la desigualdad en la distribución de la renta hacen insostenible en términos económicos y sociales la reducción de la huella de carbono de la economía española y la menor fuga que se produce en esos años. La transición hacia a una economía baja en carbono requiere la inclusión de todos los miembros de la sociedad.

La parte más positiva del estudio realizado proviene de las mejoras comprobadas en las intensidades de

carbono asociadas tanto a la producción doméstica de la economía española como las asociadas a las importaciones realizadas. La progresiva penetración de energías renovables en el mix producción mundial, a medida que son cada vez más competitivas en términos de precios, y las mejoras en la eficiencia energética que permiten reducir, además, los costes de producción marcan la senda de la transición hacia una economía baja en carbono. Sin embargo, el hecho de que la intensidad de carbono de las importaciones españolas sea mayor que la intensidad de carbono de las exportaciones pone de relieve la necesidad de establecer objetivos de mitigación y políticas y medidas para su consecución que vayan más allá de las emisiones domésticas y que traten de evitar la fuga de emisiones y la reducción de emisiones del comercio internacional. Las medidas que se establezcan deberán tener en cuenta la procedencia de los productos y las mejoras en la eficiencia ambiental de los socios comerciales, la posibilidad de fijar estándares de emisiones a nivel sectorial, incluyendo transferencia de tecnologías limpias entre países y empresas.

En relación con las cadenas globales de la producción, los resultados que resaltan son los relativos a las industrias manufactureras de la economía española, las cuales se caracterizan por la verticalidad de su estructura productiva y por la consecuente desintegración geográfica de su cadena de producción como los vehículos, la maquinaria o los textiles. Esta desintegración ha conducido a que las importaciones concentren en gran medida las emisiones contenidas en la huella de carbono asociada al consumo español de estos productos y que las exportaciones concentren las emisiones generadas por estos sectores dentro del territorio español. Por ejemplo, en 2014, de cada 10 tCO₂ necesarias para que la demanda final española pudiera acceder al consumo de un vehículo, solo 1,4 toneladas fueron emitidas dentro de España, las otras 8,6 se emitieron en otros países. Asimismo, de cada 10 tCO₂ emitidas por el sector automotriz dentro del territorio español, solo 2,2 toneladas fueron

consumidas por residentes españoles y las 7,8 restantes fueron destinadas al consumo final de otros países.

En sectores en los que su vinculación a las cadenas globales de producción es más limitada, las importaciones y exportaciones pierden peso dentro de las emisiones asociadas al sector. Este es el caso de los servicios, actividades que suponen la principal fuente de riqueza de la economía española y que se caracterizan por sus bajos niveles de emisiones directas (exceptuando al transporte). Aunque los servicios arrastran cantidades importantes de emisiones generadas en etapas intermedias, su naturaleza exige una producción más localizada y horizontal para llegar al consumidor final, por lo que las importaciones tienen un peso menor en la huella de carbono de servicios como el comercio o los hoteles y restaurantes (33 % y 37 %, respectivamente). Las exportaciones como proporción de las emisiones territoriales de servicios son aún menores, por ejemplo, el peso de las EIE sobre el total de emisiones territoriales es de 20 % en el comercio y de 7 % en los hoteles y restaurantes. El carácter local de las emisiones asociadas a los servicios hace evidente que el foco de las emisiones incorporadas en el comercio internacional son las industrias manufactureras, por lo que incentivar a las empresas de estos sectores a limpiar su cadena de suministradores extranjeros debería ser un objetivo fundamental de las políticas ambientales españolas y europeas.

