

Publicado en Cuadernos Aragoneses de Economía, 2ª época, volumen  
18, número 1, 2008, pp. 9-34.

# Comercio exterior y contaminación atmosférica en España: un análisis input-output

Mònica Serrano\*

Departamento de Teoría Económica  
Universitat de Barcelona

Jordi Roca

Departamento de Teoría Económica  
Universitat de Barcelona

## Resumen

Este artículo analiza las emisiones contenidas en el comercio internacional, para ello se desarrolla un modelo input-output abierto y estático ampliado ambientalmente considerando las importaciones dependientes de la producción. Este modelo nos permite definir y comparar la responsabilidad de un país o región desde el punto de vista del productor o del consumidor (usuarios finales), definiendo el balance de responsabilidad de emisiones. El modelo, también permite analizar las emisiones contenidas en las exportaciones y en las importaciones definiendo la balanza comercial de emisiones. El modelo se computa para España obteniendo resultados para dos años 1995 y 2000 y para nueve gases diferentes: los seis gases de efecto invernadero regulados por el protocolo de Kioto (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub>, HFC y PFC) y tres gases relacionados con problemas ambientales locales (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y NH<sub>3</sub>). Según estos resultados España es un país "exportador neto" de emisiones en todos los gases considerados en ambos años, con excepción del NH<sub>3</sub> en el año 2000.

**Palabras claves:** Análisis input-output; Comercio internacional; Contaminación atmosférica; España.

**Códigos J.E.L.:** C67, F18, Q53, Q56.

---

\* Mònica Serrano; Departament de Teoria Econòmica; Universitat de Barcelona; Av. Diagonal, 690; 08034 Barcelona. España.  
Teléfono: (34) 934020111 Fax: (34) 934039082. E-mail: monica.serrano@ub.edu

## 1. Introducción

Durante las últimas décadas, se ha debatido mucho sobre las diferentes consecuencias del proceso de globalización para el medio ambiente. En un mundo globalmente interdependiente las actividades de los países frecuentemente causan presiones ambientales que afectan, al menos en parte, a otros países. En algunas ocasiones la “internacionalización” de las presiones ambientales deriva de las características de la presión ambiental como en el caso de la contaminación atmosférica que cruza las fronteras o la contaminación de un río que viaja entre países corriente abajo o de los problemas de tipo global. Sin embargo, otras veces es debida al papel del comercio internacional a causa de la relocalización de la producción en otros países y/o mediante la sustitución de importaciones.

A través del comercio internacional, la producción de un país está unida al consumo en otros países. En este caso, las emisiones producidas en un país no tienen por qué ser las mismas que las emisiones realmente generadas por sus demandas. Esta diferenciación permite definir la responsabilidad de emisión de un país desde dos perspectivas diferentes: desde el punto de vista del productor o desde el punto de vista del consumidor (Proops *et al.*, 1993; Muskgaard y Pedersen, 2001). El primer tipo establece que un país es responsable de aquellas emisiones asociadas con su producción interior independientemente de dónde vaya a ser utilizada; mientras que el segundo tipo determina la responsabilidad de un país dependiendo de su demanda interior, es decir, un país es responsable por las emisiones generadas para satisfacer la demanda final de los consumidores, gobierno e inversión independientemente de dónde hayan sido producidas. Esta distinción puede tener importantes implicaciones en acuerdos ambientales internacionales como el conocido Protocolo de Kioto. Este criterio provoca que economías abiertas que aumentan su especialización en exportar bienes cuya producción es intensamente contaminante deban hacer un esfuerzo considerable para poder cumplir su objetivo nacional. Considerar las emisiones generadas por el comercio internacional en estos acuerdos, permitiría establecer objetivos de reducción más equitativos (Munksgaard y Pedersen, 2001).

Desde la ratificación del Protocolo de Kioto en 1997, varios países están obligados a limitar sus emisiones de contaminantes atmosféricos. Concretamente, la Unión Europea (UE)

como un conjunto está comprometida a mantener sus emisiones medias de gases de efecto invernadero durante el período 2008-2012 en un 8% menos que las emisiones emitidas en el año base, es decir 1990<sup>1</sup>. En la subsiguiente distribución interna decidida en el seno de la UE se permitió que España, con unas emisiones per cápita por debajo de la media de la UE, incrementara sus emisiones en un 15%. Sin embargo, España está muy lejos de conseguir el acuerdo ya que en el 2006 las emisiones españolas eran un 48.6% mayores que los niveles de 1990. Estos objetivos nacionales han sido establecidos sobre la base de las emisiones generadas por la producción interior, dejando de lado las emisiones contenidas en el comercio internacional.

En este artículo desarrollamos un modelo basado en el enfoque input-output para investigar las emisiones asociadas al comercio internacional. A diferencia del modelo input-output básico (abierto y estático) consideramos que el nivel de importaciones de un país es dependiente de la producción interior. Este modelo incorpora el papel del comercio internacional para evaluar la responsabilidad española de emisiones para dos años 1995 y 2000 y para nueve gases diferentes: los seis gases de efecto invernadero regulados por el protocolo de Kioto (dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), hidrofluorocarbonos (HFC) y perfluorocarbonos (PFC)) y tres gases relacionados con problemas ambientales locales (óxidos de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y amoníaco (NH<sub>3</sub>)). Los resultados obtenidos muestran que España es un “exportador neto” de emisiones para todos los gases con la excepción del NH<sub>3</sub> en el último año, en el cual las emisiones contenidas en las exportaciones son mayores que las de las importaciones.

El modelo desarrollado permite conectar teóricamente los conceptos de responsabilidad del consumidor y del productor con el concepto de balanza comercial de emisiones, mostrando que los datos oficiales, generalmente utilizados para controlar el cumplimiento de los acuerdos internacionales, no reflejan las emisiones de las que realmente es responsable un país. Es necesario advertir que la terminología podría confundir ya que cuando se habla de “responsabilidad del consumidor” no se está refiriendo solo a las emisiones derivadas del componente “consumo” de la demanda interior sino de todas sus componentes: consumo privado, consumo público e inversión. Así pues, en este artículo el término “consumidor” hace referencia a los que serían los “usuarios finales” de la producción.

El hecho de considerar no solo las emisiones de los gases de efecto invernadero sino también de tres gases con efectos más localizados es importante ya que ofrece evidencia para estimular el debate sobre las implicaciones políticas de exportar diferentes tipos de contaminantes. Por ejemplo, en el caso de contaminantes locales-regionales significaría que este país está trasladando costes ambientales a otros países. Sin embargo, en el caso de contaminantes globales, como los gases de efecto invernadero, significaría que la responsabilidad del país en las presiones ambientales globales es mayor de lo que en un principio podría parecer. Esto último sería relevante en acuerdos internacionales, aunque no parece probable conseguir que los acuerdos sobre emisiones totales consideren las emisiones por las que un país es responsable independientemente de dónde se hayan producido.

En décadas recientes, la contaminación ambiental y el comercio internacional han recibido una creciente atención por parte del análisis económico<sup>2</sup>. Algunos estudios han analizado las complejas interacciones entre el crecimiento económico, el comercio internacional y el medio ambiente basándose en la curva de Kuznets ambiental. Según esta hipótesis, hay una relación de U invertida entre los efectos ambientales y la renta per cápita, sugiriendo que a medida que la renta per cápita aumenta los daños ambientales crecen hasta alcanzar un punto crítico a partir del cual los incrementos de renta hacen disminuir estas presiones (Grossman y Krueger, 1991; Shafik y Banyopadhyay, 1992). Sin embargo, se ha argumentado que el comercio internacional puede provocar que la curva de Kuznets ambiental no sea el resultado de una mejora genuina sino debido a una exportación de problemas ambientales a otros territorios (Arrow *et al.*, 1995; Stern *et al.*, 1996; Muradian y Marínez-Alier, 2001).

Por otro lado, las relaciones entre el medio ambiente y el comercio internacional también han sido analizadas aplicando el enfoque input-output. Wassily Leontief en la década de los treinta estableció las bases del análisis input-output, cuyo objetivo era el de relacionar el modelo de equilibrio general con bases de datos del mundo real (Leontief, 1936, 1937). Este enfoque ofrece un marco teórico para analizar las relaciones entre los sectores de producción y de consumo de una economía. La capacidad de este enfoque para examinar este tipo de interacciones abre el camino a estudios que analizan las implicaciones del comercio internacional en los factores de producción (Leontief, 1953) o los efectos de la producción y del

consumo en el medio ambiente y, en particular, en la contaminación atmosférica (Leontief, 1970; Leontief y Ford, 1972).

La literatura empírica que sigue este marco teórico ha abordado el problema desde diferentes perspectivas<sup>3</sup>. Por ejemplo, algunos trabajos estiman las emisiones de CO<sub>2</sub> contenidas en el comercio internacional: Munksgaard y Perderson (2001) para Dinamarca, Machado *et al.* (2001) para Brasil, y Sánchez-Chóliz y Duarte (2004) para España. Hayami y Nakamura (2002) calculan las emisiones de CO<sub>2</sub> a través del comercio bilateral entre Japón y Canadá, y Lenzen *et al.* (2004) usando un modelo input-output multirregional calculan los multiplicadores de CO<sub>2</sub> y el balance del comercio internacional de emisiones para cinco regiones (Dinamarca, Alemania, Suecia, Noruega y el resto del mundo). Otros trabajos abordan el problema aplicando un método de descomposición input-output, conocido con el nombre de análisis de descomposición estructural. Estos trabajos empíricos son Mukhopadhyay y Chakraborty (1999) para la India, Jacobsen (2000) para Dinamarca y De Haan (2001) para los Países Bajos. Muchos de estos trabajos se centran sólo en las emisiones de CO<sub>2</sub> dejando de lado otros gases invernadero así como aquellos gases relacionados con otros problemas ambientales. Finalmente Dietzenbacher y Mukhopadhyay (2007) examinan la hipótesis del paraíso de contaminación para el caso de la India para tres gases (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>).

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera. En la sección 2, presentamos el modelo input-output básico ampliado ambientalmente considerando las importaciones dependientes de la producción de la economía. En la sección 3, describimos el sistema NAMEA y explicamos los procedimientos y la preparación de datos que se requieren para aplicar el modelo. En la sección 4, presentamos los resultados empíricos. Finalmente, en la sección 5 se presentan algunas conclusiones.

