

Comercio internacional y responsabilidades en las emisiones de gases de efecto invernadero. El caso español 1995-2000

284

Este artículo analiza la responsabilidad española por las emisiones de gases de efecto invernadero generadas en 1995 y 2000 considerando las emisiones «contenidas» en exportaciones e importaciones. Para ello hemos utilizado un modelo input-output multirregional ampliado con datos sobre emisiones atmosféricas que permite aplicar los conceptos de responsabilidad del productor y del consumidor y el de «balanza comercial de emisiones». Los resultados obtenidos muestran que la responsabilidad española desde la perspectiva del «consumidor» es superior a la perspectiva del «productor» para los seis gases considerados, mostrando que España es un «exportador neto» de emisiones. Respecto al cambio entre 1995 y 2000, la perspectiva de la responsabilidad del «consumidor» da mayores aumentos que la correspondiente al «productor» para el agregado de los gases considerados.

Artikulu honetan, 1995 eta 2000. urteen artean isuritako negutegi efektuko gasak direla eta, Espainiak duen erantzukizuna aztertzen da, baina esportazio eta inportazioei «dagozkien» isurketak kontuan izanda. Horretarako, hainbat eskualdetarako input-output eredu bat erabili dugu, atmosferara egindako isurketei buruzko datuez osatua; horrela eginda, ekoizlearen eta kontsumitzailearen erantzukizuna kontuan hartzeko modua dago, eta baita «isurketen merkatu-balantza» kontuan hartzeko modua ere. Lortutako emaitzek erakusten dutenez, Espainiaren erantzukizuna handiagoa da «kontsumitzailearen» ikuspegitik, «ekoizlearen» ikuspegitik baino, kontuan hartu diren sei gas-motei dagokionez, eta garbi ikusten da Espainia isurketen «esportatzaile garbia» dela. Bestetik, 1995 eta 2000. urteen artean izandako aldaketari dagokionez, «kontsumitzailearen» erantzukizunak «ekoizlearenak» baino gorakada handiagoa izan du, kontuan izan diren gasen kasuan behintzat.

This paper analyses the Spanish responsibility for greenhouse gas emissions generated in 1995 and 2000 taking into account emissions embodied in exports and imports. For doing so, we have used a multiregional input-output model environmentally extended with air emissions. This model allows for applying both the producer and consumer responsibility concepts and the trade emission balance. The paper concludes that the Spanish responsibility from the “consumer” standpoint is bigger than the responsibility from the “producer” standpoint for all the six gases; that is, Spain is a “net exporter” of emissions. Regarding the evolution of the six greenhouse gases aggregated in CO₂ equivalent units from 1995 to 2000, the emission increase is larger from the “consumer” than from the “producer” point of view.

ÍNDICE

1. Introducción
 2. Aproximación teórica: un modelo input-output multirregional
 3. Base y preparación de los datos
 4. Resultados empíricos
 5. Conclusiones
- Referencias bibliográficas

Palabras clave: gases de efecto invernadero, comercio internacional, responsabilidad del consumidor y del productor, análisis input-output.

Keywords: greenhouse gases, trade consumer and producer responsibility, input-output analysis.

N.º de clasificación JEL: C67, F18, Q53, Q56.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas ha habido un creciente debate sobre las relaciones entre globalización económica y problemas ambientales y, en particular, sobre los efectos ambientales del comercio internacional (Ekins, Folke y Costanza, 1994; Jayadevappa y Chhatre, 2000; Muradian, 2004). El debate es complejo y tiene muchos aspectos. El propósito de este artículo es aportar algunas estimaciones empíricas para España que permitan distinguir entre las emisiones de gases de efecto invernadero generadas en su territorio y las que son generadas por sus demandas interiores independientemente de donde se generen.

Nuestro punto de partida es la distinción entre dos perspectivas para asignar respon-

sabilidades que diferentes autores denominan «responsabilidad del productor» y «responsabilidad del consumidor» (Proops, Faber y Wagenhals, 1993; Steenge, 1999; Munksgaard y Pedersen, 2001). Según la primera perspectiva, las emisiones generadas por las actividades productivas de un país corresponden a dicho país independientemente de donde se generen las demandas económicas que las originan. Según la segunda perspectiva, en cambio, un país es responsable de las emisiones generadas para abastecer su demanda interna independientemente de donde se emiten. Aunque aquí adoptamos esta denominación —habitual en la literatura— es necesario advertir que la terminología podría confundir ya que cuando se habla de «responsabilidad del consumidor» no se hace referencia solo a las emisiones derivadas del componente «consumo» de la demanda interior sino de todas sus componentes: consumo privado, consumo público e inversión. Así

* Agradecemos el apoyo financiero del proyecto SEJ2006-15219/ECON (Ministerio de Educación y Ciencia).

pues, en este artículo el término «consumidor» hace referencia a los que serían los «usuarios finales» del interior del país.