Existen varios obstáculos a la hora de intentar reducir las emisiones contenidas en el comercio internacional. El diferencial existente en los compromisos de reducciones de emisiones por parte de países ricos y pobres, la mayor intensidad de emisiones de los segundos y la necesidad de amortizar las grandes inversiones en centrales térmicas de carbón realizadas en los últimos años en países como China e India complican el diseño e implementación de políticas que aborden este problema de forma efectiva. En este contexto, si finalmente no existe un acuerdo para desarrollar un mercado de carbono a nivel global, una

alternativa de mitigación en el entorno de la UE implicaría el establecimiento de un impuesto al carbono en frontera que al tener en cuenta la diferente intensidad de carbono desincentivaría aquellos productos y destinos más contaminantes. Pero, sin embargo, se enfrentaría a las dificultades administrativas que implicarían los ajustes en frontera, al incumplimiento de los acuerdos dentro de la Organización Mundial del Comercio y, además, implicaría penalizar el desarrollo de países más pobres que disponen de un mix energético más intensivo en carbono. Por tanto, su establecimiento solo tendría éxito si lo recaudado por el impuesto en carbono se destinara al fomento de desarrollo social y económico de los países de origen de las mercancías gravadas.

Referencias bibliográficas

- Afonis, S., Sakai, M., Scott, K., Barrett, J., & Gouldson, A. (2017). Consumption-based carbon accounting: does it have a future? *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 8(1), e438. <https://doi.org/10.1002/wcc.438>
- Alsamawi, A., McBain, D., Murray, J., Lenzen, M., & Wiebe, K. S. (2017). *The Social Footprints of Global Trade*. Springer.
- Arce, G., Zafrilla, J. E., López, L. A., & Tobarra, M. Á. (2017). Carbon footprint of human settlements in Spain. In R. Álvarez, S. Zubelzu, & R. Martínez (Eds.), *Carbon Footprint and the Industrial Lifecycle - From Urban Planning to Recycling*, (pp. 307-324). Springer.
- Cadarso, M. Á., López, L. A., Gómez, N., & Tobarra, M. Á. (2012). International trade and shared environmental responsibility by sector. An application to the Spanish economy. *Ecological Economics*, 83, 221-235. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.05.009>
- Cadarso, M. Á., Monsalve, F., & Arce, G. (2018). Emissions burden shifting in global value chains – winners and losers under multi-regional versus bilateral accounting. *Economic Systems Research*, 30(4), 439-461. <https://doi.org/10.1080/09535314.2018.1431768>
- de Boer, B. F., Rodrigues, J. F. D., & Tukker, A. (2019). Modeling reductions in the environmental footprints embodied in European Union's imports through source shifting. *Ecological Economics*, 164, 106300. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.04.012>
- Edens, B., Delahaye, R., van Rossum, M., & Schenau, S. (2011). Analysis of changes in Dutch emission trade balance(s) between 1996 and 2007. *Ecological Economics*, 70(12), 2334-2340. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.07.006>
- Gandoy, R., y Díaz-Mora, C. (2017). Cadenas globales de valor: en el punto de mira de la política comercial proteccionista. *Información Comercial Española (ICE), Revista de Economía*, (896), 43-53.
- García-Alaminos, A., Monsalve, F., Zafrilla, J., & Cadarso, M. A. (2020). Unmasking social distant damage of developed regions' lifestyle: A decoupling analysis of the indecent labour footprint. *PLoS ONE*, 15(4), e0228649. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0228649>
- Hidalgo, C. A., & Hausmann, R. (2009). The building blocks of economic complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(26), 10570-10575. <https://doi.org/10.1073/pnas.0900943106>
- Johnson, R. C., & Noguera, G. (2012). Accounting for intermediates: Production sharing and trade in value added. *Journal of International Economics*, 86(2), 224-236. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jinteco.2011.10.003>
- Kanemoto, K., Moran, D., Lenzen, M., & Geschke, A. (2014). International trade undermines national emission reduction targets: New evidence from air pollution. *Global Environmental Change*, 24, 52-59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.09.008>
- Karstensen, J., Peters, G. P., & Andrew, R. M. (2018). Trends of the EU's territorial and consumption-based emissions from 1990 to 2016. *Climatic Change*, 151(2), 131-142. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2296-x>
- Koch, N., & Basse Mama, H. (2019). Does the EU Emissions Trading System induce investment leakage? Evidence from German multinational firms. *Energy Economics*, 81, 479-492. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.04.018>
- López, L. A., Arce, G., & Zafrilla, J. E. (2013). Parcelling virtual carbon in the pollution haven hypothesis. *Energy Economics*, 39, 177-186. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2013.05.006>
- Meng, B., Peters, G. P., Wang, Z., & Li, M. (2018). Tracing CO₂ emissions in global value chains. *Energy Economics*, 73, 24-42. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.05.013>
- Mi, Z., Zhang, Y., Guan, D., Shan, Y., Liu, Z., Cong, R., . . . Wei, Y. M. (2016). Consumption-based emission accounting for Chinese cities. *Applied Energy*, 184, 1073-1081. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.094>
- Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). *Input-output analysis: foundations and extensions (2nd ed.)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Minondo, A. (2017). Comercio internacional y desigualdad. *Información Comercial Española (ICE), Revista de Economía*, (898), 119-128.
- Moran, D., Kanemoto, K., Jiborn, M., Wood, R., Többen, J., & Seto, K. C. (2018). Carbon footprints of 13000 cities. *Envi-*