## **2. El modelo**

En esta sección presentamos un modelo input-output básico ampliado ambientalmente que considera dos regiones. Este modelo permite estimar tanto la responsabilidad de la demanda final interior como las emisiones contenidas en el comercio internacional. Para ello, primero se describen las especificaciones de la economía. Luego, se determinan las emisiones

asociadas a la producción interior y las emisiones contenidas en las importaciones. Finalmente, se define el balance de responsabilidad y la balanza comercial de emisiones.

## 2.1. La economía

Supongamos una economía dividida en dos regiones  $r = 1, 2$ , las cuales pueden diferir tanto en la tecnología de producción que utilizan como en los patrones de emisiones atmosféricas. Dado que estamos interesados en determinar la responsabilidad de emisiones de una región particular y no en las relaciones bilaterales específicas entre regiones, definiremos la región 1 como la región o país que queremos analizar y la región 2 como el resto del mundo.

Las relaciones de comercio internacional entre ambas regiones se caracterizan de la siguiente manera: (i) la región 1 importa bienes intermedios y finales del resto del mundo y exporta solo bienes finales; (ii) los inputs importados por el resto del mundo desde la región 1 pueden considerarse insignificantes y, por lo tanto, consideraremos que la región 2 solo importa bienes y servicios finales<sup>4</sup>; (iii) todas las importaciones son competitivas en el sentido que todos los bienes importados son también producidos en la región<sup>5</sup>.

Según estos supuestos, describimos las especificaciones de la economía. Suponemos que cualquier región  $r$  se compone de  $n$  sectores, los cuales producen output interior combinando inputs en proporciones constantes, es decir con tecnologías de rendimientos constantes a escala. Así, la tecnología de producción de esta región puede representarse mediante la matriz de coeficientes técnicos  $(n \times n)$   $A_r^t$ , cuyos elementos  $\{a_{ij}^t\}$  representan el total de input que el sector  $i$  entrega al sector  $j$  por unidad de producto del sector  $j$ .

Dado que la región 1 importa no solo bienes finales sino también inputs intermedios, la matriz  $A_1^t$  se define como:

$$A_1^t = A_1^d + A_1^m \quad (1)$$

donde  $A_1^d$  es la matriz de coeficientes técnicos interiores que representa la cantidad de inputs interiores requeridos por la tecnología y  $A_1^m$  es la matriz de coeficientes técnicos importados que representa los inputs importados requeridos por la tecnología. Por otro lado, dado que la

región 2 solo importa bienes finales, es decir  $A_2^m = 0$ , su tecnología se determina simplemente por  $A_2^t = A_2^d$ .

Teniendo en cuenta las relaciones de comercio internacional señaladas anteriormente, la demanda total para usos finales de ambas regiones, definida por el vector  $n \times 1$   $y_r^t$ , puede dividirse en dos partes: una parte que es abastecida por la producción interior  $y_r^d$  y otra parte que es abastecida por la producción exterior  $h_r^m$ , es decir, que es importada:

$$y_r^t = y_r^d + h_r^m \quad (2)$$

Por un lado, el vector  $h_r^m$  representa la demanda de los consumidores, sector público e inversión sobre bienes y servicios producidos en el extranjero. Por otro lado, el vector  $y_r^d$  representa la demanda de bienes y servicios finales producidos en el interior de la región que realizan todos los agentes económicos, es decir, consumidores, sector público, inversión y sector exterior (exportaciones). Así pues,  $y_r^d$  puede expresarse como:

$$y_r^d = h_r^d + e_r \quad (3)$$

donde  $h_r^d$  es la producción interior para abastecer la demanda interior y  $e_r$  la producción interior para abastecer la demanda exterior o exportaciones<sup>6</sup>.

De forma similar, la oferta de cualquier región se descompone en producción interior y producción importada. Para la región 1, dado que importa bienes finales y bienes intermedios, la producción interior  $x_1$  y la producción importada  $m_1$  vendrán determinadas por:

$$x_1 = A_1^d x_1 + y_1^d \quad (4)$$

$$m_1 = A_1^m x_1 + h_1^m \quad (5)$$

donde  $A_1^d x_1$  y  $A_1^m x_1$  son, respectivamente, los inputs intermedios interiores e importados y  $y_1^d$  y  $h_1^m$  determinan las demandas interiores e importadas.

La solución del modelo para la producción interior viene determinada por la expresión (6):

$$x_1 = (I - A_1^d)^{-1} y_1^d \quad (6)$$

donde  $I$  es la matriz identidad de dimensión  $n \times n$  y  $(I - A_1^d)^{-1}$  es la matriz inversa de Leontief interior cuyo elemento  $\alpha_{ij}^d$  representa la derivada parcial de la producción interior de la empresa  $i$  respecto a la variación de la demanda de la industria  $j$ , es decir  $\alpha_{ij}^d = \partial x_i / \partial y_j^d$ . Esta matriz tiene un importante significado económico, ya que cada una de sus columnas muestra los efectos directos e indirectos en toda la economía cuando la demanda de la industria correspondiente a la columna incrementa en una unidad permaneciendo las demandas de usos finales de los otros sectores constantes.

Reemplazando  $x_1$  de la expresión (6) en (5) obtenemos la solución para las importaciones de la región 1 como:

$$m_1 = A_1^m (I - A_1^d)^{-1} y_1^d + h_1^m \quad (7)$$

En esta expresión  $A_1^m (I - A_1^d)^{-1}$  revela los inputs que deberían ser importados para producir en el interior la demanda interior y exterior de la región 1, mientras que  $h_1^m$  son los bienes finales importados.

Por otro lado, dado que la región 2 solo importa bienes finales, las expresiones (6) y (7) para esta región será respectivamente  $x_2 = (I - A_2^d)^{-1} y_2^d$  y  $m_2 = h_2^m$ .

Finalmente, el conjunto de ecuaciones que representan la oferta total  $S_r$  y la demanda total  $D_r$  en cualquiera de las dos regiones será:

$$S_r = x_r + m_r \quad (8)$$

$$D_r = A_r^t x_r + y_r^t \quad (9)$$

Dado que debe cumplirse la identidad entre la oferta y la demanda, la ecuación de equilibrio en cualquier región es:

$$x_r + m_r = A_r^t x_r + y_r^t \quad (10)$$

A partir de (10) se puede obtener una expresión equivalente para la producción interior de cualquier región:

$$x_r = (I - A_r^t)^{-1} (y_r^t - m_r) \quad (11)$$

Las expresiones (11) y (6) son equivalentes, sin embargo es importante observar que en la expresión (11) los subíndices corresponden a la matriz de coeficientes totales y a la demanda total para usos finales en vez de la demanda interna y externa abastecida por la producción interior<sup>7</sup>.

## 2.2. Emisiones interiores y emisiones importadas

Tal y como se comentó anteriormente, el objetivo de este artículo es calcular la responsabilidad de emisión de la región 1. Sin embargo, antes de calcular dicha responsabilidad es necesario determinar las emisiones asociadas a la producción interior y aquellas contenidas en las importaciones. Para ello, primero definiremos los coeficientes de emisión de cada región.

Si expresamos las emisiones producidas por cada industria en cada región por la matriz  $B_r$  de dimensión  $k \times n$ , cuyos  $\{b_{ij}\}$  elementos representan la cantidad de contaminante  $l$  medido en unidades físicas (toneladas de CO<sub>2</sub> por ejemplo) emitido por la industria  $j$ , podemos especificar la matriz de coeficientes de emisión  $V_r$  de dimensión  $k \times n$  como:

$$V_r = B_r \hat{x}_r^{-1} \quad (12)$$

donde  $\hat{x}_r^{-1}$  es la inversa de la matriz diagonal de la producción interior. Cada elemento  $v_{lj}$  representa las emisiones interiores del gas  $l$  generadas por unidad de producto de la industria  $j$ .

Ahora, definidas dichas matrices, podemos determinar las emisiones interiores y las emisiones contenidas en las importaciones para ambas regiones. Teniendo en cuenta las expresiones (12) y (6) para la región 1, podemos representar las emisiones generadas en dicha región como:

$$p_1^d = V_1 (I - A_1^d)^{-1} y_1^d \quad (13)$$

donde  $p_1^d$  es el vector de emisiones interiores de dimensión  $k \times 1$ , el cual muestra el total de emisiones (directas e indirectas) requeridas para satisfacer la demanda interior y exterior. Dada la expresión (3), (13) puede también expresarse como:

$$p_1^d = \left[ V_1 (I - A_1^d)^{-1} h_1^d \right] + \left[ V_1 (I - A_1^d)^{-1} e_1 \right] \quad (14)$$

donde  $\left[ V_1 (I - A_1^d)^{-1} h_1^d \right]$  revela las emisiones generadas dentro de la región para producir la producción interior que abastece la demanda interior; e  $\left[ V_1 (I - A_1^d)^{-1} e_1 \right]$  indica las emisiones generadas en el interior de la región para satisfacer las exportaciones a la región 2.

Por otro lado, para determinar las emisiones contenidas en las importaciones debemos tener en cuenta que, dado que solo hay dos regiones, las importaciones totales de la región 1 serán las mismas que todas las exportaciones de la región 2, es decir,  $m_1 = e_2$ . Por lo tanto, las emisiones atmosféricas contenidas en las importaciones de la región 1 serán aquellas asociadas con las exportaciones de la región 2, las cuales han sido generadas en el exterior. Así pues, definiendo  $p_2^e$  como el vector de dimensión  $k \times 1$  que representa las emisiones generadas en la región 2 para satisfacer la demanda externa proveniente de la región 1, tenemos:

$$p_2^e = V_2 (I - A_2^t)^{-1} e_2 \quad (15)$$

Dado que  $m_1 = e_2$ , podemos escribir  $p_2^e$  dependiendo de las emisiones generadas por las importaciones de la región 1. Esto es, teniendo en cuenta la expresión (7), las emisiones atmosféricas contenidas en las importaciones de la región 1 pueden ser especificadas por el vector  $k \times 1$   $p_1^m$ :

$$p_1^m = V_2 (I - A_2^t)^{-1} \left[ A_1^m (I - A_1^d)^{-1} y_1^d + h_1^m \right] \quad (16)$$

Si desarrollamos esta expresión podemos dividir las emisiones de las importaciones tal que:

$$p_1^m = \left[ V_2 (I - A_2^t)^{-1} A_1^m (I - A_1^d)^{-1} h_1^d \right] + \left[ V_2 (I - A_2^t)^{-1} A_1^m (I - A_1^d)^{-1} e_1 \right] + \left[ V_2 (I - A_2^t)^{-1} h_1^m \right] \quad (17)$$

Donde  $\left[ V_2 (I - A_2^t)^{-1} A_1^m (I - A_1^d)^{-1} h_1^d \right]$  son las emisiones generadas en la región 2 para producir aquellos inputs necesarios que la región 1 necesita importar para abastecer la demanda interior de la región 1. De forma similar,  $\left[ V_2 (I - A_2^t)^{-1} A_1^m (I - A_1^d)^{-1} e_1 \right]$  son las emisiones generadas en la región 2 para producir los inputs que la región 1 importa para producir la demanda externa. Y finalmente,  $\left[ V_2 (I - A_2^t)^{-1} h_1^m \right]$  son las emisiones generadas en la región 2 para producir bienes y servicios finales que la región importará.