Las emisiones que dan las estadísticas habituales —en las que se basan acuerdos internacionales como el protocolo de Kioto— tienen una perspectiva territorial, es decir, adoptan la perspectiva de la «responsabilidad del productor». Sin embargo, mucho más relevantes, aunque mucho más difíciles de estimar, son las emisiones desde la perspectiva de la «responsabilidad del consumidor». Por ejemplo, en el conocido debate sobre la curva de Kuznets ambiental lo que preocupa normalmente es la relación entre crecimiento económico y presiones ambientales originadas por las demandas de un país y, si se diese el caso de que en un país se produjese una «desvinculación» entre ambas variables conseguida importando más bienes cuya producción es muy contaminante, dicha desvinculación no se consideraría una desvinculación genuina sino una simple «exportación» de contaminación (Arrow *et al.*, 1995; Stern, Common y Barber, 1996; Muradian y Martínez-Alier, 2001).

Por tanto, el objetivo de este trabajo es comparar las emisiones contaminantes «oficiales» de España con las que podemos estimar que corresponden a su demanda interior. Estas pueden ser menores o mayores que las «oficiales» dependiendo de la comparación entre las emisiones asociadas a las exportaciones y las asociadas a las importaciones que podemos definir como la «balanza comercial de emisiones». Este artículo considera los años 1995 y 2000 y tiene en cuenta los seis gases de efecto invernadero regulados por el protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hexafluoruro de azufre (SF_6), hidrofluorocarbonos (HFC) y perfluorocarbonos (PFC). Esta es una ca-

racterística destacable puesto que la inmensa mayoría de trabajos de similar perspectiva se han limitado a considerar únicamente las emisiones de CO_2 .

El método que utilizamos en este trabajo está basada en el análisis input-output introducido por Leontief (Leontief, 1936, 1937) que es un marco teórico que permite ver las interrelaciones entre los diferentes sectores económicos y su relación con las demandas finales. Este enfoque se ha aplicado desde hace décadas para analizar las implicaciones del comercio internacional sobre las demandas de factores productivos (Leontief, 1953) y también para ver los efectos de las actividades económicas sobre el medio ambiente (Daly, 1968; Isard *et al.*, 1968; Leontief, 1970). En los últimos años hay un creciente número de trabajos que aplican una perspectiva input-output para comparar las emisiones asociadas a importaciones y exportaciones de diversos países: Alemania y Reino Unido (Proops, Faber y Wagenhals, 1993), Japón (Kondo, Muriguchi y Shimizu, 1998), Dinamarca (Munksgaard y Perdersen, 2001), Brasil (Machado, Schaeffer y Worrell, 2001), España (Sánchez-Chóliz y Duarte, 2004), Italia (Mongelli, Tassielli y Nottaricola, 2006), India (Dietzenbacher y Mukhopadhyay, 2007) y Turquía (Tunç, Türük-Aşık y Akbostancı, 2007).

Aunque hay considerables diferencias entre ellos, todos estos estudios tienen en común que analizan la relación entre una región y el resto del mundo. Además, por problemas de disponibilidad de datos, estos trabajos suelen adoptar la hipótesis de que el resto del mundo tiene la misma tecnología que el país analizado. Nuestro trabajo se enmarcaría dentro de este grupo; sin embargo a diferencia de los trabajos anteriores, en este artículo presentamos también un modelo más general. La aplica-

ción de este tipo de modelos para analizar las relaciones entre diferentes países o regiones permite no tener que adoptar la hipótesis de igual tecnología. Algunos ejemplos son Ahmad y Wyckoff (2003), Lenzen, Pade y Munksgaard (2004), Peters y Hertwich (2004) y Nijdam *et al.* (2005).