- ronmental Research Letters*, 13(6), p. 064041. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac72a>
- Ottelin, J., Ala-Mantila, S., Heinonen, J., Wiedmann, T., Clarke, J., & Junnila, S. (2019). What can we learn from consumption-based carbon footprints at different spatial scales? Review of policy implications. *Environmental Research Letters*, 14(9), 093001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2212>
- Peters, G. P. (2008). From production-based to consumption-based national emission inventories. *Ecological Economics*, 65(1), 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.10.014>
- Peters, G. P., & Hertwich, E. G. (2008). CO₂ embodied in international trade with implications for global climate policy. *Environmental Science & Technology*, 42(5), 1401-1407.
- Peters, G. P., Minx, J. C., Weber, C. L., & Edenhofer, O. (2011). Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(21), 8903-8908. <https://doi.org/10.1073/pnas.1006388108>
- Peters, G. P., Davis, S. J., & Andrew, R. M. (2012). A synthesis of carbon in international trade. *Biogeosciences*, 9(8), 3247-3276. <https://doi.org/10.5194/bg-9-3247-2012>
- Peters, G. P., Davis, S. J., & Andrew, R. M. (2012). A synthesis of carbon in international trade. *Biogeosciences Discuss*, 9(3), 3949-4023. <https://doi.org/10.5194/bgd-9-3949-2012>
- Peters, G. P., Andrew, R. M., Solomon, S., & Friedlingstein, P. (2015). Measuring a fair and ambitious climate agreement using cumulative emissions. *Environmental Research Letters*, 10(10), 105004. <http://stacks.iop.org/1748-9326/10/i=10/a=105004>
- REE (2016). El sistema eléctrico español 2015. *Red Eléctrica Española*. <https://www.ree.es/es/datos/publicaciones/informe-anual-sistema/informe-del-sistema-electrico-espanol-2015>
- Requena, F. (2017). Globalización, integración comercial y bienestar. *Información Comercial Española (ICE), Revista de Economía*, (896), 19-42.
- Sanyé-Mengual, E., Secchi, M., Corrado, S., Beylot, A., & Sala, S. (2019). Assessing the decoupling of economic growth from environmental impacts in the European Union: A consumption-based approach. *Journal of Cleaner Production*, (236), p. 117535. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.010>
- Sanz, T., Yñiguez, R., & Rueda-Cantuche, J. M. (2016). The Relevance of Multi-Country Input-Output Tables in Measuring Emissions Trade Balance of Countries: The Case of Spain. *SORT-Statistics and Operations Research Transactions*, 40(1), 3-30. <https://www.raco.cat/index.php/SORT/article/view/310067>
- Simas, M., Wood, R., & Hertwich, E. (2014). Labor Embodied in Trade: The Role of Labor and Energy Productivity and Implications for Greenhouse Gas Emissions. *Journal of Industrial Ecology*, 19(3), 343-356. <https://doi.org/10.1111/jiec.12187>
- Timmer, M. P., Dietzenbacher, E., Los, B., Stehrer, R., & de Vries, G. J. (2015). An Illustrated User Guide to the World Input-Output Database: the Case of Global Automotive Production. *Review of International Economics*, 23(3), 575-605. <https://doi.org/10.1111/roie.12178>
- Timmer, M. P., Los, B., Stehrer, R., & de Vries, G. J. (2016). *An Anatomy of the Global Trade Slowdown based on the WIOD 2016 Release*. <https://ideas.repec.org/p/gro/rugggd/gd-162.html>
- Tukker, A., Bulavskaya, T., Giljum, S., de Koning, A., Lutter, S., Simas, M.,...Wood, R. (2016). Environmental and resource footprints in a global context: Europe's structural deficit in resource endowments. *Global Environmental Change*, 40, 171-181. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.07.002>
- UNFCCC (2016). *Synthesis Report on the Aggregate Effect of Intended Nationally Determined Contributions (INDCs)*.
- Watson, R., McCarthy, J. J., Canziani, P., Nakicenovic, N., & Hisas, L. (2019). The Truth Behind the Climate Pledges. *Universal Ecological Fund (FEU-US)*.
- Wiedmann, T. O. (2016). Impacts Embodied in Global Trade Flows. In R. Clift & A. Druckman (Eds.), *Taking Stock of Industrial Ecology* (pp. 159-180). Springer International Publishing.
- Wiedmann, T. O., Chen, G., & Barrett, J. (2016). The Concept of City Carbon Maps: A Case Study of Melbourne, Australia. *Journal of Industrial Ecology*, 20(4), 676-691. <https://doi.org/10.1111/jiec.12346>
- Wiedmann, T. O., & Lenzen, M. (2018). Environmental and social footprints of international trade. *Nature Geoscience*, 11(5), 314-321. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0113-9>
- Wood, R., Grubb, M., Anger-Kraavi, A., Pollitt, H., Rizzo, B., Alexandri, E., ... Tukker, A. (2019). Beyond peak emission transfers: historical impacts of globalization and future impacts of climate policies on international emission transfers. *Climate Policy*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1619507>
- Zafrilla, J. E., López, L. A., Cadarso, M. Á., & Dejuán, Ó. (2012). Fulfilling the Kyoto protocol in Spain: A matter of economic crisis or environmental policies? *Energy Policy*, 51, 708-719. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.09.011>
- Zhang, W., Wang, F., Hubacek, K., Liu, Y., Wang, J., Feng, K., ... Bi, J. (2018). Unequal Exchange of Air Pollution and Economic Benefits Embodied in China's Exports. *Environmental Science & Technology*, 52(7), 3888-3898. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05651>

