

# GLOBALIZACIÓN Y RESPONSABILIDAD EN LOS PROBLEMAS ECOLÓGICOS

## *GLOBALISATION AND RESPONSIBILITY IN THE ECOLOGICAL PROBLEMS*

Jordi Roca Jusmet<sup>1</sup>

Universitat de Barcelona

Emilio Padilla Rosa<sup>2</sup>

Universidad Autónoma de Barcelona

*Fecha de recepción: 23.08.2020*

*Fecha de aceptación: 16.02.2021*

### **RESUMEN**

La mayoría de las estadísticas, análisis y políticas sobre presiones ambientales adoptan una perspectiva territorial. De acuerdo con esta, las presiones ambientales se asignan al país (región o ciudad) en el que se generan. Sin embargo, la economía global se caracteriza por flujos masivos de mercancías entre diferentes territorios. Por ello, es también importante analizar las presiones ambientales causadas por las demandas internas de un país, independientemente de dónde estas tengan lugar. Esta perspectiva se conoce como perspectiva "basada en el consumo" y se relaciona con el concepto de huella ambiental. En este artículo se ven algunos ejemplos de esta doble perspectiva, tanto en un caso de un problema global, como es el de las emisiones de gases de efecto invernadero, como en otros indicadores ambientales de problemas más locales o regionales. Las importantes diferencias entre los indicadores obtenidos con ambas perspectivas refuerzan la necesidad de tener también en cuenta la perspectiva "basada en el consumo" para tener una mejor información de las diferentes responsabilidades en los diferentes problemas ambientales.

**Palabras clave:** *Contabilidad desde la perspectiva del consumo; problemas ecológicos; huella de carbono; huella material; desplazamiento de carga ambiental*

### **ABSTRACT**

Most statistics, analyses and policies on environmental pressures take a territorial perspective. According to this, environmental pressures are assigned to the country (region or city) in which they are generated. However, the global economy is characterised by massive flows of goods between different territories. Therefore, it is also important to analyse the environmental pressures caused by domestic demands of a country, regardless of where they take place. This perspective is known as the "consumption-based" perspective and relates to the concept of environmental footprint. This article looks at some examples of this dual perspective, both in a case of a global problem, such as greenhouse gas emissions, and in other environmental indicators or more local or regional problems. The important differences between the indicators obtained with both perspectives reinforce the need to also take into account the "consumption-based" perspective in order to have better information on the different responsibilities in the different environmental problems.

**Keywords:** *Consumption-based accounting; ecological problems; carbon footprint; material footprint; environmental load displacement*

<sup>1</sup> jordiroca@ub.edu

<sup>2</sup> emilio.padilla@uab.es

## INTRODUCCIÓN: LA PERSPECTIVA DEL "CONSUMO" Y EL USO DEL TÉRMINO "HUELLA"

La mayoría de las estadísticas, análisis y políticas sobre presiones ambientales (como las emisiones atmosféricas) adoptan una perspectiva territorial. De acuerdo con esta, las presiones ambientales se asignan al país (región o ciudad) en el que se generan. Sin embargo, la economía global se caracteriza por flujos masivos de mercancías entre diferentes territorios. La demanda interna de un país se satisface no solo con la producción interna sino también con los bienes importados de otros países. Cuando un país importa bienes, también está trasladando presiones ambientales a otros países. Por ello, es importante analizar las presiones ambientales causadas por las demandas internas de un país, independientemente de dónde estas tengan lugar. Esta perspectiva se conoce normalmente como la perspectiva "basada en el consumo" (*consumption-based*)<sup>3</sup>, en contraste con la perspectiva territorial o "basada en la producción" (*production-based*) (Davis y Caldeira, 2010)<sup>4</sup>; similarmente, se habla de principios de contabilidad basados en el consumo o en la producción (Peters, 2008).

En este artículo se revisan diversos ejemplos de esta doble perspectiva, tanto en un caso de un problema global, como es el de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como en otros indicadores ambientales. Se pretende analizar e ilustrar de una forma simple y clara la relevancia del uso de ambas perspectivas en la determinación de las responsabilidades ambientales. Las diferentes formas de contabilidad apuntan a diferentes visiones de la responsabilidad sobre los problemas ambientales, como hace ya muchos años se ha señalado (ver, por ejemplo, Proops et al., 1993; Munksgaard y Pedersen, 2001; Serrano y Dietzenbacher, 2010).

Hasta hace unos años, buena parte de las estimaciones empíricas de la contabilidad "basada en el consumo" de un país (o región) tenían el gran problema de la ausencia de bases de datos input-output homogeneizados para el conjunto del mundo dividido en países (y/o regiones) y requería hacer supuestos heroicos como el de la tecnología doméstica<sup>5</sup>. Afortunadamente, en los últimos años se han hecho muchos esfuerzos por crear bases de datos internacionales y se dispone de diversas tablas input-output globales ampliadas ambientalmente (ver Tukker et al., 2018) que permiten prescindir de este irreal supuesto. Los casos en que nos centramos en este artículo tienen en común que utilizan este tipo de datos.

En puntos posteriores aparece frecuentemente el término "huella" (*footprint*) y por ello vale la pena clarificar su significado. Su origen proviene, sin duda, del término huella ecológica (*ecological footprint*) que se introdujo en los 1990s por parte de Wackernagel y Rees (1998), que adquirió una gran popularidad y sirvió para convencer de que los estilos de vida de los países ricos impactaban ambientalmente mucho más allá de las propias fronteras y no eran en absoluto generalizables al conjunto de la humanidad. El concepto se definió como el espacio necesario para proveer los recursos naturales utilizados y asimilar los residuos generados por una población. En la práctica, el cálculo del indicador resulta de sumar cuatro categorías principales: tierras de cultivo y ganado para producir la dieta de forma sostenible (a veces también se incorporan cálculos no terrestres, de extensión de mar para la pesca); tierras de plantación

<sup>3</sup> Aunque utilizamos el término perspectiva o contabilidad basada en el consumo, por estar muy asentado en la literatura, sería más preciso hablar de perspectiva o responsabilidad de la "demanda interior" o "demanda doméstica", ya que la demanda interior de un país incluye no solo lo que contablemente se considera "consumo privado", sino también la "inversión privada" (en vivienda o maquinaria) y el "gasto público" (en consumo o inversión).

<sup>4</sup> En realidad, la perspectiva basada en la producción o territorial (en lo que resta utilizaremos ambos términos indistintamente) tiene dos variantes. Una, la interior, considera las emisiones que se producen dentro de las fronteras de un territorio. Otra variante es calcular las emisiones de una economía o país según el principio de "residencia", es decir, incluyendo las emisiones realizadas en la producción en el extranjero de los residentes del país y excluyendo las emisiones de los no residentes en su producción en el territorio nacional. En este artículo nos referimos siempre al término emisiones territoriales sin más especificaciones, ya que no nos interesan las diferencias entre las dos variantes y las diferencias cuantitativas entre las "emisiones interiores" y las "emisiones residenciales" son normalmente pequeñas, puesto que la mayor parte de las emisiones de los residentes se dan en su país de residencia.

<sup>5</sup> Para el caso español ver Roca et al. (2013). El supuesto de tecnología constante para calcular las emisiones asociadas a las importaciones puede considerarse adecuado —y no solo una aproximación a falta de datos— cuando el objetivo no es calcular las emisiones asociadas a (o "contenidas en") las importaciones, sino las "ahorradas" o "evitadas" por las importaciones de un país (véase una aplicación al caso español en Arto et al., 2014).

de bosques para obtener madera y papel; tierra ocupada como suelo urbano o para diferentes tipos de infraestructuras; y, por último, tierras forestales necesarias para absorber a través de la fotosíntesis las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el uso de energía fósil. De esta forma, sería posible comparar el espacio físico de una región con el espacio ecológico utilizado, o bien comparar las huellas ecológicas per cápita de diferentes países o regiones, o incluso comparar la huella ecológica de diferentes personas u hogares. Esta huella se mide en unidades de superficie (como las hectáreas) y es muy fácil de entender. El éxito de difusión de esta cuantificación radica en su simplicidad pero en esto residen también sus debilidades metodológicas. Una de las debilidades más importantes es el hecho de que suma ocupaciones efectivas de espacio con ocupaciones potenciales (como la absorción de carbono en superficie forestal que nunca se producirá). Las mismas ocupaciones efectivas pueden tener efectos muy diversos: no es lo mismo la urbanización que la agricultura intensiva o que la agricultura ecológica. Además, ni la demanda de recursos naturales ni la asimilación de residuos pueden siempre medirse en unidades de superficie y a veces solo es posible aplicando traducciones muy discutibles (Martínez Alier y Roca Jusmet, 2013).