Finalmente, a partir de las expresiones (14) y (17) podemos estimar las emisiones totales generadas por toda la demanda final de la región 1, es decir  $p_1^t$ :

$$p_1^t = p_1^d + p_1^m = \left[ V_1 (I - A_1^d)^{-1} h_1^d \right] + \left[ V_1 (I - A_1^d)^{-1} e_1 \right] + \left[ V_2 (I - A_2^t)^{-1} A_1^m (I - A_1^d)^{-1} h_1^d \right] + \left[ V_2 (I - A_2^t)^{-1} A_1^m (I - A_1^d)^{-1} e_1 \right] + \left[ V_2 (I - A_2^t)^{-1} y_1^m \right] \quad (18)$$

Esta expresión nos permite no solo computar las emisiones generadas por cada componente de la demanda final sino también definir los dos balances de emisiones que se describen a continuación<sup>8</sup>.

### 2.3. El balance de responsabilidad y la “balanza comercial de emisiones”

A partir de la expresión (18), definiremos el balance de responsabilidad de emisión y la balanza comercial de emisiones. En esta sección se analizan ambos balances mostrando que son dos aproximaciones al mismo concepto.

Tal y como se comentó en la introducción, la responsabilidad de emisión de cualquier región puede definirse desde dos perspectivas diferentes: la del productor y la del consumidor. Desde el punto de vista del productor, la región 1 es responsable de las emisiones generadas por su producción interior. Tal y como muestra la expresión siguiente, el vector  $kx1 r_1^P$  indica aquellas emisiones asociadas con las demandas para usos finales sobre la producción interior:

$$r_1^P = \left[ V_1 (I - A_1^d)^{-1} h_1^d \right] + \left[ V_1 (I - A_1^d)^{-1} e_1 \right] \quad (19)$$

Por otro lado, desde el punto de vista del consumidor la región 1 es responsable de todas las emisiones causadas por su “consumo”<sup>9</sup>. En este caso, el vector  $kx1 r_1^C$  debe incluir no solo las emisiones asociadas con la producción interior y producción exterior que abastecen las demandas interiores  $h_1^d$  y  $h_1^m$ , sino también aquellas resultantes de los inputs importados que son necesarios para producir  $h_1^d$ :

$$r_1^C = \left[ V_1 (I - A_1^d)^{-1} h_1^d \right] + \left[ V_2 (I - A_2^t)^{-1} A_1^m (I - A_1^d)^{-1} h_1^d \right] + \left[ V_2 (I - A_2^t)^{-1} h_1^m \right] \quad (20)$$

Para comparar las emisiones producidas por la región 1 con aquellas requeridas por el consumo de esta región, podemos definir el balance de responsabilidad de emisión como la

diferencia entre la responsabilidad del productor y la del consumidor, tal que el vector  $kx1\ rb_1$  resultante es:

$$rb_1 = r_1^p - r_1^c = \left[ V_1 (I - A_1^d)^{-1} e_1 \right] - \left[ V_2 (I - A_2^t)^{-1} A_1^m (I - A_1^d)^{-1} h_1^d \right] - \left[ V_2 (I - A_2^t)^{-1} h_1^m \right] \quad (21)$$

Nótese que  $\left[ V_1 (I - A_1^d)^{-1} e_1 \right]$  son las emisiones producidas en la región 1 que están contenidas en sus exportaciones. Por otro lado,  $\left[ V_2 (I - A_2^t)^{-1} A_1^m (I - A_1^d)^{-1} h_1^d \right]$  y  $\left[ V_2 (I - A_2^t)^{-1} h_1^m \right]$  son las emisiones producidas en la región 2 relacionadas con los inputs intermedios y bienes y servicios finales que la región 1 importa. Obviamente aquellas emisiones generadas y consumidas dentro de la región 1, es decir  $\left[ V_1 (I - A_1^d)^{-1} h_1^d \right]$ , no se incluyen en la definición del balance.

Sin embargo, cuando lo que nos interesa es analizar las emisiones relacionadas con el comercio internacional de cualquier región, lo que debemos comparar son las emisiones contenidas en las exportaciones  $p_1^e$  con aquellas contenidas en las importaciones  $p_1^m$ . Mientras que las últimas han sido definidas en la expresión (17), las primeras deben ser definidas como las emisiones generadas dentro de la región 1 para satisfacer las exportaciones a la región 2 más aquellas generadas en la región 2 para producir aquellos inputs importados necesarios para producir dichas exportaciones. Formalmente:

$$p_1^e = \left[ V_1 (I - A_1^d)^{-1} e_1 \right] + \left[ V_2 (I - A_2^t)^{-1} A_1^m (I - A_1^d)^{-1} e_1 \right] \quad (22)$$

Dados los vectores  $p_1^e$  y  $p_1^m$ , podemos definir la balanza comercial de emisiones como la diferencia entre las emisiones contenidas en las exportaciones y las emisiones contenidas en las importaciones, es decir el vector  $bce_1$  ( $nx1$ ):

$$bce_1 = p_1^e - p_1^m = \left[ V_1 (I - A_1^d)^{-1} e_1 \right] - \left[ V_2 (I - A_2^t)^{-1} A_1^m (I - A_1^d)^{-1} h_1^d \right] - \left[ V_2 (I - A_2^t)^{-1} h_1^m \right] \quad (23)$$

De nuevo, en la expresión (23) no se consideran aquellas emisiones importadas que van a ser exportadas después, es decir  $\left[ V_2 (I - A_2^t)^{-1} A_1^m (I - A_1^d)^{-1} e_1 \right]$ .

Aunque ambos balances han sido derivados a partir de dos definiciones diferentes, los dos tienen la misma expresión y, por lo tanto, pueden interpretarse de la misma forma. Si los

balances tienen un signo positivo implica que las emisiones contenidas en las exportaciones son mayores que aquellas contenidas en las importaciones; en otras palabras, esta región requiere menos emisiones como consumidor que como productor y, por lo tanto, sería menos responsable de lo que los datos oficiales reportan. Por el contrario, si el signo es negativo, significa que las emisiones contenidas en las importaciones de la región son mayores que aquellas contenidas en las exportaciones; o, desde otro punto de vista, las emisiones que esta región requiere como consumidor son mayores que las que emite como productor y, en consecuencia, su responsabilidad sería mayor. En este último caso, los balances indicarían las emisiones que esta región se está, por decirlo de alguna manera, “ahorrando” gracias al comercio exterior en su papel de “exportador neto” de emisiones.

### 2.3.1. Una simplificación del modelo

El modelo presentado anteriormente considera regiones con diferentes tecnologías, es decir  $A_1^t \neq A_2^t$ , y diferentes patrones de emisión, es decir  $V_1 \neq V_2$ . Sin embargo, dado que no es común disponer de información detallada y desagregada sobre las características de las tecnologías de otros países, consideramos que todas las regiones tienen la misma tecnología y los mismos patrones de emisión  $A_1^t = A_2^t$  y  $V_1 = V_2$ . Así, este supuesto de que el resto del mundo produce bienes y servicios siguiendo las mismas “recetas de producción” lleva de hecho a estimar las emisiones que España está evitando o ahorrando por el hecho de que compra en el extranjero parte de los bienes y servicios que consume<sup>10</sup>.

Así pues, bajo el supuesto de la misma tecnología que la región 1 las expresiones (21) y (23) pueden escribirse tal que:

$$br_1^* = bce_1^* = \left[ V_1 (I - A_1^d)^{-1} e_1 \right] - \left[ V_1 (I - A_1^t)^{-1} A_1^m (I - A_1^d)^{-1} h_1^d \right] - \left[ V_1 (I - A_1^t)^{-1} h_1^m \right] \quad (24)$$

Nótese que bajo el supuesto de misma tecnología los balances de emisiones obtenidos por la expresión (24) son los mismos que los obtenidos por la siguiente expresión:

$$br_1^* = bce_1^* = V_1 (I - A_1^t)^{-1} (e_1 - m_1) \quad (25)$$

Sin embargo, esto último no se cumple cuando se analizan los balances de emisiones sector a sector. Si definimos  $\hat{e}_1$ ,  $\hat{h}_1^d$  y  $\hat{h}_1^m$  como las matrices diagonales de los vectores  $e_1$ ,  $h_1^d$  y  $h_1^m$ , obtenemos las matrices de balances sectoriales:

$$BR_1^* = BCE_1^* = \left[ V_1 (I - A_1^d)^{-1} \hat{e}_1 \right] - \left[ V_1 (I - A_1^d)^{-1} A_1^m (I - A_1^d)^{-1} \hat{h}_1^d \right] - \left[ V_1 (I - A_1^d)^{-1} \hat{h}_1^m \right] \quad (26)$$

Los resultados obtenidos mediante esta expresión no coinciden con aquellos que se obtendrían si se aplicara:

$$BR_1^* = BCE_1^* = V_1 (I - A_1^d)^{-1} (\hat{e}_1 - \hat{m}_1) \quad (27)$$

La expresión (27), sin embargo, no recoge las emisiones indirectas contenidas en las exportaciones e importaciones. Por este motivo, los resultados sectoriales calculados en este artículo han sido obtenidos mediante la expresión (26).

### 3. La base de datos

La fuente de datos básica de este artículo es la Cuenta satélite para las emisiones atmosféricas (base 1995) de los años 1995 y 2000 elaborada por el Instituto Nacional de Estadística (INE)<sup>11</sup> (INE, 2005; INE, 2006). Sin embargo, para poder computar el modelo presentado en la sección anterior es necesario realizar algunas operaciones. En esta sección describimos el sistema de cuentas satélites ambientales, más conocido por sus siglas en inglés NAMEA, y explicitamos los supuestos adoptados en este artículo ya que los mismos afectan a las estimaciones realizadas.