ANEXO I

**CLASIFICACIONES SECTORIAL Y REGIONAL DE WIOD Y SUS RESPECTIVAS
CORRESPONDENCIAS CON LAS CLASIFICACIONES USADAS
PARA PRESENTAR RESULTADOS**

Clasificación sectorial WIOD (56 sectores)	Correspondencias - 15 sectores (Para la presentación de resultados)
s1 Crop and animal production, hunting and related service activities	c1 Agricultura y comida
s3 Fishing and aquaculture	
s5 Manufacture of food products, beverages and tobacco products.....	
s4 Mining and quarrying	c2 Minería
s6 Manufacture of textiles, wearing apparel and leather products	c3 Textiles
s2 Forestry and logging.....	c4 Madera y papel
s7 Manufacture of wood and of products of wood and cork, except furniture;	
manufacture of articles of straw and plaiting materials	
s8 Manufacture of paper and paper products	
s9 Printing and reproduction of recorded media	
s10 Manufacture of coke and refined petroleum products	c5 Productos químicos y minerales
s11 Manufacture of chemicals and chemical products	
s12 Manufacture of basic pharmaceutical products and pharmaceutical preparations	
s13 Manufacture of rubber and plastic products	
s14 Manufacture of other non-metallic mineral products	
s15 Manufacture of basic metals.....	c6 Metales
s16 Manufacture of fabricated metal products, except machinery and equipment	
s17 Manufacture of computer, electronic and optical products	c7 Maquinaria y equipo
s18 Manufacture of electrical equipment.....	
s19 Manufacture of machinery and equipment n.e.c.	
s22 Manufacture of furniture; other manufacturing	
s23 Repair and installation of machinery and equipment.....	
s20 Manufacture of motor vehicles, trailers and semi-trailers	c8 Vehículos
s21 Manufacture of other transport equipment	
s24 Electricity, gas, steam and air conditioning supply	c9 Electricidad y gas
s25 Water collection, treatment and supply	c10 Agua y reciclaje
s26 Sewerage; waste collection, treatment and disposal activities; materials recovery;	
remediation activities and other waste management services	
s27 Construction	c11 Construcción
s28 Wholesale and retail trade and repair of motor vehicles and motorcycles	c12 Comercio
s29 Wholesale trade, except of motor vehicles and motorcycles.....	
s30 Retail trade, except of motor vehicles and motorcycles	