Las limitaciones metodológicas de la huella ecológica no se encuentran en otros usos del término que son los que nos interesan en este artículo y que, a pesar de encontrar dificultades derivadas de la calidad de los datos disponibles, no se enfrentan a similares problemas de medida. Es el caso (ver apartado siguiente) de la "huella de carbono" que se utiliza para medir el conjunto de emisiones de carbono (y, a veces, por extensión, de GEI) que son necesarias directa o indirectamente para abastecer las demandas de un país o de una familia o para llevar a término una determinada actividad. Es también el caso de la "huella de materiales" (ver apartado 4) o de otras huellas ambientales, que no consideramos aquí por cuestión de espacio, como la "huella hídrica" o la "huella territorial", que miden el volumen total de agua y la cantidad real de superficie, respectivamente, necesarias para obtener los productos que consumimos (*water footprint* y *land footprint*).

En lo que sigue, dejamos de lado el cálculo de la huella ecológica en términos de superficie y nos referiremos al uso del término "huella de carbono" en unidades de masa de CO<sub>2</sub> y a la cuestión de las desiguales responsabilidades en el problema global del cambio climático (apartado 2); a las responsabilidades en los efectos de la contaminación regional y local que muchas veces quedan invisibilizadas debido al comercio internacional, para lo cual tomaremos como ejemplo un estudio sobre la mortalidad derivada de las emisiones de partículas (apartado 3); y, por último, al concepto "huella de materiales" que tiene más relevancia (aunque muchas más dificultades de estimación) que el "consumo (o uso) doméstico de materiales" que es el indicador más utilizado en la metodología de la contabilidad de flujo de materiales (MFA por sus siglas en inglés) (apartado 4). Finalmente, extraemos algunas breves conclusiones (apartado 5).

Los datos utilizados en este artículo proceden de fuentes internacionales. Los datos de "huellas" y desplazamiento de impactos ambientales requieren siempre tener en cuenta las producciones de los diferentes países (o regiones) que directa e indirectamente son necesarias para mantener las importaciones de los diferentes países y para ello utilizan la metodología input-output tan habitual actualmente en el análisis de las relaciones entre actividades económicas y presiones ambientales.<sup>6</sup>

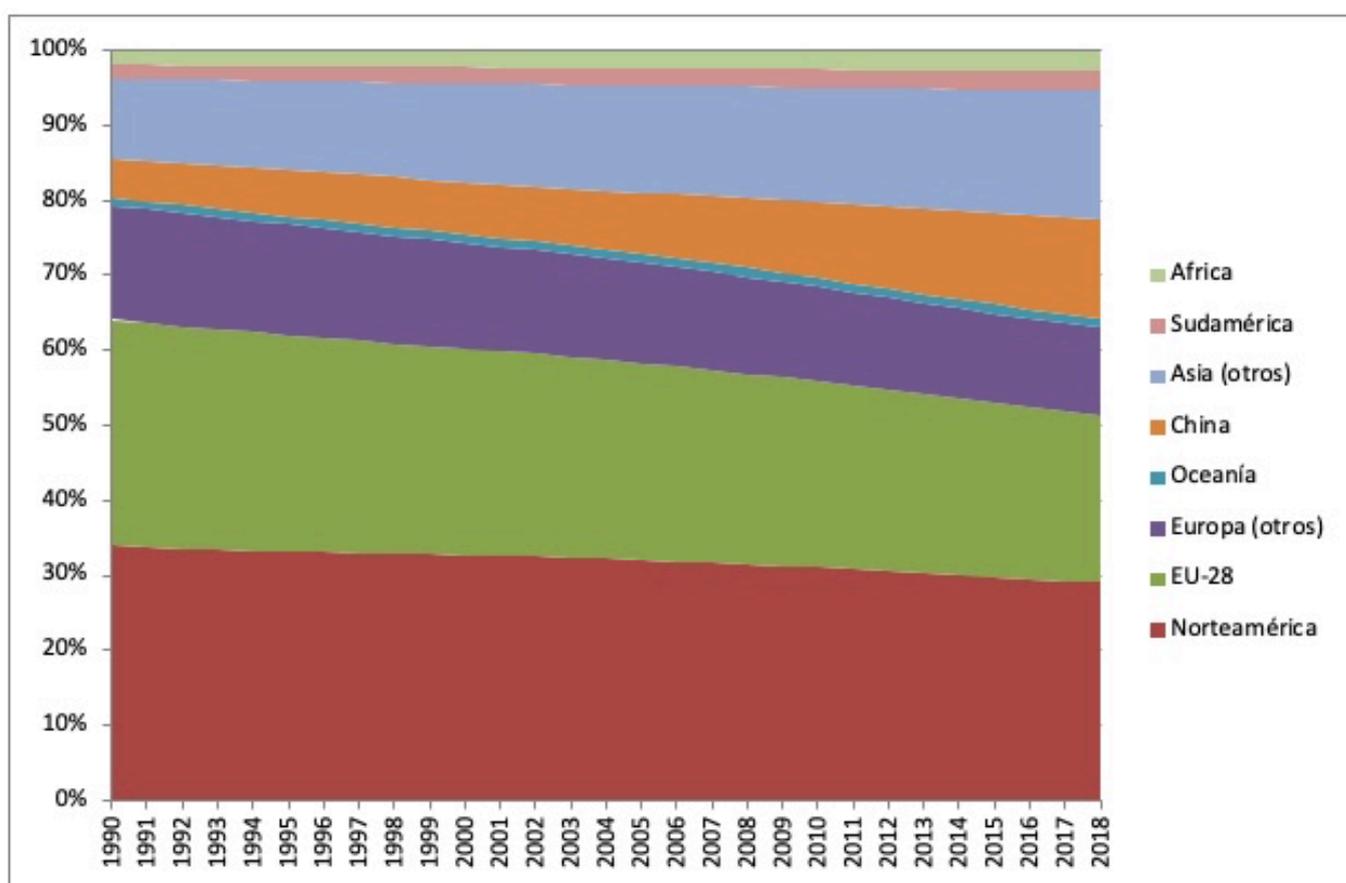
## **LA HUELLA DE CARBONO Y LAS RESPONSABILIDADES EN EL PROBLEMA DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

El enfoque "territorial" es el que utilizan los inventarios oficiales de emisiones de GEI y en él se basan actualmente los compromisos, negociaciones y declaraciones de intenciones que se llevan a cabo en el

<sup>6</sup> Las primeras aportaciones sobre "huella ecológica" no adoptan este enfoque input-output, pero bien pronto surgieron propuestas de emplear las tablas input-output para su cálculo (ver Bicknell et al., 1998).

marco del convenio internacional sobre cambio climático de las Naciones Unidas, como el pasado Protocolo de Kioto o el acuerdo de la Conferencia de París de 2015. Las estadísticas habituales (de base territorial) ya muestran que existe una injusticia climática, no solo a nivel intergeneracional (trasladando con nuestro comportamiento problemas a las generaciones más jóvenes y a las futuras, aún no nacidas) sino también intrageneracional, porque la contribución de los ricos a las emisiones actuales es muy desproporcionada, como muestran las estadísticas sobre emisiones per cápita de los países o el contraste entre la proporción de población que vive en los países ricos y su peso relativo en las emisiones mundiales. En cambio el impacto del cambio climático afecta, y previsiblemente afectará, principalmente y de forma más grave, a las personas pobres (Stern, 2006; IPCC, 2014; Diffenbaugh and Burke, 2019).

**FIGURA 1**  
**EMISIONES (TERRITORIALES) ACUMULADAS DE CO<sub>2</sub> DESDE MEDIADOS DEL SIGLO XVIII**  
**POR REGIÓN DEL MUNDO, 1990–2018 (% DEL TOTAL)**



Nota: el territorio UE-28 está definido cuando el Reino Unido aún no había abandonado la Unión Europea.

Fuente: elaboración propia con datos tomados de OWID (2020) (que construye la serie con datos de Global Carbon Project y Carbon Dioxide Information Analysis Centre). No se incluyen las emisiones derivadas de los cambios en los usos del suelo.

Aún más desiguales son las emisiones vistas desde el punto de vista histórico. Esto se puede ver en la Figura 1, que representa las emisiones acumuladas desde mediados del siglo XVIII del principal gas de efecto invernadero, el CO<sub>2</sub> de diferentes regiones en proporción del total. Las emisiones históricas se concentran básicamente en los países más tempranamente industrializados: lo que hoy es la Unión Europea (y el Reino Unido) y Norteamérica. Sus emisiones representaban el 64,1% de las emisiones totales en 1990, mientras que, si añadimos el resto de Europa, ascendían al 79,2%. Solo recientemente ha habido cambios significativos, sobresaliendo el papel de China, que pasa de representar el 5,2% de las

emisiones totales acumuladas en 1990, al 13,2% en 2018. Mientras, el peso de Norteamérica y la Unión Europea se reduce de forma considerable en el período, bajando hasta representar poco más de la mitad del total, un 51,4%. La reducción de la importancia relativa de las emisiones acumuladas de las regiones ricas es, lógicamente, mucho menor que la que se da en el caso de las emisiones anuales, donde la caída en la importancia relativa de Norteamérica y la Unión Europea ha sido mucho mayor, siendo China el país que más CO<sub>2</sub> emite actualmente. Pero el problema del cambio climático es resultado de concentraciones de emisiones en la atmósfera provocadas por las emisiones acumuladas, por lo que la consideración de los datos de emisiones anuales de forma aislada llevaría a infravalorar la responsabilidad de estas regiones en la contribución al problema.