A principios de la década de los noventa, la oficina de estadística de los Países Bajos desarrolló el marco de cuentas nacionales incluyendo cuentas ambientales, conocido como el sistema NAMEA (*Nacional Account Matrix including Environmental Accounts*), el cual fue adoptado después por los países de la UE dentro del proyecto de contabilidad ambiental de EUROSTAT (Keuning *et al.*, 1999). En este marco, la información ambiental se compila de forma consistente a cómo las actividades económicas están representadas en las cuentas nacionales. Por lo tanto, el núcleo del marco contable (las matrices de contabilidad nacional) puede ser extendido con información ambiental. Esta información ambiental puede ser expresada tanto en unidades físicas (como es usualmente el caso) como en unidades

monetarias. Aunque el sistema NAMEA puede recoger todo tipo de problemas ambientales, el área más avanzada es la que concierne a las emisiones de contaminación atmosférica.

Según el Sistema de Cuentas Económicas y Ambientales (SCEA) hay dos tipos de cuentas NAMEA: las tablas de origen y destino híbridas y la tabla input-output híbrida<sup>12</sup>. El primer tipo consiste en dos tablas producto-sector, una que muestra las unidades económicas que ofrecen bienes y servicios (tabla de origen) y la otra las unidades que hacen uso de ellos (tabla de destino). En estas tablas se utilizan dos clasificaciones diferentes una para los sectores (CNAE) y otra para los productos (CNPA). El otro tipo de cuenta NAMEA resulta de la transformación de las tablas de origen y destino en una tabla input-output simétrica de tal manera que solo haya una relación producto/producto o sector/sector. Ambos tipos de cuentas NAMEA presentan sus propias ventajas dependiendo de si el propósito es estadístico (es decir, reflejar las relaciones de la economía) o analítico. Dado que EUROSTAT no ha hecho explícita ninguna recomendación, los países de la UE elaboran las cuentas NAMEA según el marco input-output que dispongan.

Concretamente, el NAMEA español se organiza según la estructura de tablas de origen y destino híbridas. Por un lado, la matriz de cuentas nacionales compuesta por la tabla de origen y destino cubre 110 productos CNPA, 72 sectores CNAE y 7 categorías de demanda final. En la base 1995 estas tablas han sido compiladas desde 1995 hasta 2000 en precios básicos corrientes. Por otro lado, las cuentas ambientales de emisiones atmosféricas recogen información sobre las emisiones directas producidas por 46 sectores CNAE y por los hogares. Las primeras son emisiones asociadas con la producción de bienes y servicios, mientras que las últimas están relacionadas con el transporte, la calefacción y otros propósitos de los hogares<sup>13</sup>. Los datos ambientales se dan en unidades físicas para el mismo periodo de seis años y para diferentes contaminantes atmosféricos<sup>14</sup>. En este artículo se han considerado los seis gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y SF<sub>6</sub>, HFC y PFC) y tres gases de efectos más local-regional (SO<sub>x</sub> medidos en unidades equivalente de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y NH<sub>3</sub>)<sup>15</sup>.

La estructura de los datos según las tablas de origen y destino implica que las emisiones están asignadas a sectores heterogéneos. Este hecho tiene importantes consecuencias en la interpretación de la información ambiental. Por ejemplo, las emisiones generadas por cualquier sector que produzca electricidad como actividad auxiliar o secundaria

estarán asignadas a ese sector y no al sector CNAE 40.1 “*Producción y distribución de electricidad*” que tiene como actividad principal la de producir y distribuir electricidad. El mismo principio, por ejemplo, prevalece para las emisiones generadas por el transporte.

Adicionalmente, según el NAMEA las emisiones atmosféricas relacionadas con la incineración y la descomposición de residuos en los vertederos (principalmente CH<sub>4</sub>) deberían asignarse al sector CNAE 90 “*Saneamiento público*”. Sin embargo, desde otro punto de vista conceptual, estas emisiones pueden también considerarse separadamente de los sectores y emisiones de los hogares. En este artículo, siguiendo la experiencia del NAMEA holandés (Keuning *et al.*, 1999), distinguimos tres fuentes de contaminación atmosférica: “sectores”, “hogares” y “otras fuentes”. En esta última categoría se incluyen las emisiones de metano relacionadas con la gestión de los residuos<sup>16</sup>.

Aunque la estructura de las tablas de origen y destino son la mejor opción para recoger datos a nivel estadístico, la tabla input-output (simétrica) tiene un mayor poder analítico. Tanto el Sistema Europeo de Cuentas (SEC95) como el nuevo SCEA recomiendan esta última estructura para realizar investigaciones analíticas y, especialmente, cuando el objetivo es calcular los efectos indirectos. Así pues, es necesario llevar a cabo algunas transformaciones en el NAMEA español que se describen a continuación.

En la tabla input-output simétrica cada sector debe representar un único tipo de bien o servicio homogéneo; sin embargo, en el NAMEA español tanto los datos económicos como ambientales están asignados a sectores heterogéneos. Por lo tanto, para adaptar los datos del NAMEA español a los requerimientos del modelo input-output es necesario reasignar la producción secundaria a los sectores en los cuáles esta producción sea la actividad principal. Esto implica reasignar no solo el consumo intermedio correspondiente, sino también las emisiones atmosféricas asociadas a dicha producción. Así pues, en este artículo la matriz de coeficientes técnicos  $A_r^t$  y la matriz de coeficiente de emisiones  $V_r$  han sido calculadas de acuerdo con la hipótesis de la tecnología de la industria, según la cual se asume que todos los productos de un mismo sector son producidos con la misma tecnología<sup>17</sup>. Por último señalar que dado que el NAMEA español solo ofrece información sobre las emisiones de 46 sectores, la tabla input-output estimada es de dimensión 46x46.

#### **4. Resultados empíricos**

En este apartado presentamos los resultados del modelo aplicados para España. Tal y como se apuntó anteriormente, hemos considerado las emisiones de nueve contaminantes atmosféricos. Por un lado los seis gases de efecto invernadero asociados con problemas ambientales globales, es decir CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y SF<sub>6</sub>, HFC y PFC (los tres últimos gases han sido agregados en unidades de CO<sub>2</sub> equivalentes bajo el nombre de gases de efecto invernadero sintéticos). Y, por otro lado, tres contaminantes atmosféricos más relacionados con importantes problemas ambientales de ámbito local y/o regional como es la lluvia ácida, eutrofización y/o problemas con la capa de ozono, es decir SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y NH<sub>3</sub>. Hemos llevado a cabo la computación del modelo para dos años 1995 y 2000, asumiendo la misma tecnología para todas las regiones.

##### **4.1. Resultados principales**

Las tablas 1 y 2 ilustran para ambos años el potencial del enfoque input-output y, específicamente, del modelo presentado en este artículo. Ambas muestran que los datos oficiales publicados por el INE sólo tienen en cuenta las emisiones interiores (ver la primera columna en la tabla 1 y 2, las cuales muestran los datos del NAMEA)<sup>18</sup>. Como era de esperar, estos datos son menores que los computados por el modelo en el que se incluyen las emisiones asociadas con las importaciones españolas (columna 6 en ambas tablas). Este hecho no es de menor importancia, ya que en 1995 estas emisiones representaron un tercio de las emisiones totales e incluso más en el 2000. Resultados similares fueron obtenidos por Sánchez-Chóliz y Duarte (2004), quienes presentan información para las emisiones de CO<sub>2</sub> en 1995 en España. Según sus cálculos el 64% de las emisiones de CO<sub>2</sub> fueron generadas en el proceso de producción nacional, mientras que el 36% fueron generadas fuera. En la tabla 1 estos porcentajes son respectivamente 68.50% y 31.50%.

**Tabla 1: Resultados del modelo, España 1995**

Unidades: Miles de toneladas y %

	Emisiones contenidas en la producción interior (NAMEA*)			Emisiones contenidas en las importaciones				Emisiones totales
	Demanda final interior	Demanda exterior	Emisiones interiores totales	Inputs para demanda final interior	Inputs para demanda exterior	Demanda final de producción importada	Total de emisiones importadas	MODELO
	$h^d$	$e$	$p^d$ (%)	$h^d$	$e$	$h^m$	$p^m$ (%)	$p^t$
	(1)	(2)	(1 + 2)/6	(3)	(4)	(5)	(3 + 4 + 5)/6	<sup>(6)</sup> = 1 + 2 + 3 + 4 + 5
<i>Gases efecto invernadero</i>								
CO <sub>2</sub>	152037.42	51666.58	68.50	45322.86	23776.46	24563.49	31.50	297366.81
CH <sub>4</sub>	806.62	305.36	70.09	241.16	68.93	164.43	29.91	1586.49
N <sub>2</sub> O	48.96	19.10	69.24	14.82	5.54	9.87	30.76	98.29
Gases sintéticos **	1954.10	1631.14	48.96	1789.42	1090.86	856.67	51.04	7322.19
<b>Total CO<sub>2</sub> equivalente</b>	<b>186108.19</b>	<b>65630.27</b>	<b>68.32</b>	<b>56771.21</b>	<b>28031.09</b>	<b>31933.56</b>	<b>31.68</b>	<b>368474.33</b>
<i>Otros gases</i>								
SO <sub>2</sub>	1349.33	410.44	70.89	344.41	189.28	189.04	29.11	2482.50
NO <sub>x</sub>	790.05	261.09	68.47	236.77	108.22	138.95	31.53	1535.07
NH <sub>3</sub>	218.97	84.90	72.48	56.25	14.34	44.76	27.52	419.22

Fuente: Elaboración propia a partir del NAMEA 1995 de España.

\* Solo considerando las emisiones del NAMEA generadas por los sectores económicos

\*\* Gases sintéticos son las emisiones totales de SF<sub>6</sub>, HFC y PFC medidas en unidades de CO<sub>2</sub> equivalente.