Después de esta introducción, el artículo incluye los siguientes apartados. El apartado 2 desarrolla un modelo input-output multirregional que permite calcular las emisiones contaminantes desde las perspectivas «del productor» y «del consumidor» y la «balanza comercial de emisiones». La fuente de datos y la preparación de éstos para aplicar el modelo se presentan en el apartado 3. En el apartado 4 presentamos los resultados empíricos para España. Finalmente, unas breves conclusiones son presentadas en el apartado 5.

2. APROXIMACIÓN TEÓRICA: UN MODELO INPUT-OUTPUT MULTIRREGIONAL

El modelo propuesto es un modelo input-output multirregional ampliado ambientalmente.¹ Este modelo permite estimar tanto la responsabilidad de las emisiones de los diferentes componentes de la demanda final interior como las emisiones «contenidas» en el comercio internacional.

2.1. Las interrelaciones económicas

Consideremos una economía dividida en dos regiones $r=1,2$, que podrían diferir tanto en sus tecnologías productivas como en

la intensidad contaminante de dichas tecnologías. Dado que lo que nos interesa es la responsabilidad de las emisiones de una determinada región y no las relaciones bilaterales entre regiones, definimos la región 1 como la región o país que queremos analizar y la región 2 como el «resto del mundo». Suponemos que cada región r está dividida en n sectores, cuya producción puede ser utilizada por otros sectores como input intermedio o como demanda final por familias, gobiernos o empresas en forma de inversión.² Dado que en la economía hay dos regiones, ello implica que cada sector puede vender su producción tanto dentro de la región como al resto del mundo.

Sea z_{ij}^r el valor monetario de las ventas del sector i al sector j dentro de la región, s_{ij}^r el valor monetario de las ventas del sector i al sector j fuera de la región, h_i^r el valor de las ventas del sector i a la demanda final dentro de la región (demanda final interior) y e_i^r el valor de las ventas del sector i a la demanda final fuera de la región (exportaciones); entonces, el valor total de los bienes producidos por el sector i en la región r sería:

$$x_i^r = [z_{i1}^r + z_{i2}^r + \dots + z_{in}^r] + [s_{i1}^r + s_{i2}^r + \dots + s_{in}^r] + h_i^r + e_i^r \quad (1)$$

Considerando las transacciones de todos los sectores de la economía en términos matriciales, tenemos:

$$x = Zi + y \quad (2)$$

donde i es un vector columna ($2n \times 1$) de unos x , z e y son vectores y matrices particionadas que representan, respectivamente

¹ Para un detallado análisis de los modelos input-output multirregionales, ver Miller y Blair (1985) y Miller (1998).

² La inversión, como es habitual en el análisis input-output la consideramos como componente de la «demanda final». Sin embargo, puede argumentarse que una parte del capital fijo —la depreciación— es en realidad un input necesario para mantener la producción. Aquí, como en la mayoría de los trabajos input-output, dejamos de lado esta importante complicación.

te: la producción bruta, las transacciones intersectoriales y la demanda final de la economía:

$$x = \begin{bmatrix} x^1 \\ x^2 \end{bmatrix}; \quad z = \begin{bmatrix} z^1 & s^1 \\ s^2 & z^2 \end{bmatrix}; \quad y = \begin{bmatrix} h^1 + e^1 \\ h^2 + e^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Adviértase que las transacciones intersectoriales internas de la región 1 se simbolizan con z^1 (matriz de transacciones intrarregionales); s^1 representa las transacciones de sectores de la región 1 a sectores de la región 2 (matriz de transacciones interregionales). Similarmente, h^1 y e^1 representan las demandas finales interior y externa respectivamente. La misma notación se utiliza para la región 2.

Multiplicando la matriz de transacciones intersectoriales z por la inversa de la matriz diagonal del vector x , obtenemos la matriz particionada de coeficientes de inputs directos:

$$A = Z(\hat{x})^{-1} = \begin{bmatrix} A^1 & M^1 \\ M^2 & A^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

donde A^1 y A^2 son las matrices (nxn) de coeficientes de inputs directos intrarregionales, M^1 es la matriz (nxn) de coeficientes de inputs directos interregionales procedentes de la región 1 hacia la región 2, y M^2 la matriz (nxn) de coeficientes de inputs directos interregionales procedentes de la región 2 hacia la región 1. Ahora introducimos un supuesto simplificador que evita complicaciones a la hora de aplicar el modelo: dado que la región considerada supone una pequeña parte del conjunto del mundo, los valores de M^2 serán normalmente muy pequeños y, por lo tanto, suponemos que son nulos; planteado desde otro punto de vista, consideramos como si todas las exportaciones de la región 1 se destinasen totalmente a la demanda final y no a ser utilizados como inputs intermedios.