Es, por supuesto, importante conocer las emisiones en un territorio, ya que las autoridades del país son las que sobre todo pueden influir con sus políticas en las tecnologías aplicadas en la producción dentro de su territorio. Sin embargo, la perspectiva "basada en el consumo" da una mejor aproximación a las diferentes responsabilidades de los distintos países (o territorios) ya que nos indica las emisiones totales generadas para mantener los estilos de vida de los ciudadanos de los diferentes lugares, independientemente de dónde se generen. La diferencia entre las emisiones desde la perspectiva del consumo y las territoriales coincide con la diferencia entre las emisiones "contenidas" en las importaciones y las emisiones "contenidas" en las exportaciones y se relaciona directamente con lo que podemos llamar la "balanza comercial de emisiones" (Weidemann et al., 2006; Peters y Hertwich, 2008; Hertwich y Peters, 2009; Serrano y Dietzenbacher, 2010). Cuando tal diferencia es positiva, se suele decir que el país es un "importador neto de emisiones", mientras que unas emisiones asociadas a las importaciones inferiores a las emisiones asociadas a las exportaciones indicarían que el país es "exportador neto de emisiones"<sup>7</sup>.

Como señalábamos en la introducción, un término que en los últimos años se ha popularizado para indicar el total de emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la demanda interna de un país, o "basadas en el consumo", es el término huella de carbono. En palabras de dos de los autores que más han contribuido al análisis de la cuestión: "La huella de carbono es una medida de la suma total de emisiones de dióxido de carbono que es causada directa o indirectamente por una actividad o es acumulada sobre las fases de vida de un producto" y especifican que la definición se puede aplicar a "individuos, poblaciones, gobiernos, compañías, organizaciones, procesos, sectores industriales,..." (Wiedmann y Mix, 2008, p.5). Lo más frecuente es utilizar unidades de masa de CO<sub>2</sub>, por ejemplo, toneladas (cuando incluye a otros GEI, se agregan según la masa de CO<sub>2</sub>-equivalente, que es la suma ponderada de masas de los diferentes GEI para tener en cuenta sus diferentes potenciales de retención de calor en la atmósfera).

Seguidamente, analizamos algunos datos comparando las emisiones anuales de diversos países en términos territoriales y en términos de huella de carbono.

<sup>7</sup> El concepto es claro. Sin embargo, la terminología es discutible. En el texto hemos utilizado la que ahora es más habitual, y que lleva, por ejemplo, a situar a China, como veremos, como el principal país "exportador neto de emisiones", aunque en nuestra opinión sería más intuitivo decir que China es "importadora neta" de emisiones: exporta bienes que, como contrapartida, implican "importar" emisiones. En cualquier caso, seguramente ya es demasiado tarde para cambiar el lenguaje y lo importante es entender el significado de los números y no qué término se utiliza.

**TABLA 1**  
**EMISIONES Y HUELLA DE CARBONO DE VARIOS PAÍSES, 2017**

	Emisiones territoriales de CO <sub>2</sub> (Mt) (1)	Huella de carbono de CO <sub>2</sub> (Mt) (2)	Diferencia entre (2) y (1) en % respecto a (1)	Emisiones territoriales per cápita CO <sub>2</sub> (t)	Huella de carbono per cápita de CO <sub>2</sub> (t)
Unión Europea-28	3.518,0	4.245,6	20,7%	6,9	8,3
Estados Unidos	5.270,7	5.686,6	7,9%	16,2	17,5
Japón	1.188,1	1.393,1	17,3%	9,3	10,9
China	9.838,8	8.548,5	-13,1%	6,9	6,0
Rusia	1.647,0	1.372,7	-16,7%	11,3	9,4
India	2.457,0	2.259,7	-8,0%	1,8	1,7
Brasil	463,8	513,1	10,6%	2,2	2,5
Total mundial	36.153,3	36.153,3	0,0%	4,8	4,8

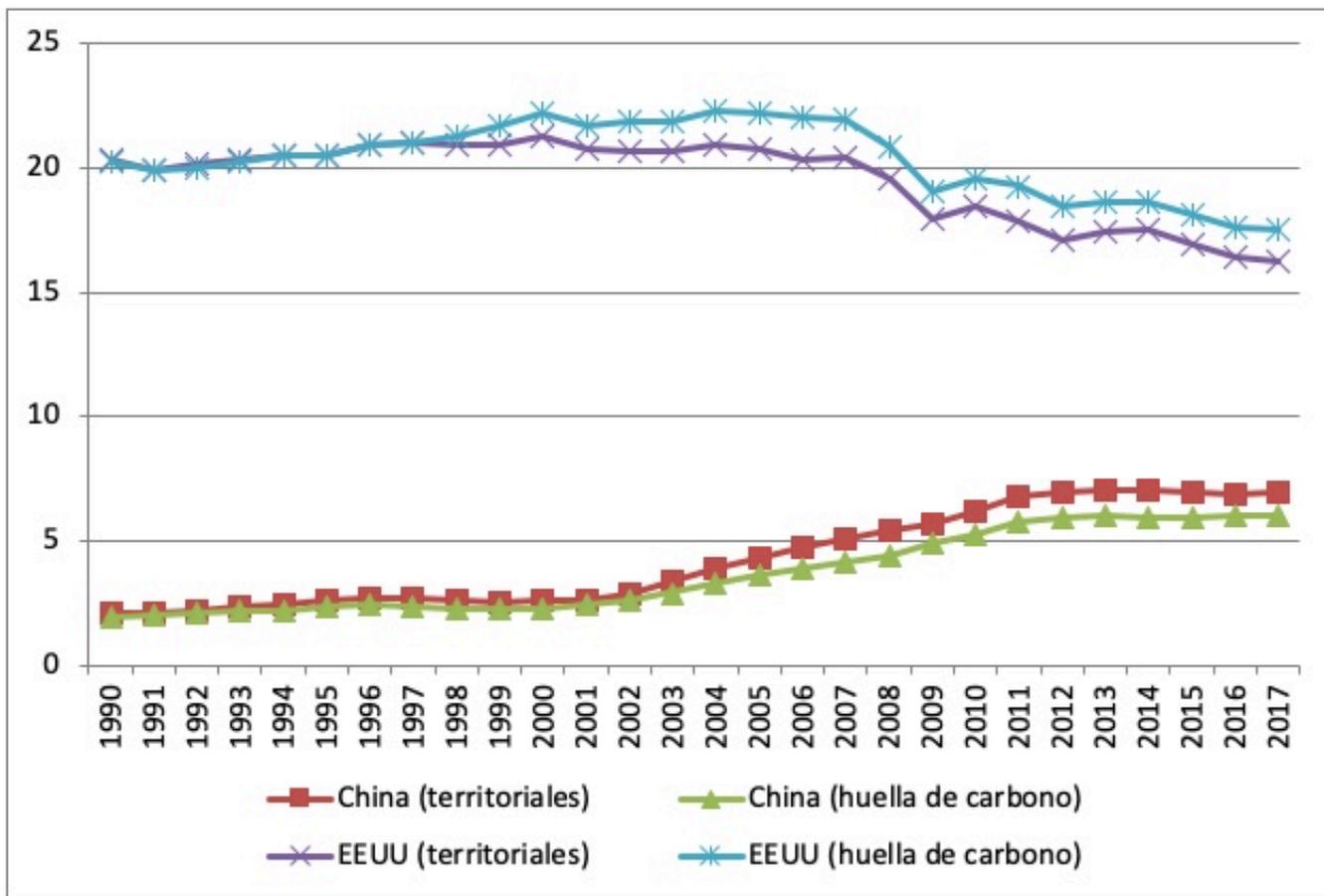
Fuente: OWID (2020).

De los datos de la Tabla 1 destacan varios aspectos. El primero es que la huella de carbono de los países más ricos aquí considerados es mayor que sus emisiones territoriales o, en otras palabras, las emisiones asociadas a sus importaciones son mayores que las asociadas a sus exportaciones y ello en una magnitud nada despreciable. El segundo aspecto, la contrapartida inevitable de lo anterior, es que en otros países pasa lo contrario. Este es el caso de China, cuyas emisiones debidas a su demanda doméstica (su huella de carbono) es una cuarta parte menor que sus emisiones residenciales. Ello se suele describir diciendo que China es el mayor "exportador neto" de emisiones. Como vemos, en general, los datos apuntan a que la responsabilidad de los países ricos medida por su huella de carbono es mayor que la que se deduce de las estadísticas oficiales.