**Tabla 2: Resultados del modelo, España 2000**

Unidades: Miles de toneladas y %

	Emisiones contenidas en la producción interior (NAMEA*)			Emisiones contenidas en las importaciones				Emisiones totales
	Demanda final interior	Demanda exterior	Emisiones interiores totales	Inputs para demanda final interior	Inputs para demanda exterior	Demanda final de producción importada	Total de emisiones importadas	MODELO
	$h^d$	$E$	$p^d$ (%)	$h^d$	$E$	$h^m$	$p^m$ (%)	$p^t$
	(1)	(2)	(1 + 2)/6	(3)	(4)	(5)	(3 + 4 + 5)/6	<sup>(6)</sup> = 1 + 2 + 3 + 4 + 5
<i>Gases efecto invernadero</i>								
CO <sub>2</sub>	166432.00	72200.00	59.74	67976.76	48423.29	44394.63	40.26	399426.67
CH <sub>4</sub>	813.02	438.36	67.91	254.54	109.82	226.96	32.09	1842.69
N <sub>2</sub> O	51.59	27.59	66.58	16.42	8.62	14.71	33.42	118.92
Gases sintéticos **	3175.79	3059.64	45.97	2840.84	2282.48	2204.37	54.03	13563.11
<b>Total CO<sub>2</sub> equivalente</b>	<b>202672.91</b>	<b>93018.55</b>	<b>60.52</b>	<b>81252.07</b>	<b>55683.65</b>	<b>55924.62</b>	<b>39.48</b>	<b>488551.80</b>
<i>Otros gases</i>								
SO <sub>2</sub>	1082.84	417.03	65.08	322.83	240.79	241.26	34.92	2304.74
NO <sub>x</sub>	791.55	349.87	57.88	359.00	241.59	230.02	42.12	1972.04
NH <sub>3</sub>	250.01	133.93	71.90	61.23	22.80	66.02	28.10	534.00

Fuente: Elaboración propia a partir del NAMEA 2000 de España.

\* Solo considerando las emisiones del NAMEA generadas por los sectores económicos

\*\* Gases sintéticos son las emisiones totales de SF<sub>6</sub>, HFC y PFC medidas en unidades de CO<sub>2</sub> equivalente.

#### 4.2. Balance de responsabilidad y balanza comercial de emisiones

Si ahora nos centramos en el balance de responsabilidad y en la balanza comercial de emisiones, podemos comprobar que, tal y como se señaló en la sección 2, ambos balances coinciden aunque han sido derivados desde perspectivas diferentes.

En la tabla 3 comparamos la responsabilidad del productor y del consumidor de España en 1995 y 2000. La responsabilidad del consumidor es mayor que la responsabilidad del productor para todos los contaminantes atmosféricos considerados tanto en 1995 como en el 2000, con la excepción del NH<sub>3</sub> en este último año. Durante el periodo 1995-2000 este desequilibrio ha aumentado mostrando un aumento de la exportación neta de contaminación en casi todos los gases, es decir CO<sub>2</sub>, los gases sintéticos, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>. La excepción a esta pauta son los tres gases más relacionados con la agricultura, es decir CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y NH<sub>3</sub>.

**Tabla 3: Balance de responsabilidad de emisión, España 1995 y 2000**

Unidades: Miles de toneladas y %

	1995			2000			Variación (%)
	Responsabilidad del productor	Responsabilidad del consumidor	Balance de responsabilidad de emisión	Responsabilidad del productor	Responsabilidad del consumidor	Balance de responsabilidad de emisión	
	(1)	(2)	(3) = (1-2)	(4)	(5)	(6) = (4-5)	(6-3) / (3)
<i>Gases efecto invernadero</i>							
CO <sub>2</sub>	203704.00	221923.76	-18219.76	238632.00	278803.39	-40171.39	120.48
CH <sub>4</sub>	1111.98	1212.20	-100.22	1251.37	1294.52	-43.15	-56.95
N <sub>2</sub> O	68.06	73.65	-5.60	79.18	82.71	-3.53	-36.88
Gases sintéticos *	3585.24	4600.19	-1014.95	6235.43	8221.00	-1985.57	95.63
<b>Total CO<sub>2</sub> equivalente</b>	<b>251738.47</b>	<b>274812.97</b>	<b>-23074.50</b>	<b>295691.46</b>	<b>339849.60</b>	<b>-44158.14</b>	<b>91.37</b>
<i>Otros gases</i>							
SO <sub>2</sub>	1759.77	1882.78	-123.01	1499.86	1646.93	-147.06	19.55
NO <sub>x</sub>	1051.14	1165.76	-114.63	1141.43	1380.58	-239.15	108.63
NH <sub>3</sub>	303.87	319.98	-16.11	383.94	377.27	6.68	-141.45

Fuente: Elaboración propia a partir del NAMEA 1995 y 2000 de España.

\* Gases sintéticos son las emisiones totales de SF<sub>6</sub>, HFC y PFC medidas en unidades de CO<sub>2</sub> equivalente.

La tabla 4 muestra la responsabilidad del productor y la del consumidor del año 2000 considerando base 100 las responsabilidades de 1995. Las conclusiones que se obtienen de esta tabla son equivalentes a las de la tabla 3; sin embargo, la tabla 4 compara la evolución de los datos NAMEA, es decir las emisiones interiores generadas por España como productor, con la evolución de las emisiones que realmente España es responsable como consumidor. Esta información nos permite interpretar si los datos oficiales exageran o infravaloran las variaciones de las emisiones respecto a las "auténticas" responsabilidades de España. Así pues, cuando el índice de la columna del NAMEA es menor que el índice de la responsabilidad del consumidor, significa que los datos del NAMEA están infraestimando la contribución de España al incremento de emisiones. En el caso contrario, como ocurre con el NH<sub>3</sub>, el NAMEA está sobreestimando dicha contribución.

**Tabla 4: Evolución de la responsabilidad del productor y consumidor, España 1995 - 2000**

Unidades: 1995 = base 100

	Variación 1995-2000 in %	
	Responsabilidad del productor (NAMEA*)	Responsabilidad del consumidor
<i>Gases efecto invernadero</i>		
CO <sub>2</sub>	117.15	125.63
CH <sub>4</sub>	112.54	106.79
N <sub>2</sub> O	116.34	112.30
Gases sintéticos **	173.92	178.71
<b>Total CO<sub>2</sub> equivalente</b>	<b>117.46</b>	<b>123.67</b>
<i>Otros gases</i>		
SO <sub>2</sub>	85.23	87.47
NO <sub>x</sub>	108.59	118.73
NH <sub>3</sub>	126.35	117.90

Fuente: Elaboración propia a partir del NAMEA 1995 y 2000 de España.

\* Solo considerando las emisiones del NAMEA generadas por los sectores económicos

\*\* Gases sintéticos son las emisiones totales de SF<sub>6</sub>, HFC y PFC medidas en unidades de CO<sub>2</sub> equivalente.

Por lo que respecta a la balanza comercial de emisiones, los resultados coinciden con el balance de responsabilidad (ver columnas 3 y 6 de las tablas 3 y 5). Cuando la balanza es negativa, significa que España está “exportando” contaminación, es decir, importa bienes y servicios cuya producción ha generado más contaminación en otros países que la generada en España por los bienes y servicios que exporta. En el caso de los contaminantes globales, esto significaría que la responsabilidad de España es mayor que la que podría parecer. En el caso de los contaminantes locales y regionales, este hecho significaría que España está trasladando costes ambientales a otros países.

**Tabla 5: Balanza comercial de emisiones, España 1995 y 2000**

Unidades: Miles de toneladas y %

	1995			2000			Variación (%)
	Emisiones contenidas en exportaciones (1)	Emisiones contenidas en importaciones (2)	Balanza comercial de emisiones (3) = (1-2)	Emisiones contenidas en exportaciones (4)	Emisiones contenidas en importaciones (5)	Balanza comercial de emisiones (6) = (4-5)	
<i>Gases efecto invernadero</i>							
CO <sub>2</sub>	75443.04	93662.81	-18219.76	120623.29	160794.67	-40171.39	120.48
CH <sub>4</sub>	374.29	474.51	-100.22	548.17	591.32	-43.15	-56.95
N <sub>2</sub> O	24.63	30.23	-5.60	36.21	39.74	-3.53	-36.88
Synthetic gases*	2722.00	3736.96	-1014.95	5342.12	7327.69	-1985.57	95.63
<b>Total in CO<sub>2</sub> equivalent</b>	<b>93661.36</b>	<b>116735.86</b>	<b>-23074.50</b>	<b>148702.21</b>	<b>192860.34</b>	<b>-44158.14</b>	<b>91.37</b>
<i>Otros gases</i>							
SO <sub>2</sub>	599.72	722.73	-123.01	657.82	804.88	-147.06	19.55
NO <sub>x</sub>	369.31	483.94	-114.63	591.46	830.61	-239.15	108.63
NH <sub>3</sub>	99.24	115.35	-16.11	156.73	150.05	6.68	-141.45

Fuente: Elaboración propia a partir del NAMEA 1995 y 2000 de España.

\* Gases sintéticos son las emisiones totales de SF<sub>6</sub>, HFC y PFC medidas en unidades de CO<sub>2</sub> equivalente.

En la tabla 5 podemos observar que España es un “exportador neto” de emisiones para todos los contaminantes atmosféricos, tanto en 1995 como en 2000. De nuevo hay una única excepción, el NH<sub>3</sub> en el 2000. Analizando la evolución de las emisiones contenidas en las exportaciones con aquellas emisiones contenidas en las importaciones llegamos a la misma conclusión que en la tabla 3. Solo CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y NH<sub>3</sub> han disminuido su balanza comercial de emisiones. Si nos fijamos en el gas de efecto invernadero principal en 1995, el CO<sub>2</sub>, las emisiones contenidas en las exportaciones españolas fueron de 75,443.04 miles de toneladas, en comparación a las 93,662.81 miles de toneladas de las emisiones de CO<sub>2</sub> contenidas en las importaciones. Como resultado, la balanza comercial de emisiones es negativa mostrando que España exporta 18,219.76 miles de toneladas de CO<sub>2</sub>. Este resultado contrasta con Sánchez-Chóliz y Duarte (2004) quienes obtienen un resultado diferente. Según ellos las emisiones de CO<sub>2</sub> contenidas en las exportaciones españolas fue ligeramente mayor que las emisiones contenidas en las importaciones, obteniendo una balanza comercial de emisiones positiva de 4,237 miles de toneladas. Esta discrepancia puede ser explicada porque utilizaron otra conjetura para valorar las importaciones.

#### **4.3. Balances por sectores**

Las tablas 6 y 7 muestran otro potencial del modelo input-output, el cual permite desagregar los resultados a nivel sectorial. Dichas tablas presentan los balances de emisiones a nivel sectorial para los años 1995 y 2000.