Teniendo en cuenta lo anterior, la expresión (2) puede reescribirse como $x = Ax + y$, a partir de la cual obtenemos la solución del modelo input-output como $x = (I - A)^{-1}y$ donde I es la matriz identidad. En términos matriciales, tenemos:

$$\begin{bmatrix} x^1 \\ x^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (I - A^1) & 0 \\ -M^2 & (I - A^2) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} h^1 + e^1 \\ h^2 + e^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

de dónde se obtienen las producciones brutas de las regiones 1 y 2 respectivamente:

$$x^1 = (I - A^1)^{-1}(h^1 + e^1) \quad (6)$$

$$x^2 = (I - A^2)^{-1}M^2(I - A^1)^{-1}(h^1 + e^1) + (I - A^2)^{-1}(h^2 + e^2) \quad (7)$$

2.2. Emisiones totales «contenidas» en la producción bruta

Para determinar las responsabilidades en las emisiones, necesitamos estimar las emisiones asociadas a la producción bruta de cada región. Para ello definiremos el coeficiente de emisiones de cada región. Si consideramos k contaminantes, las emisiones atmosféricas generadas por los sectores de cada región pueden expresarse por la matriz B^r ($k \times n$), cuyo elemento $\{b_{ij}\}$ representa la cantidad de contaminante i emitido por el sector j medido en unidades físicas. Para cada región podemos especificar la matriz de coeficientes de emisión V^r ($k \times n$) tal que:

$$V^r = B^r(\hat{x}^r)^{-1} \quad (8)$$

donde cada elemento v_{ij} representa las emisiones de contaminante i emitidas por unidad de output del sector j .

Partiendo de la expresión (8) y recordando las (6) y (7), podemos determinar las emisiones generadas en cada región mediante los vectores ($k \times 1$) p^1 y p^2 tales que:

$$p^1 = V^1(I - A^1)^{-1}(h^1 + e^1) \quad (9)$$

$$p^2 = [V^2(I - A^2)^{-1}M^2(I - A^1)^{-1}(h^1 + e^1)] + [V^2(I - A^2)^{-1}(h^2 + e^2)] \quad (10)$$

La expresión (9) representa las emisiones totales (directas e indirectas) generadas en la región 1 y que son requeridas para satisfacer tanto la demanda final interior de la región 1 como la demanda exterior de la región 2. La expresión (10) además incluye las emisiones generadas en la región 2 al producir los *inputs* que la región 1 necesita para producir su demanda final total, es decir, interna y externa.

2.3. Responsabilidades desde diferentes perspectivas y «balanza comercial de emisiones»

Las expresiones (9) y (10) son esenciales para definir las responsabilidades de lo que se ha llamado perspectivas «del productor» y «del consumidor» así como para estimar la «balanza comercial de emisiones».

Desde el punto del productor, la región 1 sería responsable de las emisiones generadas en su territorio con independencia de donde se utilicen los productos, dentro o fuera de la región:

$$rp^1 = V^1(I - A^1)^{-1}(h^1 + e^1) \quad (11)$$

Por otro lado, desde el punto de vista del consumidor, la región 1 sería responsable de todas las emisiones causadas por su demanda interior independientemente de donde se generen. En este caso, el vector rc^1 debe incluir no solo las emisiones asociadas con la demanda final de la región 1 producidas en la región 1 ($V^1(I - A^1)^{-1}h^1$) y en la región 2 ($V^2(I - A^2)^{-1}e^2$), sino también las provocadas por los *inputs* importados requeridos para producir h^1 ($V^2(I - A^2)^{-1}M^2(I - A^1)^{-1}h^1$). Por tanto, tenemos:

$$rc^1 = [V^1(I - A^1)^{-1}h^1] + [V^2(I - A^2)^{-1}M^2(I - A^1)^{-1}h^1] + [V^2(I - A^2)^{-1}e^2] \quad (12)$$

Al comparar las emisiones generadas en la región 1 con las requeridas para el «consumo» (o mejor dicho, la demanda final interior) de la región 1 podemos definir el balance en la responsabilidad de emisiones (reb^1) como la diferencia entre los vectores de emisiones según la «responsabilidad del productor» y según la «responsabilidad del consumidor»:

$$reb^1 = [V^1(I - A^1)^{-1}e^1] - [V^2(I - A^2)^{-1}M^2(I - A^1)^{-1}h^1] - [V^2(I - A^2)^{-1}e^2] \quad (13)$$

Lógicamente, las emisiones generadas y «consumidas» dentro de la región, es decir $V^1(I - A^1)^{-1}h^1$, no aparecen en este balance.