En el caso de los GEI, la distinción entre las emisiones generadas en el país y la huella de carbono conecta con el vivo debate político sobre cómo evaluar la contribución relativa de países o regiones diferentes a un problema global, como es el cambio climático. Una implicación política es que algunos territorios podrían estar reduciendo sus emisiones, a pesar de estar aumentando su huella de carbono, porque las producciones más intensivas en emisiones se trasladan a otros lugares vía importaciones. Esto podría darse precisamente como respuesta a las políticas frente al cambio climático (caso en el cual podríamos hablar de "fuga de carbono" (*carbon leakage*) en sentido fuerte)<sup>8</sup> o por otras razones diferentes ("fuga de carbono" en sentido débil) (Davis y Caldeira, 2010).

<sup>8</sup> Esta posibilidad, en el caso de aplicar una política de poner precio al carbono, es la que ha dado lugar al debate sobre los aranceles basados en las emisiones de carbono (*carbon border adjustment mechanism*) sobre países que no apliquen medidas similares (Baranzini et al., 2017; Rocchi et al., 2018).

**FIGURA 2**  
**EMISIONES TERRITORIALES Y HUELLA DE CARBONO, ESTADOS UNIDOS Y CHINA,**  
**1990-2017, TNCO<sub>2</sub> PER CÁPITA**

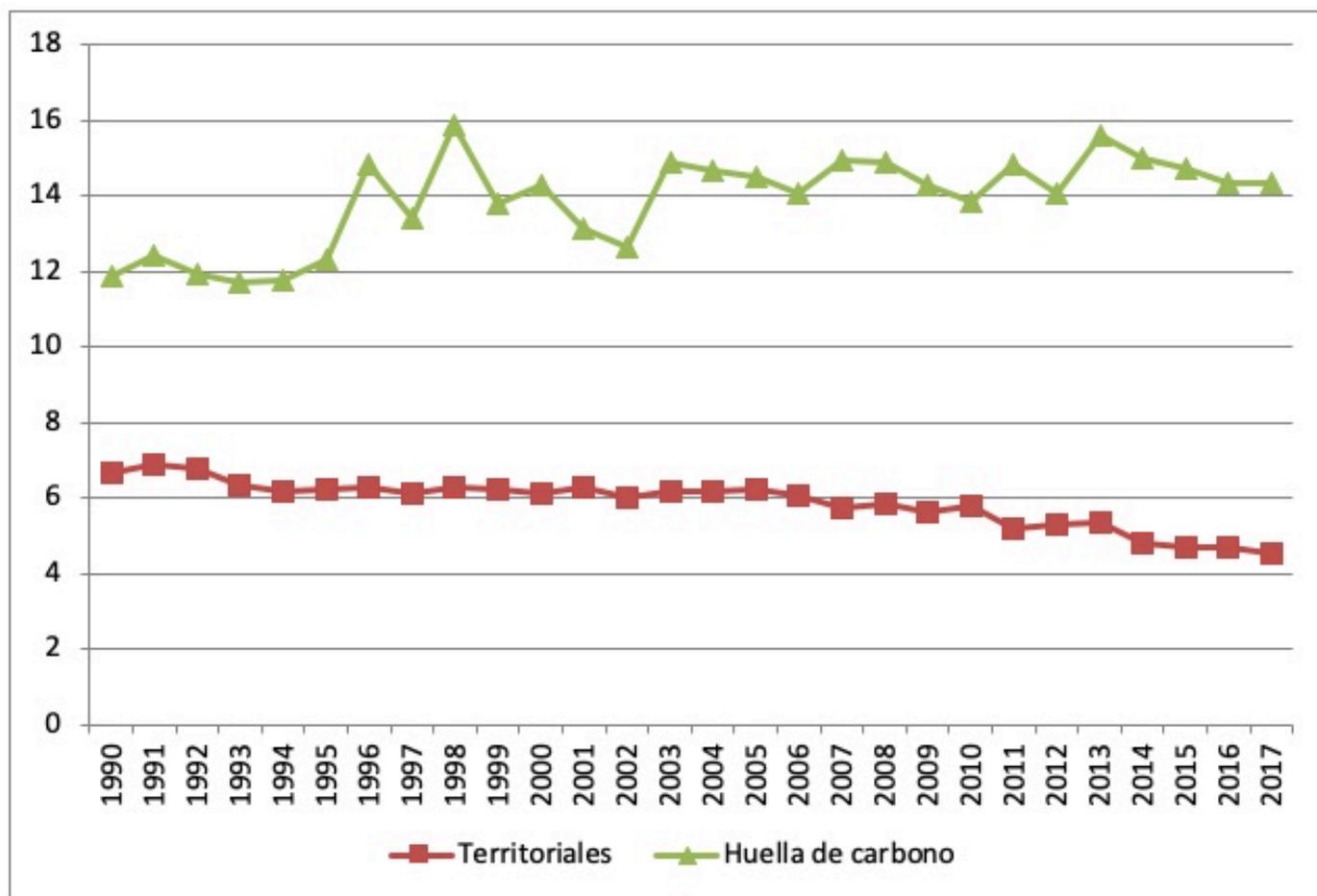


Fuente: elaboración propia con datos tomados de OWID (2020).

En la figura 2 podemos ver la evolución de las emisiones según ambas perspectivas para los que ahora son los primeros emisores de CO<sub>2</sub>. En el caso de los Estados Unidos, las emisiones desde la perspectiva de la producción eran ligeramente superiores al principio del período, situación que se invierte a partir de 1998, aumentando progresivamente la diferencia en favor de las emisiones desde la perspectiva del consumo en los 2000. En el caso de China, las emisiones partirían siendo casi parejas en el 1990, pero las emisiones desde la perspectiva de la producción aumentan significativamente más que las emisiones desde la perspectiva del consumo en los años 2000s, de forma inversa a lo ocurrido en los Estados Unidos, lo que refleja desde el punto de vista de las emisiones de carbono la apertura de la economía china y su papel exportador.

Un ejemplo claro de país con unas emisiones muy superiores cuando se toma la perspectiva del consumo es Suiza. Como se puede observar en la Figura 3, estas emisiones eran prácticamente el doble que las emisiones desde la perspectiva de la producción al principio del período, mientras que en 2017 son más del triple. Mientras que las emisiones desde la perspectiva de la producción experimentan un fuerte descenso, las emisiones desde la perspectiva del consumo aumentan de forma significativa a lo largo del período.

**FIGURA 3**  
**EMISIONES TERRITORIALES Y HUELLA DE CARBONO, SUIZA, 1990–2017, TNCO<sub>2</sub>**  
**PER CÁPITA**



Fuente: elaboración propia con datos tomados de OWID (2020).

Para acabar este apartado, queremos destacar varias cosas. En primer lugar, sería interesante ver desde una perspectiva histórica de muy largo plazo las diferentes huellas de carbono acumuladas por las poblaciones de diferentes países o regiones. Sin embargo, en nuestro conocimiento no existen trabajos que estimen las emisiones acumuladas de las poblaciones de diferentes territorios desde esta perspectiva durante el conjunto del siglo XX y menos aún desde períodos anteriores.

En segundo lugar, vale la pena enfatizar que, desde el punto de vista de la responsabilidad, los cálculos de la huella de carbono no sustituyen totalmente, sino que complementan, a los de las emisiones territoriales, ya que los países tienen, por supuesto, una responsabilidad en las emisiones que generan las tecnologías aplicadas en su territorio, aunque sea para producir bienes consumidos en otros lugares. Así, por ejemplo, un país cuya principal fuente para producir electricidad sea el carbón (pensemos, por ejemplo, en China) tenderá a tener importantes emisiones indirectas de todos los sectores que utilicen electricidad. Es más, de alguna forma, las autoridades políticas de los países pueden considerarse también responsables de emisiones que no son contabilizadas en la huella de carbono, ni tampoco en las emisiones territoriales. Pensemos, por ejemplo, en Noruega, un país líder en términos relativos en la compra de vehículos eléctricos. En el año 2016, diversos grupos ecologistas iniciaron una batalla legal contra los proyectos de exploración de petróleo y gas en nuevas zonas alegando que esto iba en contra de la política contra el cambio climático. Diversos tribunales —y finalmente el tribunal supremo— fallaron en contra de

los ecologistas, argumentando que la explotación de nuevos recursos fósiles no iba contra los acuerdos climáticos.<sup>9</sup> Es cierto que no van contra el acuerdo de París, ya que, según dicho acuerdo, las emisiones de los combustibles fósiles extraídos en Noruega no son asignadas a este país (excepto las de la actividad de extracción) sino a los países que queman estos combustibles. Pero, que no vayan contra el acuerdo de París, no impide argumentar que es una contradicción política querer abanderar la descarbonización y seguir extrayendo petróleo y gas.

En tercer lugar, es obvio que desde el punto de vista de las responsabilidades es importante no quedarse a nivel de países como un conjunto, sino ir a niveles más desagregados. El análisis puede llegar incluso a nivel de familias individuales. En este sentido, nuestros trabajos apuntan a que, en el caso de España, la huella de carbono del consumo privado de las familias por niveles de gasto es, en promedio, prácticamente proporcional al nivel de gasto (Roca y Serrano, 2007; Roca et al., 2013).