A simple vista ya se puede observar que el patrón seguido no es el mismo en todos los sectores. Destacamos dos resultados interesantes. El primero hace referencia al CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y NH<sub>3</sub>. Para dicho gases encontramos que en 1995 y 2000 el sector directamente conectado con la agricultura, es decir *“Agricultura, ganadería y caza”*, es un “importador neto” de estos gases atmosféricos mientras que otros sectores indirectamente conectados con la agricultura, es decir *“Manufacturas de productos alimenticios, bebidas y tabaco”* y *“Hoteles y restaurantes”*, son “exportadores netos” de estos gases. Un segundo resultado importante es que en ambos años la *“Construcción”* –siempre desde una perspectiva input-output- es el sector que exporta más contaminación. Es el mayor exportador de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y en los gases de efecto invernadero sintéticos.

Tabla 6: Balances de emisión sectoriales, España 1995 (Unidades: toneladas)

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SF <sub>6</sub>	HFC	PFC	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	
S1	Agricultura, ganadería y caza	1682919.53	131647.13	6019.62	0.00	-2.55	-0.16	5234.52	28793.02	37981.99
S2	Selvicultura y explotación forestal	18425.97	627.89	29.38	0.00	0.00	0.00	51.05	404.66	181.55
S3	Pesca y acuicultura	-919127.74	-996.85	-75.16	0.00	-0.55	-0.14	-3335.77	-13326.53	-200.13
S4	Antracita, hulla, lignito y turba	-3324.26	-2.63	-0.52	0.00	-0.01	-0.01	-25.82	-16.42	-0.85
S5	Crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio	10797.95	41.77	0.65	0.00	0.00	0.00	39.05	92.50	0.34
S6	Extracción de minerales metálicos	45525.46	17.93	2.79	0.00	0.05	0.01	162.02	560.45	2.54
S7	Extracción de minerales no metálicos	214020.75	226.65	15.56	0.00	0.27	0.03	2050.30	1044.36	16.15
S8	Alimentos, bebidas y tabaco	-5100829.45	-90254.87	-4661.14	-0.05	-24.61	-3.23	-35558.93	-37549.59	-25317.13
S9	Industria textil	-255062.81	-869.93	-185.09	-0.01	-6.73	-0.25	-2070.02	-910.28	-435.37
S10	Industria de la confección y la peletería	-1618163.69	-8348.12	-620.62	-0.02	-11.01	-0.77	-14631.95	-7729.47	-2212.86
S11	Industria del cuero y del calzado	-148976.14	-1812.59	-149.85	0.00	-2.35	-0.24	-897.88	-1033.67	-682.38
S12	Industria de la madera y el corcho	129187.03	130.36	12.87	0.00	0.06	0.00	936.17	848.19	28.56
S13	Industria del papel	527359.60	1143.74	78.66	0.00	0.48	0.03	4808.84	2338.68	206.07
S14	Edición y artes gráficas	-490880.88	-1263.20	-106.17	-0.01	-2.02	-0.38	-4193.78	-2206.10	-242.22
S15	Coquerías, refino y combustibles nucleares	366314.41	-8820.18	131.53	-0.01	-1.28	-0.65	29976.91	-14418.00	-79.61
S16	Industria química	1950899.04	-819.97	1445.71	-0.01	65.07	-0.68	20848.26	3955.82	2202.05
S17	Industria del caucho y materias plásticas	384586.97	1065.11	-35.95	0.01	-3.41	0.10	4644.12	1685.10	-45.38
S18	Otros productos minerales no metálicos	6260393.25	1622.14	310.54	0.01	1.23	0.35	32837.48	17598.01	93.28
S19	Metalurgia	6334091.37	5441.98	623.44	0.01	5.04	35.44	48974.86	17946.99	279.86
S20	Fabricación de productos metálicos	-85336.72	-589.54	-38.41	-0.01	-0.94	-1.02	184.35	-292.19	-60.49
S21	Maquinaria y equipo mecánico	-2172275.09	-3221.57	-294.09	-0.16	-5.42	-7.46	-17240.64	-8358.14	-367.68
S22	Máquinas de oficina y equipos informáticos	-1004923.90	-1305.45	-144.47	-0.15	-3.07	-2.14	-8219.82	-4045.15	-211.42
S23	Fabricación de maquinaria y material eléctrico	276850.68	-52.11	5.98	0.72	-0.20	0.37	2620.78	1348.34	-14.02
S24	Fabricación de material electrónico	-896889.92	-1244.96	-131.12	-0.16	-2.68	-2.22	-7412.84	-3535.96	-179.77
S25	Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	-965807.06	-1195.16	-123.28	-0.16	-2.26	-2.07	-7779.53	-3833.65	-167.96
S26	Fabricación de vehículos de motor y remolques	-1163680.84	-3483.85	-355.02	-0.12	-11.11	-2.94	-6966.33	-5400.11	-656.27
S27	Fabricación de otro material de transporte	-417858.55	-682.48	-75.35	-0.02	-1.97	-1.82	-3065.02	-1505.04	-106.70
S28	Muebles y otras industrias manufactureras	-1682251.81	-3782.12	-314.39	-0.03	-5.55	-4.77	-13528.94	-6984.92	-718.34
S29	Reciclaje	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S30	Producción y distribución de electricidad, gas y vapor	-966068.87	-7425.94	-92.06	-0.03	-0.88	-0.63	-6234.54	-6132.78	-81.46
S31	Captación, depuración y distribución de agua	-107160.67	-327.05	-16.92	0.00	-0.36	-0.17	-844.24	-508.07	-26.03
S32	Construcción	-8007562.72	-13910.47	-1239.08	-0.47	-26.46	14.61	-61523.78	-32923.46	-2089.80
S33	Comercio y reparación de vehículos	-1533331.05	-4988.45	-374.95	-0.08	-10.12	-3.37	-11487.79	-6510.60	-691.37
S34	Hostelería	-4311767.07	-66208.72	-3340.94	-0.05	-16.05	-2.49	-29376.48	-33377.53	-18105.04
S35	Transporte terrestre	250327.55	-278.87	-9.00	-0.01	-0.73	-0.37	-1396.44	3612.84	-41.75
S36	Transporte marítimo	1400001.89	492.51	63.50	0.00	0.13	0.02	15698.32	25373.35	113.10
S37	Transporte aéreo y espacial	1103159.27	-160.22	44.41	0.00	-0.13	-0.06	2192.44	3378.28	18.66
S38	Actividades anexas a los transportes	210945.94	131.77	8.34	0.00	-0.30	-0.10	1372.61	1443.71	10.24
S39	Correos y telecomunicaciones	-104227.09	-250.26	-14.29	-0.01	-0.23	-0.15	-618.11	-497.13	-25.17
S40	Intermediación financiera	-230413.82	-803.72	-42.35	-0.01	-0.69	-0.28	-1163.00	-1245.14	-105.45
S41	Inmobiliarias y servicios empresariales	-1270536.81	-3395.02	-244.75	-0.06	-5.53	-1.96	-9259.23	-5876.75	-508.67
S42	Administración pública	-1534759.24	-4486.03	-273.25	-0.05	-4.41	-2.34	-11733.02	-7094.50	-666.66
S43	Educación	-552726.70	-1880.98	-98.53	-0.02	-1.52	-0.59	-4202.50	-2901.04	-249.75
S44	Sanidad y servicios sociales	-2941871.93	-7093.45	-1056.59	-0.10	-34.20	-1.86	-25581.33	-12503.04	-2233.97
S45	Otras actividades sociales y servicios	-899755.94	-2858.85	-276.66	-0.03	-3.90	-0.92	-7293.77	-4337.29	-718.09
S46	Hogares que emplean personal doméstico	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>-18219764.11</b>	<b>-100224.61</b>	<b>-5596.99</b>	<b>-1.11</b>	<b>-120.92</b>	<b>24.48</b>	<b>123009.39</b>	<b>114628.27</b>	<b>-16107.42</b>

Tabla 7: Balances de emisión sectoriales, España 2000 (Unidades: toneladas)