ANEXO I (CONTINUACIÓN)

**CLASIFICACIONES SECTORIAL Y REGIONAL DE WIOD Y SUS RESPECTIVAS
CORRESPONDENCIAS CON LAS CLASIFICACIONES USADAS
PARA PRESENTAR RESULTADOS**

s36	Accommodation and food service activities.....	c13	Hoteles y restaurantes
s31	Land transport and transport via pipelines	c14	Transporte
s32	Water transport.....		
s33	Air transport.....		
s34	Warehousing and support activities for transportation		
s35	Postal and courier activities.....		
s37	Publishing activities	c15	Otros servicios
s38	Motion picture, video and television programme production, sound recording and music publishing activities; programming and broadcasting activities		
s39	Telecommunications		
s40	Computer programming, consultancy and related activities; information service activities....		
s41	Financial service activities, except insurance and pension funding		
s42	Insurance, reinsurance and pension funding, except compulsory social security		
s43	Activities auxiliary to financial services and insurance activities		
s44	Real estate activities.....		
s45	Legal and accounting activities; activities of head offices; management consultancy		
s46	Architectural and engineering activities; technical testing and analysis		
s47	Scientific research and development.....		
s48	Advertising and market research.....		
s49	Other professional, scientific and technical activities; veterinary activities.....		
s50	Administrative and support service activities.....		
s51	Public administration and defence; compulsory social security.....		
s52	Education.....		
s53	Human health and social work activities.....		
s54	Other service activities		
s55	Activities of households as employers; undifferentiated goods- and services-producing activities of households for own use.....		
s56	Activities of extraterritorial organizations and bodies		

ANEXO I (CONTINUACIÓN 2)

**CLASIFICACIONES SECTORIAL Y REGIONAL DE WIOD Y SUS RESPECTIVAS
CORRESPONDENCIAS CON LAS CLASIFICACIONES USADAS
PARA PRESENTAR RESULTADOS**

Clasificación regional WIOD (44 regiones)

Correspondencias - 9 regiones (Gráficos 7 y 8)

r1	ESP	ESP
r2	DEU	DEU
r3	FRA	FRA
r4	GBR	GBR
r5	ITA	ITA
r6	AUT	Resto UE
r7	BEL	
r8	BGR	
r9	CYP	
r10	CZE	
r11	DNK	
r12	EST	
r13	FIN	
r14	GRC	
r15	HRV	
r16	HUN	
r17	IRL	
r18	LTU	
r19	LUX	
r20	LVA	
r21	MLT	
r22	NLD	
r23	POL	
r24	PRT	
r25	ROU	
r26	SVK	
r27	SVN	
r28	SWE	
r29	CHN	CHN
r30	RUS	RUS
r31	USA	USA
r32	AUS	Resto del mundo (RM)
r33	BRA	
r34	CAN	
r35	CHE	
r36	IDN	
r37	IND	
r38	JPN	
r39	KOR	
r40	MEX	
r41	NOR	
r42	TUR	
r43	TWN	
r44	ROW	

FUENTE: Elaboración propia.

Últimos números publicados