### **El caso de las ciudades**

Un caso particular de análisis de huella de carbono versus emisiones territoriales es el de las ciudades. En los últimos años, existe, afortunadamente, un compromiso de muchas ciudades para mitigar las emisiones de GEI. Muchas de ellas —como las agrupadas en lo que se conoce como el grupo *C40 Cities Climate Leadership Group* (<https://www.c40.org/>)— se han marcado objetivos cuantitativos de reducción porcentual de las emisiones. Para medir los avances en esta dirección, se necesita tener indicadores a nivel de ciudad. Y ciertamente muchas ciudades elaboran indicadores de emisión de GEI a nivel municipal. El problema es que dichos indicadores normalmente se limitan a medir las emisiones dentro de la ciudad con algún añadido, como son las emisiones atribuidas a la electricidad consumida en la ciudad, aunque las centrales eléctricas no se sitúen dentro de la misma (lo que exige considerar un *mix* energético de referencia), o las emisiones generadas por los residuos urbanos, aunque las plantas de gestión de los residuos estén fuera de los límites administrativos de la ciudad. Es decir, se consideran las emisiones territoriales con algún añadido y no la huella de carbono de los habitantes de la ciudad.<sup>10</sup>

En un estudio llevado a cabo para las 79 ciudades que formaban parte del grupo C40 Cities (2018), se estimó su huella de carbono usando, precisamente, un modelo global multirregional input-output aplicado al consumo de dichas ciudades, utilizando el año 2011 como referencia. Su conclusión fue que la inmensa mayoría de las ciudades consideradas (y, en particular, las de países situados en Europa, Norteamérica y Oceanía) tenían emisiones de GEI basadas en el consumo mayores (y en muchos casos varias veces mayores) que las emisiones basadas en el análisis tradicional (C40 Cities, 2018).

Veamos, por ejemplo, el caso de Barcelona. Según el citado estudio, la huella de carbono (incluyendo diversos GEI) de sus habitantes sería en promedio de 9,36 TnCO<sub>2</sub>-equivalente (algo superior a la media española), cuando los datos que uno puede encontrar en la web del ayuntamiento y que orientan el debate político son dramáticamente más pequeños: de 2,36 en 2011 y 2,11 en 2017 (Ayuntamiento de Barcelona, 2018)<sup>11</sup>.

En definitiva, existe una tensión entre la necesidad de disponer de datos a nivel de las ciudades comprometidas con objetivos de reducción y la dificultad de disponer de datos que tengan en cuenta las emisiones "contenidas" en las importaciones de los bienes y servicios demandados en una ciudad, lo que

<sup>9</sup> Véase la noticia "Noruega seguirá explorando petróleo en el Ártico", *La Vanguardia*, 24.12.2020.

<sup>10</sup> A las emisiones en el territorio a veces se les denomina emisiones de alcance 1, mientras que al añadir algunas emisiones como las ligadas a producir la electricidad consumida en la ciudad se habla de emisiones de alcance 2. Por último, la huella de carbono representaría las emisiones de alcance 3 (véase C40 cities, 2018).

<sup>11</sup> Una parte —pero no la más importante— de la diferencia se debe, muy probablemente, a que el *mix* eléctrico supuesto en los datos del ayuntamiento es el de Cataluña, mientras que en el del estudio según la perspectiva del consumo, la referencia es el *mix* eléctrico español, siendo el *mix* catalán menos intensivo en emisiones de carbono debido al mayor peso relativo de la energía nuclear.

hemos llamado huella de carbono. Los avances a nivel de ciudad en algunos terrenos, como pueden ser unas dietas menos carnívoras o una disminución en la distancia media de dónde vienen los alimentos, pueden no incidir en absoluto en los indicadores de sostenibilidad a nivel de ciudad. La cuestión es aún más problemática cuando algunas acciones que pueden considerarse positivas en términos ambientales, como puede ser la relocalización de actividades agrarias e industriales en una ciudad, podrían provocar paradójicamente un aumento de las emisiones contabilizadas.

### **Contaminación atmosférica regional y local: desplazamiento físico de presiones ambientales y desplazamiento vía comercio**

En el caso de los impactos ecológicos locales y regionales, una forma de afectar unos territorios desde otros es el desplazamiento físico. La atmósfera no tiene fronteras y los contaminantes pueden desplazarse a otros territorios cruzando, a veces, largas distancias (también los vertidos a las aguas se trasladan cuenca abajo o —en este caso de forma muy intencionada— los residuos sólidos se exportan a otros lugares).

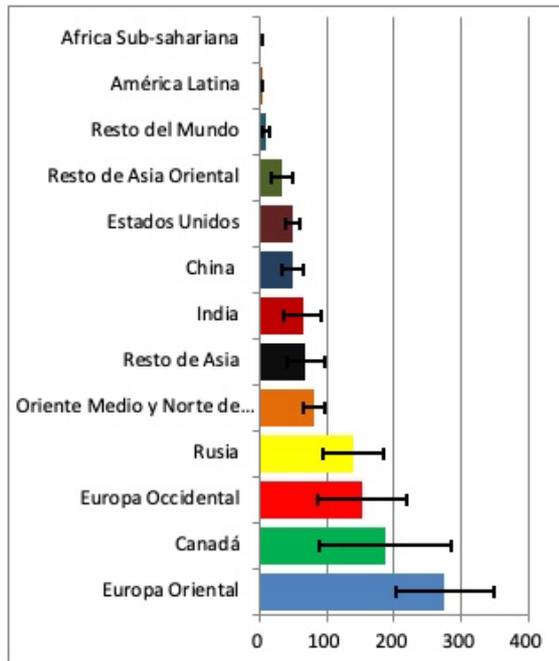
Ahora bien, hay otra forma de "desplazamiento". Se trata de lo que acertadamente se ha llamado "desplazamiento de carga ambiental" (*environmental load displacement*) (Muradian y Martínez Alier, 2002), que se produce cuando un territorio importa mercancías, evitando las presiones ambientales directa e indirectamente asociadas con la obtención de estos bienes. Es decir, los impactos ecológicos se desplazan así a otros espacios en donde se sufren las consecuencias. Adviértase que este desplazamiento es muy diferente del que se da debido a generar problemas globales.

En este apartado, vale la pena ilustrar la cuestión con un trabajo específico. Se trata de Zhang et al. (2017), en el cual se analiza la distribución mundial de las muertes prematuras estimadas debido a un contaminante atmosférico específico generado por las actividades económicas y cuáles son las demandas domésticas —los "consumos"— que las provocan. El contaminante analizado son las partículas PM2.5. En su análisis, utilizan un modelo input-output multirregional, con 13 regiones, ampliado ambientalmente para tener en cuenta las emisiones de partículas de cada sector económico en cada una de las regiones. Utilizan, además, modelos de dispersión geográfica de las partículas y de sus efectos en la mortalidad prematura en cada región por diversas enfermedades (tales como enfermedades cardiovasculares, respiratorias o cánceres).

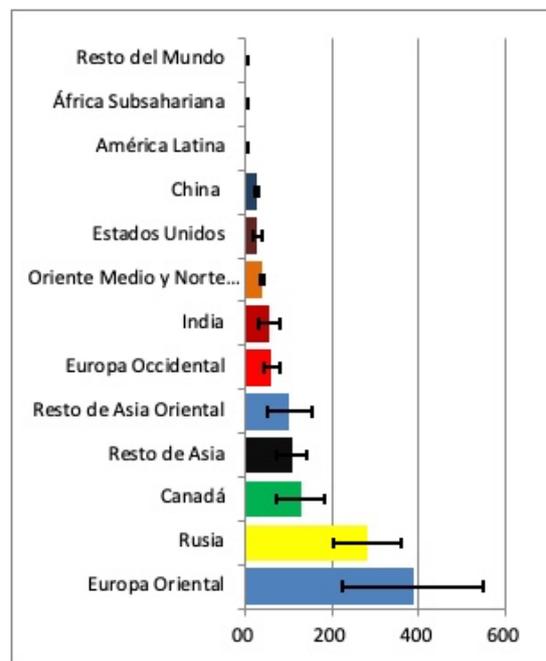
En primer lugar, está el desplazamiento físico debido al transporte fronterizo de partículas. Por ejemplo, en China —como era esperable en un país de tal dimensión— el 96,5% de las muertes son debidas a la producción en el mismo país (Zhang et al., 2017). Pero hay un caso, el de Canadá, en el que algo más de la mitad de las muertes son debidas a emisiones producidas en otros lugares (la mayoría de ellas, un 47,2% de las muertes prematuras totales son debidas a las emisiones generadas en EEUU). Otro ejemplo es que el 9,8% de las muertes en "Europa Occidental" son debidas a emisiones generadas en "Europa Oriental". En todos los casos hay, evidentemente, desplazamientos de emisiones en el sentido inverso. Un indicador muy relevante de los "ganadores" y "perdedores", según esta perspectiva territorial o de la "producción", es comparar las muertes que una región genera fuera de su territorio con las muertes que se producen en la región debido a producciones de otras regiones (Figura 5). Dadas las grandes diferencias demográficas de las diferentes regiones, es mejor expresarlas en términos per cápita, como hemos hecho en las figuras de este apartado.