		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	SF <sub>6</sub>	HFC	PFC	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>
S1	Agricultura, ganadería y caza	2589646.84	197174.87	9681.13	-0.01	-3.38	-0.07	4902.17	41111.44	62172.29
S2	Selvicultura y explotación forestal	41819.59	1307.23	65.47	0.00	0.01	0.00	80.06	769.22	411.43
S3	Pesca y acuicultura	-935863.65	-988.27	-80.00	-0.01	-1.07	-0.08	-2502.09	-12653.55	-227.37
S4	Antracita, hulla, lignito y turba	-1172.35	48.00	-0.18	0.00	0.00	0.00	-4.19	-6.00	-0.41
S5	Crudos de petróleo, gas natural, uranio y torio	-217130.69	-350.62	-14.81	0.00	-0.09	-0.01	-367.76	-1648.54	-10.72
S6	Extracción de minerales metálicos	105951.72	48.89	6.67	0.00	0.20	0.02	231.18	1244.78	8.03
S7	Extracción de minerales no metálicos	269878.31	271.33	27.01	0.00	1.08	0.07	1882.22	1387.28	39.93
S8	Alimentos, bebidas y tabaco	-5571931.78	-67986.80	-3783.09	-0.13	-37.96	-1.53	-25708.55	-35098.36	-20447.06
S9	Industria textil	-271921.06	-481.92	-154.93	-0.01	-7.85	-0.12	-1302.31	-1117.86	-350.97
S10	Industria de la confección y la peletería	-2157668.79	-8656.32	-647.93	-0.04	-23.66	-0.35	-12706.77	-10147.02	-2340.99
S11	Industria del cuero y del calzado	-341217.27	-1948.56	-159.44	-0.01	-3.46	-0.13	-1641.19	-1957.29	-705.09
S12	Industria de la madera y el corcho	196938.80	113.63	17.30	0.00	0.33	0.00	955.60	1112.33	24.99
S13	Industria del papel	844343.56	1749.70	114.64	0.00	1.08	-0.01	5554.21	3490.76	345.42
S14	Edición y artes gráficas	-553115.06	-1309.46	-106.32	-0.01	-3.29	-0.14	-3031.26	-2601.16	-283.04
S15	Coquerías, refino y combustibles nucleares	-436102.04	-7599.09	152.10	-0.02	-2.35	-0.24	49037.20	-33328.17	-182.84
S16	Industria química	1010040.66	-1842.82	1338.13	-0.06	111.02	-0.49	10968.28	-2179.18	2352.84
S17	Industria del caucho y materias plásticas	717248.01	1764.31	39.51	0.01	11.54	0.04	5895.47	2750.21	127.02
S18	Otros productos minerales no metálicos	8193855.81	1933.58	382.04	0.01	3.03	0.21	33252.87	22589.25	156.02
S19	Metalurgia	7161252.67	5861.61	588.64	0.03	7.67	17.73	43976.83	20961.07	324.31
S20	Fabricación de productos metálicos	-376228.55	-1242.56	-71.95	-0.04	-2.66	-0.88	-733.85	-2234.87	-107.77
S21	Maquinaria y equipo mecánico	-3813734.42	-5294.60	-447.25	-0.56	-14.42	-4.90	-21418.22	-15978.32	-689.40
S22	Máquinas de oficina y equipos informáticos	-1545252.27	-1968.91	-190.31	-0.35	-6.97	-1.24	-8922.80	-6512.53	-333.48
S23	Fabricación de maquinaria y material eléctrico	147408.44	-437.29	-10.03	1.77	-1.09	0.09	1376.90	311.95	-35.20
S24	Fabricación de material electrónico	-2261106.98	-2686.73	-265.10	-0.68	-8.46	-1.81	-13250.16	-9105.02	-408.25
S25	Instrumentos médico-quirúrgicos y de precisión	-1292405.39	-1553.77	-145.89	-0.41	-4.59	-1.10	-7461.93	-5292.59	-231.89
S26	Fabricación de vehículos de motor y remolques	-6177645.14	-10050.37	-927.39	-0.54	-40.70	-6.16	-33090.18	-27092.42	-1615.58
S27	Fabricación de otro material de transporte	-811776.89	-1228.53	-111.93	-0.06	-3.66	-1.27	-4339.81	-3446.89	-176.25
S28	Muebles y otras industrias manufactureras	-2283504.62	-5345.13	-397.30	-0.07	-10.73	-2.38	-12525.99	-10566.63	-1159.53
S29	Reciclaje	-127.96	-0.21	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.68	-0.59	-0.02
S30	Producción y distribución de electricidad, gas y vapor	-1778712.20	-10655.97	-168.06	-0.05	-1.70	-0.25	-1583.48	-13590.24	-156.54
S31	Captación, depuración y distribución de agua	-172475.71	-411.20	-21.47	-0.01	-0.66	-0.09	-797.26	-913.45	-35.45
S32	Construcción	-12460965.09	-20462.03	-1674.59	-1.14	-56.17	-8.27	-63959.16	-55426.22	-3412.09
S33	Comercio y reparación de vehículos	-3892452.38	-7653.69	-661.62	-0.30	-30.29	-2.90	-17741.80	-18954.83	-1009.45
S34	Hostelería	-5584275.15	-63976.58	-3424.47	-0.13	-27.33	-1.29	-24710.39	-37377.91	-18746.32
S35	Transporte terrestre	353429.17	619.29	4.57	-0.02	-0.75	-0.19	-1990.31	3602.95	10.74
S36	Transporte marítimo	1242618.51	274.67	47.06	0.00	0.31	0.00	11024.90	22520.64	63.80
S37	Transporte aéreo y espacial	2073058.60	-222.02	66.45	-0.01	-0.27	-0.07	1701.61	6267.94	10.83
S38	Actividades anexas a los transportes	190621.62	152.55	6.47	-0.01	0.11	-0.09	1012.17	1297.23	23.10
S39	Correos y telecomunicaciones	-443488.76	-839.00	-55.62	-0.07	-1.50	-0.21	-1884.46	-2205.91	-113.90
S40	Intermediación financiera	-423777.39	-1075.33	-62.33	-0.03	-1.68	-0.18	-953.98	-2405.32	-154.87
S41	Inmobiliarias y servicios empresariales	-2574045.84	-5972.43	-420.47	-0.20	-15.46	-1.53	-10835.07	-13338.91	-896.31
S42	Administración pública	-2342071.30	-5815.72	-342.29	-0.13	-8.63	-1.06	-10817.48	-11837.35	-890.90
S43	Educación	-966026.61	-2791.69	-157.97	-0.06	-3.43	-0.34	-4426.29	-5281.92	-469.01
S44	Sanidad y servicios sociales	-3990323.30	-8178.89	-1119.36	-0.29	-59.30	-1.07	-22136.89	-17770.51	-2548.69
S45	Otras actividades sociales y servicios	-1632980.34	-5439.90	-447.68	-0.08	-8.78	-0.54	-8069.39	-8497.27	-1654.32
S46	Hogares que emplean personal doméstico	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>-40171386.68</b>	<b>-43146.74</b>	<b>-3532.57</b>	<b>-3.70</b>	<b>-255.95</b>	<b>22.80</b>	<b>147062.00</b>	<b>239149.86</b>	<b>6677.03</b>

## 5. Conclusiones

Este artículo analiza las emisiones contenidas en el comercio internacional. Hemos usado un modelo input-output básico extendido ambientalmente en el que se consideran dos regiones y en el que las importaciones dependen del nivel de producción de cada región. Este modelo nos permite mostrar que los datos oficiales, utilizados generalmente para controlar los acuerdos internacionales, no ilustran las emisiones realmente generadas por un país.

Además, este modelo permite aplicar los conceptos de responsabilidad del productor y del consumidor. Definimos el balance de responsabilidad de emisiones como la diferencia entre las emisiones generadas por la producción interior y las emisiones generadas para satisfacer la demanda final total menos las exportaciones. Después, dentro del mismo marco teórico, aplicando los conceptos de responsabilidad del productor y del consumidor, analizamos las relaciones de comercio internacional. Para ello definimos el balance de emisiones del comercio internacional como la diferencia entre las emisiones contenidas en las exportaciones menos las emisiones contenidas en las importaciones. Finalmente, para computar el modelo con la información disponible simplificamos el modelo considerando que todas las regiones tienen la misma tecnología.

El modelo es aplicado para España en 1995 y 2000 y para nueve gases diferentes: aquellos asociados con las presiones globales ambientalmente, es decir gases de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{SF}_6$ , HFC y PFC) y tres gases relacionados con problemas ambientales específicos y locales ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{NH}_3$ ). Este es un aspecto importante de este artículo, ya que la mayoría de los trabajos solo analizan las emisiones de  $\text{CO}_2$  o aquellas generadas por la combustión de energía ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$ ).

Los resultados obtenidos al estimar ambos balances, el balance de responsabilidad de emisiones y la balanza comercial de emisiones, muestran que España es un “exportador neto” de gases contaminantes tanto en 1995 como en 2000, con la excepción del  $\text{NH}_3$  en este último año. En otras palabras, España requiere más emisiones como consumidor que aquellas que genera interiormente como productor. En el caso de los contaminantes locales y regionales, esto significaría que España está trasladando costes ambientales a otros países. En el caso de contaminantes globales como los gases de efecto invernadero, este resultado significaría que

la responsabilidad del país en este problema global es mayor de lo que en un principio pudiera parecer., Lo último puede ser relevante para acuerdos internacionales, aunque parece poco factible conseguir compromisos sobre las emisiones totales de las cuales un país es responsable independientemente de dónde hayan sido producidas, es decir dentro o fuera de sus fronteras.

Analizando la evolución de los balances de emisión entre 1995 y 2000, observamos que solo el CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y NH<sub>3</sub> han disminuido el desequilibrio de emisiones. Finalmente, para ilustrar que la responsabilidad de emisiones no sigue el mismo patrón en todos los sectores, estimamos la balanza comercial de emisiones para 46 sectores y los 9 gases, aunque una consideración detallada de estos resultados sectoriales requeriría un mayor análisis.

## 6. Referencias bibliográficas

- Ahmad, N.; y Wyckoff, A. (2003) "Carbon dioxide emissions embodied in international trade of goods", OECD Science, Technology and Industry Working Papers, vol. 2003/15. OECD Publishing.
- Arrow, K.; Boling, B.; Costanza, R.; Dasgupta, P.; Folke, C.; Holling, S.; Jansson, B. O.; Levin, S.; Mäler, K.-G.; Perrings, C.; y Pimentel, D. (1995) "Economic Growth, carrying Capacity and the Environment", *Science*, 268, pp. 520-521.
- Bulmer-Thomas, V. (1982) *Input-Output analysis in developing countries. Sources, methods and applications*, Chichester, New York, Brisbane, Toronto and Singapore: John Wiley & Sons Ltd.
- Casler, S.; y Willbur, S. (1984) "Energy input-output analysis. A simple guide", *Resources and Energy*, 6, pp. 187-201.
- De Hann, M. (2001) "A Structural Decomposition Analysis of Pollution in the Netherlands", *Economic Systems Research*, 13(2), pp. 181-196.
- Dietzenbacher, E.; y Mukhopadhyay, K. (2007) "An Empirical Examination of the Pollution Haven Hypothesis for India: Towards a Green Leontief Paradox?", *Environmental & Resource Economics*, 36, pp. 427-449.
- Grossman, G. M.; y Krueger, A. B. (1991) "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement", NBER Working Paper 3914, National Bureau of Economic Research (NBER), Cambridge.
- Hayami, H.; y Nakamura, M. (2002) "CO<sub>2</sub> emission of an alternative technology and bilateral trade between Japan and Canada: relocating production and an implication for joint implementation", Keio Economic Observatory Discussion Paper 75, artículo presentado

en the Fourteenth International Conference on Input-Output Techniques, del 10 al 15 de Octubre, Montreal (Canada).