Cuando lo que hacemos es comparar las emisiones «contenidas» en el comercio internacional de una región, debemos comparar las emisiones «contenidas» en las exportaciones con las «contenidas» en las importaciones.

Por un lado, las emisiones «contenidas» en las exportaciones de la región 1, pe^1 , son las generadas dentro de la región 1 para satisfacer la demanda externa más las generadas en la región 2 para producir los *inputs* importados que la región 1 necesita para producir los bienes exportados. Este último componente son emisiones importadas que luego son «reexportadas»:

$$pe^1 = [V^1(I - A^1)^{-1}e^1] + [V^2(I - A^2)^{-1}M^2(I - A^1)^{-1}e^1] \quad (14)$$

Por otro lado, las emisiones «contenidas» en las importaciones de la región 1, pi^1 , deben incluir todas las emisiones «contenidas» en las importaciones tanto las que se utilizan como *inputs* como las que se destinan a demanda final:

$$pi^1 = [V^2(I - A^2)^{-1}M^2(I - A^1)^{-1}(h^1 + e^1)] + [V^2(I - A^2)^{-1}e^2] \quad (15)$$

Una vez definidos los vectores pe^1 y pi^1 (kx1) podemos definir la «balanza comercial de emisiones» teb^1 (kx1) como el vector diferencia:

$$teb^1 = [V^1(I - A^1)^{-1}e^1] - [V^2(I - A^2)^{-1}M^2(I - A^1)^{-1}h^1] - [V^2(I - A^2)^{-1}e^2] \quad (16)$$

Adviértase que la expresión (16) no considera las emisiones importadas que luego serán exportadas, es decir, $V^2(I - A^2)^{-1}M^2(I - A^1)^{-1}e^1$.

Aunque reb^1 y teb^1 se han deducido de forma diferente, finalmente tienen la misma expresión y, por tanto, pueden ser interpretadas de la misma forma. Si estas expresiones tienen un signo positivo, ello implica que las emisiones contenidas en las exportaciones son mayores que las «contenidas» en las importaciones por lo que la región es un «importador neto» de emisiones. En otras palabras, puede argumentarse que los datos oficiales sobre emisiones generadas por la producción «exageran» la responsabilidad efectiva en las emisiones. Por el contrario, si el signo es negativo, entonces la región es un «exportador neto» de emisiones y las cifras oficiales infravaloran la responsabilidad de la región en las emisiones.

Una simplificación del modelo

El modelo presentado anteriormente considera que cada región tiene su propia tecnología y coeficientes de contaminación. Sin embargo, teniendo en cuenta los datos de que disponemos, adoptaremos el supuesto —irrealista pero habitual en muchos trabajos— de que ambas regiones tienen las mismas tecnologías y los mismos coeficientes de contaminación. Asumimos, por

tanto, que $A^2 = A^1 + M^2$ y $V^2 = V^1$. Asumir que el resto del mundo produce todos los bienes y servicios aplicando las mismas «recetas» que aplica España comporta que lo que en realidad estamos estimando no es tanto cuanta contaminación se genera fuera de España al producir las mercancías que efectivamente se dejan de producir en el territorio, sino más bien la cantidad de emisiones que España deja de emitir gracias a sus importaciones.

Las expresiones (13) y (16) para la región 1 pueden, así, escribirse como:

$$reb^1 = teb^1 = [V^1(I - A^1)^{-1}e^1] - [V^1(I - A^1 - M^2)^{-1}M^2(I - A^1)^{-1}h^1] - [V^1(I - A^1 - M^2)^{-1}e^2] \quad (17)$$

3. BASE Y PREPARACIÓN DE LOS DATOS

La principal base de datos de este artículo es el sistema español de cuentas *National Accounting Matrix including Environmental Accounts* (NAMEA) correspondiente a los años 1995 y 2000 preparado por el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2005; INE, 2006).³ Para aplicar el modelo antes presentado, ha sido necesario llevar a cabo alguna preparación de los datos.