**FIGURA 4**  
**MUERTES PREMATURAS (POR MILLÓN DE HABITANTES) DEBIDAS AL DESPLAZAMIENTO FÍSICO DE PARTÍCULAS PM2,5 ENTRE REGIONES**

Muertes prematuras (por millón de habitantes) fuera de la región debidas a la producción de emisiones de PM2,5 en cada región

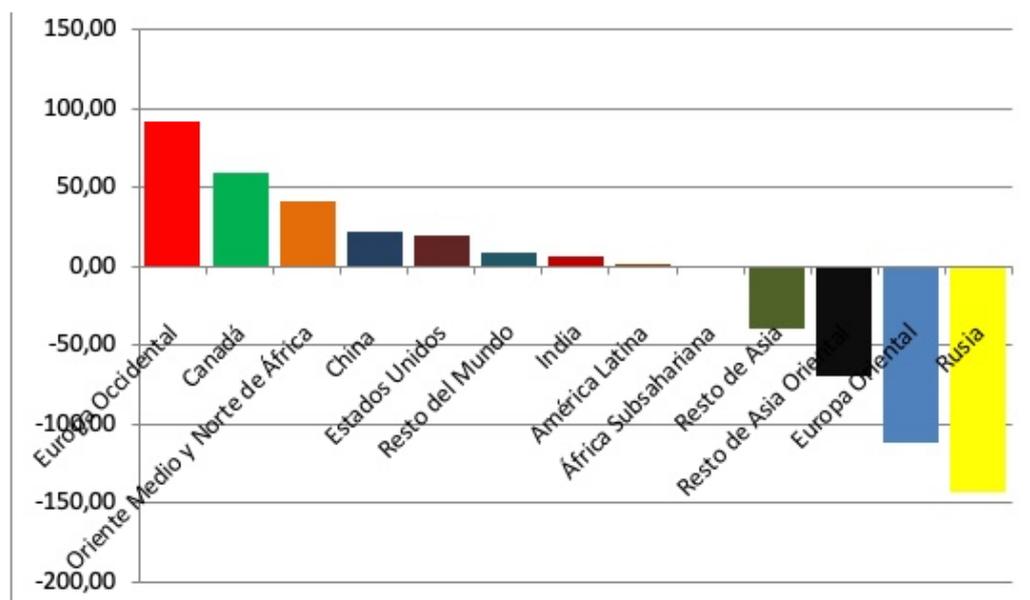


Muertes prematuras (por millón de habitantes) en cada región debidas a la producción de emisiones de PM2,5 en otras regiones



Fuente: elaboración propia en base a los datos de Zhang et al. (2017).

**FIGURA 5.**  
**DIFERENCIA ENTRE LAS MUERTES PREMATURAS (POR MILLÓN DE HABITANTES) FUERA DE LA REGIÓN DEBIDAS A LAS EMISIONES DE PM2,5 DE UNA REGIÓN Y LAS MUERTES EN ESTA REGIÓN DEBIDAS A LAS EMISIONES PRODUCIDAS EN OTRAS REGIONES**



Fuente: elaboración propia en base a los datos de Zhang et al. (2017).

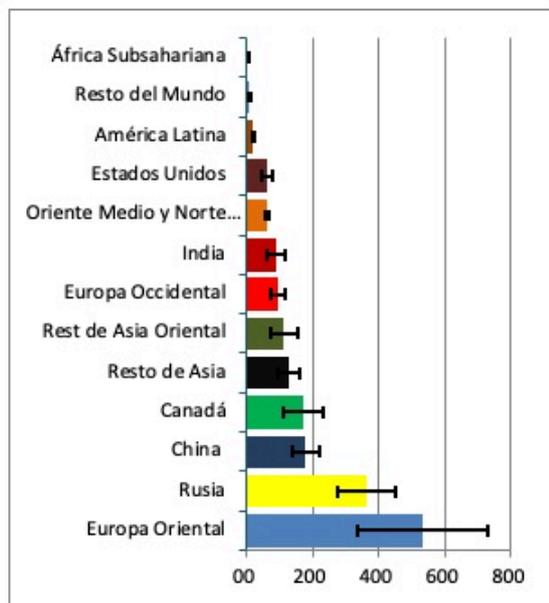
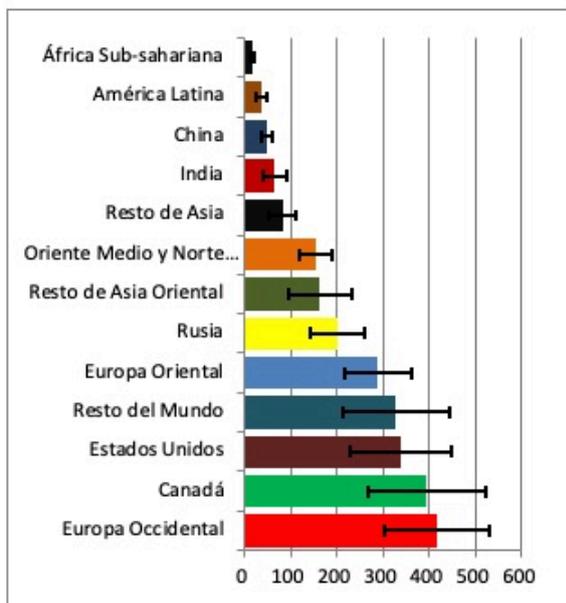
Pero, mucho más importante que el desplazamiento "físico", es el desplazamiento "vía comercio" (que no tiene otro límite que la capacidad para pagar las mercancías y su transporte, aunque sea desde el otro lado del mundo). Si China produce bienes que son comprados en EEUU para ser consumidos en este país, las emisiones generadas en China —y sus mortalidades asociadas— serán debidas al consumo de EEUU. En palabras de los autores del estudio: "Nuestros resultados revelan que los impactos transfronterizos sobre la salud de la contaminación por PM2,5 asociados con el comercio internacional son mayores que los asociados con el transporte de la contaminación a larga distancia" (Zhang et al., 2017, p.705).

Los resultados de la combinación de ambos transportes se muestran en las figuras 6 y 7, donde aparecen reflejadas las muertes en cada región desde la "perspectiva del consumo". El patrón que ahora aparece es claro, siendo las regiones más ricas, como Europa Occidental, Estados Unidos y Canadá, los países que más "externalizan" muertes en términos netos per cápita debidas a su consumo, mientras que los que más las padecen son países con tecnologías especialmente contaminantes, como Europa Oriental, Rusia y China.

**FIGURA 6**  
**MUERTES PREMATURAS (POR MILLÓN DE HABITANTES) POR EMISIONES DE PM2,5 DESPLAZADAS ENTRE REGIONES (DESPLAZAMIENTO FÍSICO Y VÍA COMERCIO)**

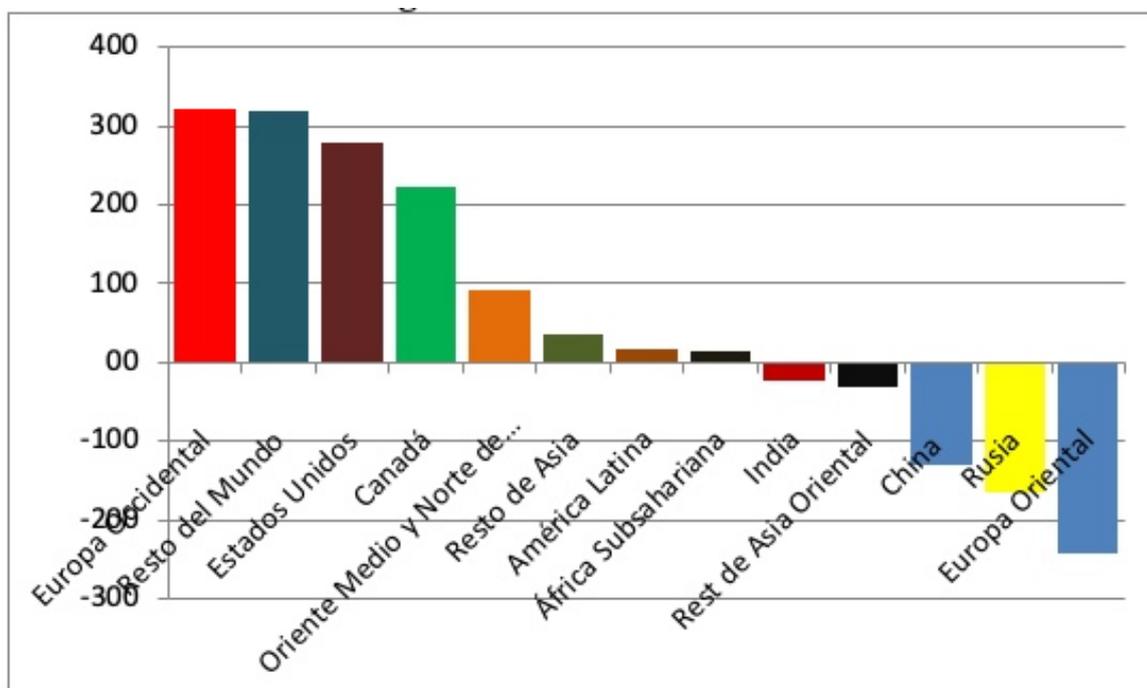
Muertes prematuras (por millón de habitantes) fuera de la región por partículas PM2,5 debidas a la producción de bienes demandados en cada región.