- Hoekstra, R.; y Van den Bergh, J.G.J.M. (2006) "Constructing physical input-output tables for environmental modelling and accounting: framework and illustrations", *Ecological Economics*, 59(3), pp. 357-393.
- INE (2005) Contabilidad Nacional de España. Marco Input-Output. Serie 1995-2000. Madrid: Instituto Nacional de Estadística (disponible en [www.ine.es](http://www.ine.es))
- INE (2006) Cuentas satélites sobre emisiones atmosféricas. Serie 1995-2000. Madrid: Instituto Nacional de Estadística (disponible en [www.ine.es](http://www.ine.es))
- Jacobsen, H. K. (2000) "Energy Demand, Structural Change and Trade: a Decomposition Analysis of the Danish Manufacturing Industry", *Economic Systems Research*, 12(3), pp. 319-343.
- Jayadevappa, R.; y Chhatre, S. (2000) "International Trade and Environmental Quality: a Survey", *Ecological Economics*, 32, pp. 175-194.
- Keuning, S. J.; Van Dalen, J.; y De Haan, M. (1999) "The Netherlands' NAMEA; presentation, usage and future extensions", *Structural Change and Economic Dynamics*, 10(1), pp. 15-37.
- Leontief, W. (1936) "Quantitative Input and Output Relations in the Economic System of the United States", *Review of Economics and Statistics*, 18(3), pp. 105-125.
- Leontief, W. (1937) "Interrelation of Prices, Output, Savings and Investment: A Study in Empirical Application of Economic Theory of General Interdependence", *Review of Economic Statistics*, 19(3), pp. 109-132.
- Leontief, W. (1953) "Domestic Production and Foreign Trade: The American Capital Position Re-Examined", *Proceedings of the American Philosophical Society*, 97(4), pp. 332-349.
- Leontief, W. (1970) "Environmental Repercussions and the Economic Structure – An Input-Output Approach", *The Review of Economics and Statistics*, 52(3), pp. 262-271.
- Leontief, W.; y Ford, D. (1972) "Air Pollution and the Economic Structure: Empirical Results of Input-Output Computations", en Brody A., Carter A. (eds), *Input-Output Techniques*, Amsterdam: North-Holland, pp. 9-30.
- Lezen, M.; Pade, L.; y Munksgaard, J. (2004) "CO<sub>2</sub> Multipliers in Multi-region Input-Output Models", *Economic Systems Research*, 16(4), pp.391-412.
- Machado, G.; Schaeffer, R.; y Worrell, E. (2001) "Energy and Carbon Embodied in the International Trade of Brazil: an Input-Output Approach", *Ecological Economics*, 39, pp. 409-424.
- Miller, R. E.; y Blair, P. D. (1985) *Input-Output analysis: foundations and extensions*. New Jersey: Prentice-Hall. 464 pp.

- Mukhopadhyay, K.; y Chakraborty, D. (1999) "India's Energy Consumption Changes during 1973/74 to 1991/92", *Economic Systems Research*, 11(4), pp.423-438.
- Munksgaard, J.; and Pedersen, K. A. (2001) "CO<sub>2</sub> Accounts for Open Economies: Producer or Consumer Responsibility?", *Energy Policy*, 29, pp.327-334.
- Munksgaard, J.; Pedersen, K. A.; y Wien, M. (2000) "Impact of Household Consumption on CO<sub>2</sub> Emissions", *Energy Economics*, 22, pp. 423-440.
- Muradian, R.; y Martínez-Alier, J. (2001) "Trade and Environment: from a 'Southern' Perspective", *Ecological Economics*, 36, pp. 281-297.
- Nijdam, D.; Wilting, H. C.; Goedkoop, M. J.; y Madsen, J. (2005) "Environmental load from Dutch private consumption: how much pollution is exported?", *Journal of Industrial Ecology*, 9(1-2), pp. 147-168.
- Peters, G. P.; y Hertwich, E. G. (2004) "Production Factors and Pollution embodied in Trade: Theoretical Development", Working Paper 5/2004, Industrial Ecology Programme, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway. (disponible en <http://www.indecol.ntnu.co/>)
- Peters, G. P.; y Hertwich, E. G. (2006a) "Structural analysis of international trade: environmental impacts of Norway", *Economic System Research*, 18(2), pp. 155-181.
- Peters, G. P.; y Hertwich, E. G. (2006b) "The importance of imports for household environmental impacts, Journal of Industrial Ecology, *Journal of Industrial Ecology*, 10(3), pp. 89-109.
- Proops, J. L. R.; Faber, M.; y Wagenhals, G. (1993) *Reducing CO<sub>2</sub> Emissions*, Berlin: Springer-Verlag.
- Sánchez-Choliz, J.; y Duarte, R. (2004) "CO<sub>2</sub> Emissions Embodied in International Trade: Evidence for Spain", *Energy Policy*, 32, pp. 1999-2005.
- Shafik, N.; y Bandyopadhyay, S. (1992) "Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross-Country Evidence", Background Paper for World Development Report 1992, Washington D.C.: World Bank.
- Stern, D. I.; Common, M. S.; y Barbier, E. B. (1996) "Economic Growth, Trade and the Environment: Implications for the Environmental Kuznets Curve", *World Development*, 24, pp. 1151-1160.
- United Nations (1999) *Handbook of Input-Output Table compilation and analysis*, Studies in Methods, Handbook of National Accounting, Serie F, N. 74, New York: United Nations.
- Wiedmann, T; Lenzen, M; Turner, K.; y Barret, J. (2007) "Examining the global environmental impact of regional consumption activities – Part 2: Review of input-output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade", *Ecological Economics*, 61, pp. 15-26.

<sup>1</sup> El acuerdo se refiere a la agregación de los seis gases medidos en unidades equivalentes de CO<sub>2</sub>. Estos seis gases son: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), hidrofluorocarbonos (HFC) y perfluorocarbonos (PFC).

<sup>2</sup> Una buena revisión de la literatura es Jayadevappa y Chhatre (2000).

<sup>3</sup> Wiedmann *et al.* (2007) hace una revisión bibliográfica de los trabajos que analizan los impactos ambientales del comercio internacional basados en el análisis input-output.

<sup>4</sup> Si ambas regiones importaran bienes intermedios y bienes finales, habría un “looping” de importaciones de una región a la otra. Por ejemplo, el incremento de la demanda final en la región 1 induciría la producción interior de la región 2 a través de sus exportaciones y, por lo tanto, nuevamente también de la producción interior de la región 1. Estas interacciones continuarían hasta su convergencia. El supuesto (ii) de este artículo interrumpe la secuencia de interacciones producidas por el comercio internacional.

<sup>5</sup> Bulmer-Thomas (1982), United Nations (1999) y Peters y Hertwich (2004) presentan algunos ejemplos sobre las diferencias entre importaciones competitivas y no competitivas.

<sup>6</sup> Formalmente,  $h_r^d$  y  $h_r^m$  vienen determinadas respectivamente por las expresiones  $h_r^d = c_r^d + g_r^d + f_r^d$  y  $h_r^m = c_r^m + g_r^m + f_r^m$ , donde  $c_r^w$  es el vector  $nx1$  de consumo privado,  $g_r^w$  el vector  $nx1$  de consumo público, y  $f_r^w$  el vector  $nx1$  de formación bruta de capital fijo ( $w=d,m$  y  $r=1,2$ ). Nótese que  $h_r^d + h_r^m = c_r^d + g_r^d + f_r^d + c_r^m + g_r^m + f_r^m$  se define como la demanda interior total, y si incorporamos el vector de exportaciones obtenemos la demanda total para usos finales  $y_r^i = h_r^d + h_r^m + e_r = c_r^d + g_r^d + f_r^d + e_r$ . Si a esta expresión le restamos las importaciones obtenemos la definición típica de demanda final neta de importaciones.

<sup>7</sup> Ver Bulmer-Thomas (1982) y United Nations (1999).

<sup>8</sup> Nótese que las expresiones  $V_1(I - A_1^d)^{-1}$  y  $V_2(I - A_2^i)^{-1} A_1^m(I - A_1^d)^{-1}$  son respectivamente el multiplicador de emisiones interiores y el multiplicador de emisiones importadas de la región 1. Por otro lado  $V_2(I - A_2^i)^{-1}$  es el multiplicador de emisiones totales de la región 2.

<sup>9</sup> Como se comentó en la introducción, aunque en la literatura se utiliza el término “consumidor” este término incluye no solo el consumo privado sino también el consumo público y la inversión.

<sup>10</sup> Sin embargo, en realidad las tecnologías entre las regiones pueden diferir considerablemente. Estas diferencias se están introduciendo en la literatura. Ver por ejemplo, Hayami y Nakamura (2002), Ahmad y Wyckoff (2003), Lenzen *et al.* (2004), Nijdam *et al.* (2005) y Peters y Hertwich (2006a, 2006b).

<sup>11</sup> Mientras la redacción de este artículo, el INE ha publicado datos actualizados sobre las Cuentas satélites de emisiones atmosféricas estableciendo como nueva base el año 2000.

<sup>12</sup> El término de cuentas híbridas indica que los datos físicos y monetarios están incluidos en el mismo marco contable diferenciándolas de las cuentas físicas (Hoekstra y Van den Bergh, 2006). Sin embargo, algunas veces este término se aplica también a las tablas input-output energéticas en las que algunos flujos están expresados en unidades físicas y no en unidades monetarias (Casler y Willbur, 1984).

<sup>13</sup> Las emisiones de transporte se asignan a los hogares solo cuando hacen uso de vehículos privados pero no cuando utilizan el transporte público. Las emisiones producidas por el gasto en electricidad no están asignadas a los hogares sino a las sectoriales productoras de electricidad.

<sup>14</sup> Los datos NAMEA sobre contaminación atmosférica no coinciden exactamente con los de otras fuentes. Una de las razones proviene de la diferente perspectiva que se adopta por lo que se refiere a si considerar las emisiones desde la perspectiva “nacional” (de la residencia de quien las genera) o “interior” (del lugar en que se generan).

<sup>15</sup> Los gases de efecto invernadero han sido agregados de acuerdo con los valores del potencial del calentamiento global establecidos por el IPCC. Los factores de conversión son: 1 para el CO<sub>2</sub>, 21 para el CH<sub>4</sub>, 310 para el N<sub>2</sub>O y 23,900 para SF<sub>6</sub>. Para los grupos de PFC los valores oscilan entre 6,500 y 9,200 dependiendo del gas específico y para el grupo de HFC estos valores oscilan entre 140 y 11,700.

<sup>16</sup> En el NAMEA español las emisiones del CNAE 90 están agregadas conjuntamente con las emisiones del CNAE 91 “Actividades asociativas”, CNAE 92 “Actividades recreativas, culturales y deportivas” y CNAE 93 “Actividades diversas de servicios personales” bajo un grupo llamado “Otras actividades sociales y servicios”.

<sup>17</sup> Para un análisis detallado ver Miller y Blair (1985).

<sup>18</sup> Como se comentó en la sección 3, el NAMEA español ofrece información sobre las emisiones directas de 46 sectores y de los hogares. Sin embargo, en este artículo sólo consideramos las emisiones relacionadas con los sectores.