Muertes prematuras (por millón de habitantes) en cada región por partículas PM2,5 debidas a la producción de bienes demandados en otras regiones.



Fuente: elaboración propia en base a los datos de Zhang et al. (2017).

**FIGURA 7**  
**DIFERENCIA ENTRE LAS MUERTES PREMATURAS (POR MILLÓN DE HABITANTES)**  
**FUERA DE LA REGIÓN POR PARTÍCULAS PM2,5 DEBIDAS A LA PRODUCCIÓN DE**  
**BIENES DEMANDADOS EN CADA REGIÓN Y LAS MUERTES EN LA REGIÓN DEBIDAS A LA**  
**PRODUCCIÓN DE BIENES DEMANDADOS EN OTRAS REGIONES**



Fuente: elaboración propia en base a los datos de Zhang et al. (2017).

### CONTABILIDAD DE FLUJOS DE MATERIALES Y "HUELLA DE MATERIALES"

No disponemos de —y no creemos que se pueda obtener— una buena única medida agregada del impacto ambiental de las actividades humanas sobre el medio ambiente. Pero sí tenemos indicadores del "tamaño físico" de las economías, los más importantes de los cuales se obtienen a partir de la llamada contabilidad de flujo de materiales, una importante aportación de la economía ecológica. Aunque no miden los impactos ambientales de la actividad humana, tienen una fuerte relación con estos, dado que gran parte de dichos impactos se relacionan con la extracción y transporte de materiales (sean combustibles fósiles, otros minerales o productos agropecuarios) (Martínez Alier, 2004).

El consumo doméstico o interior de materiales de un país se suele utilizar como indicador básico de los materiales requeridos por dicho país.<sup>12</sup> Se define como la suma en toneladas de la extracción interna de materiales más las importaciones menos las exportaciones; en definitiva, se trata de la suma de la extracción directa menos la "balanza comercial física" (en toneladas) de materiales.<sup>13</sup> La situación de la mayoría de países ricos es que sus importaciones en toneladas son mayores que sus exportaciones, lo que se relaciona con el desplazamiento de impactos ambientales —origen de muchos conflictos ambientales como ha documentado el excelente trabajo de la red EJOLT (ver el *Global Atlas of Environmental Justice*, <http://www.ejatlast.org/>)— hacia países más pobres.

<sup>12</sup> Una limitación de la metodología es que no tiene en cuenta los usos de agua que generan muchos problemas y conflictos en muchos lugares del mundo.

<sup>13</sup> La "balanza comercial física" se considera a veces como la diferencia entre exportaciones e importaciones (como en el texto) o a veces como su inversa, en cuyo caso el consumo directo de materiales sería la *suma* de la extracción directa de materiales y la balanza comercial física.

Sin embargo, cabe argumentar que una mejor medida de tamaño físico de una economía nacional o regional debería incluir el total de materiales necesarios para posibilitar los productos que se importan o exportan y no solo la cantidad física importada o exportada. Es lo que se ha llamado enfoque en términos de "materias primas equivalentes" (MPE) (*raw material equivalent*), (European Commission/Eurostat, 2001). En definitiva, el consumo de materiales de cada país debería considerar la suma de la extracción doméstica más las importaciones en MPE (incluyendo los flujos indirectos de las importaciones) menos las exportaciones en MPE (incluyendo los flujos indirectos de las exportaciones) para lo cual es necesario aquí también adoptar una perspectiva input-output.<sup>14</sup> Es esto, lo que siguiendo la senda de lo que pasó en el análisis "basado en el consumo" de las emisiones de carbono, se ha denominado "huella de materiales" (*material footprint*).<sup>15</sup>

Esta sería una medida más adecuada para informar de los materiales que requiere una economía y también más relevante para la política ambiental, el debate sobre la injusticia ambiental y el análisis de los conflictos ambientales. Sin embargo, cabe destacar que, a diferencia del caso de las emisiones de GEI, donde la presión ambiental se puede sintetizar en un indicador numérico, como son las toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, las presiones ambientales ligadas a la extracción de materiales y a las infraestructuras para su transporte requieren del análisis complementario sobre dónde y cómo se extraen los materiales, cómo se transportan y cómo se transforman y dispersan los residuos.

**TABLA 2**  
**EXTRACCIÓN DOMÉSTICA DE MATERIALES Y HUELLA MATERIAL, 2017**

	Extracción doméstica de materiales (Mt) (1)	Huella material (Mt) (2)	Diferencia entre (2) y (1) en % respecto a (1)	Extracción doméstica de materiales per cápita (t)	Huella material per cápita (t)
Estados Unidos	6.543,9	10.538,8	61,0%	20,17	32,48
Alemania	956,0	18.880,0	97,5%	11,64	22,99
Francia	654,4	1.459,8	123,1%	10,07	22,46
España	467,6	1.118,4	139,2%	10,09	24,13
Japón	507,6	3.305,9	551,3%	3,98	25,93
China	33.245,4	29.432,1	-11,5%	23,59	20,88
Rusia	3.135,3	1.429,1	-54,4%	21,77	9,93
India	6.991,0	61.620,0	-11,9%	5,22	4,6
Brasil	4.138,7	3.636,0	-12,1%	19,77	17,37

Fuente: elaboración propia a partir de UN Environment (2020).

En la Tabla 2 podemos ver que países ricos como EEUU, Japón, Alemania, Francia o España tienen una huella material per cápita muy elevada y se caracterizan por depender masivamente de la extracción de materiales en otros territorios. Por ejemplo, en el caso español, su dependencia de materiales no extraídos en el propio territorio es mayor que la de materiales extraídos en el propio territorio. Un caso extremo es el de Japón, cuya huella material es más de seis veces mayor que su extracción directa de materiales.

<sup>14</sup> Para un trabajo en este sentido para Chile (y otros países latinoamericanos), véase Muñoz et al. (2009). En el trabajo se constata que la balanza comercial física de Chile (exportaciones menos importaciones) es mucho más importante cuando se considera en términos de materias primas equivalentes. Para un cálculo a nivel mundial, véase Wiedmann et al. (2015). Para un análisis de flujo de materiales para España desde una perspectiva histórica de largo plazo, véase Carpintero (2005).

<sup>15</sup> Normalmente —y tampoco en los datos de este artículo— no se contemplan lo que en la metodología de Eurostat (European Commission, 2001) se conoce como "extracción no utilizada"; es decir, materiales que se remueven pero sin entrar a formar parte del circuito económico (como, por ejemplo, residuos de la minería o tierras desplazadas por obras de infraestructuras).

## CONCLUSIONES

En este artículo hemos visto cómo el aumento del comercio internacional asociado a la globalización económica complica el análisis del metabolismo social de los países y regiones y de sus consecuencias. La mayoría de estadísticas y de políticas de mitigación de problemas ambientales siguen basándose únicamente en criterios de producción o territoriales sobre el lugar donde se genera la presión ambiental. Sin embargo, la importancia del comercio entre países y regiones lleva a que una correcta consideración de las responsabilidades en estos problemas requiera también de datos que tengan en cuenta las presiones ambientales causadas por las demandas internas de cada país o región. Es decir, datos que muestren las presiones desde una perspectiva "basada en el consumo" e indiquen la huella ambiental de las diferentes poblaciones. Hemos analizado la relevancia de esta perspectiva, tanto para el caso de presiones ambientales globales, como regionales o locales. Las importantes diferencias que se dan entre los indicadores desde ambas perspectivas en los diferentes casos analizados refuerzan la necesidad de complementar los indicadores habituales con datos sobre la huella ambiental de las diferentes poblaciones para tener una mejor información de las diferentes responsabilidades en los distintos problemas ambientales.

En el caso del cambio climático, el término "huella de carbono" (utilizado en un sentido más modesto, pero más riguroso que el término "huella ecológica") o emisiones desde el "punto de vista del consumo" da una medida de las responsabilidades de las poblaciones de los diferentes países y regiones en el cambio climático más adecuada que las emisiones territoriales (aunque estas también son relevantes desde el punto de vista de las responsabilidades en las tecnologías más o menos contaminantes que se aplican en cada territorio). Lo ideal sería disponer de largas series históricas de emisiones acumuladas desde el punto de vista del consumo para distintos niveles de desagregación territorial, lo que la disponibilidad de datos, evidentemente, no permite.

Actualmente, existen muchos compromisos de administraciones locales con la lucha contra el cambio climático y ello genera una demanda de estadísticas sobre las emisiones de GEI de los habitantes de las ciudades. Hemos visto que las estadísticas de tipo territorial pueden diferir enormemente de las huellas de carbono de los habitantes del territorio y esto es particularmente acusado en el caso de ciudades que importan de otros territorios la mayor parte de los bienes que consumen. Es necesario indagar sobre las emisiones "contenidas" en las importaciones de bienes, para obtener una información apropiada sobre la responsabilidad en la emisión de GEI de estas ciudades.

Cuando nos referimos a problemas ambientales de índole local-regional, la perspectiva del consumo nos permite indagar sobre la transferencia de cargas ambientales desde unos territorios a otros. Esto, en general, requiere análisis cualitativos específicos, pero los estudios pueden también dar algunos indicadores cuantitativos, adoptando siempre una perspectiva de efectos directos e indirectos, como la que proporciona el análisis input-output. En este artículo, hemos recogido los resultados de un reciente trabajo sobre el caso de la emisión de partículas (Zhang et al., 2017).

Por último, nos hemos referido a un importante indicador del tamaño del metabolismo social (y ligado, aunque de forma complicada, a los impactos ambientales) que es el conocido como "consumo doméstico o interior de materiales" y que deriva del estudio de la contabilidad del flujo de materiales. En este caso, el término "huella de materiales", que ha sido estudiado y recogido en estadísticas de las Naciones Unidas mediante un análisis input-output, nos da un indicador más relevante que dicho "consumo doméstico de materiales".

Como se ha destacado en el artículo, la importancia de la perspectiva de la responsabilidad del consumo no implica que las emisiones territoriales no aporten información necesaria sobre responsabilidades en la emisión, ya que estas dependen de las tecnologías empleadas en cada territorio, que a su vez se ven influenciadas por las diferentes políticas aplicadas. Ambas perspectivas aportan una información

complementaria de cara a informar sobre las responsabilidades de la emisión y las políticas. Es más, también se ha destacado la limitación de basarse únicamente en estos indicadores, ya que, por ejemplo, el hecho de que un país apueste por la extracción de combustibles fósiles no se ve necesariamente reflejado en sus emisiones territoriales o en su huella de carbono, si bien contribuye claramente al aumento de las emisiones globales.

## FINANCIACIÓN

Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades y FEDER, proyecto: RTI2018-095484-B-I00

## CONTRIBUCIÓN AUTORES

Conceptualización: **JR** y **EP**; Metodología: **JR** y **EP**; Recogida y tratamiento de datos: **JR** y **EP**; Análisis: **JR** y **EP**; Interpretación de resultados: **JR** y **EP**; Redacción: **JR** y **EP**; Obtención de fondos: **JR** y **EP**.

## BIBLIOGRAFÍA

Arto, I., Roca, J. y Serrano, M. (2014): "Measuring emissions avoided by international trade: accounting for price differences", *Ecological Economics*, 97(1), pp. 93–100.

Ayuntamiento de Barcelona (2018): "Objectiu 10: Resiliència i responsabilitat planetària. Indicador 10.1. Canvi climàtic", disponible en: [https://www.barcelona.cat/barcelonasostenible/sites/default/files/Indicadors/Indicadors2018/web2018\\_ind10.1.pdf](https://www.barcelona.cat/barcelonasostenible/sites/default/files/Indicadors/Indicadors2018/web2018_ind10.1.pdf)

Baranzini, A., van den Bergh, J., Carattini, S., Howarth, R., Padilla, E. y Roca, J. (2017): "Carbon pricing in climate policy: Seven reasons, complementary instruments, and political-economy considerations", *WIREs Climate Change*, 8(4), e462.

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

Carpintero, Ó. (2005): *El Metabolismo de la Economía Española: Recursos Naturales y Huella Ecológica (1955–2000)*. Fundación César Manrique, Lanzarote.

C40 Cities (2018): *Consumption-based GHG Emissions of C40 Cities*, March 2018. <https://www.c40.org/researches/consumption-based-emissions>

Davies, S. J. y Caldeira, K. (2010): "Consumption-based accounting of CO<sub>2</sub> emissions", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(12), pp. 5687–5692.

Diffenbaugh, N.S. y Burke, M. (2019): "Global warming has increased global economic inequality", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116 (20), 9808–9813.

EJAtlas - Global Atlas of Environmental Justice. <https://ejatlas.org/>

European Commission/Eurostat (2001): *Economic-wide Material Flow Accounting and derived indicators. A methodological guide*, Luxemburgo: Statistical Office of the European Union. <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6191533/3-Economy-wide-material-flow-accounts...-A-methodological-guide-2001-edition.pdf/>

Hertwich, E.G. y Peters, G.P. (2009): "Carbon footprint of nations: A global, trade-linked analysis", *Environmental Science and Technology*, 43(16), 6414–6420.

IEA (2014): *Key Energy World Statistics*. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/key-world-energy-statistics-2014.html>.

IPCC (2014): *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Ginebra, Suiza. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>

Martínez Alier, J. (2004): "Los conflictos ecológico-distributivos y los indicadores de sustentabilidad", *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 1, pp. 21–30.

Martínez-Alier, J. y Roca Jusmet, J. (2013): *Economía Ecológica y Política Ambiental*. Tercera edición, Fondo de Cultura Económica, México.

Munksgaard, J. y Pedersen, K.A. (2001): "CO<sub>2</sub> accounts for open economies: producer or consumer responsibility?", *Energy Policy*, 29(4), pp. 327–334.

Muñoz, P., Giljum, S. y Roca, J. (2009): "The raw material equivalents of international trade: Empirical evidence for Latin America", *Journal of Industrial Ecology*, 13(6), pp. 881–897.

Muradain, R. y Martínez-Alier, J. (2001): "Trade and the environment: from a 'Southern' perspective", *Ecological Economics*, 36(2), pp. 281–297.

OCDE (2018): Indicators on Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions embodied in international. Disponible en: <https://stats.oecd.org/> (consultado el 20 de mayo de 2020)

Our World in Data (OWID) (2020): CO<sub>2</sub> and greenhouse gas emissions. (Incluye el acceso a los datos en las figuras). Disponible en: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions> (consultado el 9 de enero de 2021).

Peters, G.P. (2008): "From production-based to consumption-based national emission inventories", *Ecological Economics*, 65(1), pp. 13–23.

Peters, G.P. y Hertwich, E.G. (2008): "CO<sub>2</sub> embodied in international trade with implications for global climate policy", *Environmental Science and Technology*, 42(5), pp. 1401–1407.

Proops, J.L.R., Faber, M. y Wagenhals, G. (1993): *Reducing CO<sub>2</sub> Emissions*. Springer-Verlag, Berlin.

Roca, J. y Serrano, M. (2007): "Income growth and atmospheric pollution in Spain: an input-output approach", *Ecological Economics*, 63(1), pp. 230–242.

Roca Jusmet, J. (coord.), Alcántara, V., Arto, I., Padilla, E. y Serrano, M. (2013): *La Responsabilidad de la Economía Española en el Calentamiento Global*. Fuhem Ecosocial/ Los libros de la Catarata, Madrid.

Rocchi, P., Serrano, M., Roca, J., Arto, I. (2018): "Border carbon adjustments based on avoided emissions: Addressing the challenge of its design", *Ecological Economics*, 145, 126–136.

Serrano, M. y Dietzenbacher, E. (2010): Responsibility and trade emission balances: An evaluation of approaches, *Ecological Economics*, 69(11), pp. 2224–2232.

Stern, N. (2006): *Stern Review on the Economics of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.

Tukker, A., de Koning, A., Owen, A., Lutter, S., Bruckner, M., Giljum, S., Stadler, K., Wood, R., Hoekstra, R. (2018): "Towards robust, authoritative assessments of environmental impacts embodied in trade", *Journal of Industrial Ecology*, 22(3), pp. 585–598.

UN Environment (2020): UN Environment International Resource Panel. Environment Live / Global Material Flows Database. Disponible en: <https://environmentlive.unep.org/downloader> (consultado el 22 de junio de 2020).

Wackernagel, M. y Rees, W. (1998): *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers, Gabriola Island.

Wiedmann, T. y Mix, J. (2008): "A definition of 'Carbon Footprint'", in C.C. Pertsova (ed.) *Ecological Economics Research Trends*, Nova Science Publishers, Nueva York.

Weidemann, B., Suh, S. y Notten, P. (2006): "Setting priorities within product-oriented environmental policy, the Danish perspectives", *Journal of Industrial Ecology*, 10(3), pp. 73–87.

Wiedmann, T.O., Schandl, H., Lenzen, M., Moran, D., Suh, S., West, J., Kanemoto, K. (2015): "The material footprint of nations", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112 (20) 6271–6276.

Zhang, Q., Jiang, X., Tong, D., Davis, S.J., Zhao, H., Geng, G., Feng, T., Zeng, B., Lu, Z., Streets, D.G., Ni, R., Brauer, M., van Donkelaar, A., Martin, R., Huo, H., Liu, Z., Pan, D., Kan, H., Yan, Y., Lin, J., He, K., Guan, D. (2017): "Transboundary health impacts of transported air pollution and international trade", *Nature*, 543, pp. 705–709.