A principios de los noventa, *Statistics Netherlands* (CBS) desarrolló el sistema NAMEA, que fue adoptado por el proyecto de Eurostat sobre cuentas ambientales para los países de la Unión Europea (Keuning, Van Dalen y De Haan, 1999). En este sistema, la información ambiental se organiza de una forma consistente con la forma en que las actividades económicas están recogidas

³ En el curso de realización de este trabajo el INE actualizó los datos para 1995 y 2000 partiendo de una nueva base referente al año 2000 (<http://www.ine.es>).

en la Contabilidad Nacional. Así, el núcleo del sistema —la matriz de cuentas nacionales— puede extenderse con datos ambientales (normalmente expresados en unidades físicas) como las emisiones atmosféricas.

El sistema español NAMEA no proporciona tablas simétricas sino lo que se conoce como tablas de origen y destino (*supply and use tables*). La tabla de origen muestra las unidades económicas que ofrecen bienes y servicios, mientras que la tabla de destino ofrece información sobre las unidades que los utilizan. Ambas tablas se caracterizan por ser tablas producto-sector, clasificando los primeros según la CNPA y los segundos según la CNAE. Concretamente, para los años 1995 y 2000 la matriz de contabilidad nacional se compila en precios básicos y considera 110 productos CNPA y 72 sectores CNAE, además de diferentes categorías de demanda final. Por otro lado, las cuentas de emisiones atmosféricas dan información sobre las emisiones directas producidas por 46 sectores CNAE además de las correspondientes a los hogares. Las primeras son las emisiones asociadas con la producción de bienes y servicios (incluyendo, por ejemplo, las emisiones para generar electricidad y las del transporte público y empresarial), mientras que las segundas son las asociadas directamente con el transporte privado, calefacción doméstica y otros usos residenciales.⁴ Aun-

⁴ Los datos NAMEA sobre contaminación atmosférica no coinciden exactamente con los de otras fuentes. Una de las razones es que el NAMEA recoge las emisiones generadas por las actividades económicas que realizan los residentes en el territorio económico, mientras que los inventarios nacionales de emisiones se refieren a todas las emisiones que se generan en el territorio nacional. En consecuencia, para obtener los resultados de los inventarios nacionales a partir de las emisiones del NAMEA se debería, por un lado, sumar las emisiones de los no-residentes realizadas en España y restar las de los residentes realizadas fuera de España y, por otro lado, sumar las emisiones generadas

que la información proporcionada incluye también otros gases aquí nos hemos limitado, como ya hemos señalado, a los gases regulados por el protocolo de Kioto: CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, HFC y PFC. Los resultados los presentaremos gas a gas y también agregadamente en términos de toneladas de CO₂ equivalente, que es la unidad de referencia en los compromisos internacionales de limitación de estos gases.⁵

El hecho de que el sistema español NAMEA se estructure según las tablas de origen y destino implica que las emisiones son asignadas a sectores heterogéneos. Esto tiene importantes consecuencias para la interpretación de la información. Por ejemplo, las emisiones asociadas con la producción de electricidad como actividad secundaria de un sector particular se asignan a dicho sector clasificado según su actividad principal y no a la actividad CNAE 40.1 («Producción y distribución de electricidad»). Lo mismo ocurre en el caso de las emisiones del transporte realizado por empresas de otros sectores que también llevan a cabo dicha actividad.

Además, según los principios del NAMEA y de las cuentas nacionales, las emisiones atmosféricas asociadas a la incineración y gestión de residuos en los vertederos (principalmente CO₂ y, sobre todo, CH₄) se asignan al sector CNAE 90 («Saneamiento público»). En este trabajo,

por agentes no económicos y restar las emisiones captadas por la naturaleza (e.g. la absorción de CO₂ por parte de los bosques).

⁵ Los factores de conversión, que tienen en cuenta el potencial de calentamiento global y han sido establecidos por el IPCC son: 1 para el CO₂, 21 para el CH₄, 310 para el N₂O, 23.900 para el SF₆, mientras que para el grupo de los PFC, los valores oscilan entre 6.500 y 9.200 dependiendo del gas específico y para el grupo de los HFC varían entre 140 y 11.700 (Ministerio de Medio Ambiente, 2007).

siguiendo la experiencia del sistema NAMEA holandés (Keuning, Van Dalen y De Haan, 1999), distinguimos, además de las emisiones de los sectores económicos y de los hogares, «otras fuentes» para incluir en esta categoría todas las emisiones de CH₄ relacionadas con la gestión de residuos.⁶ Nuestro trabajo se centra en comparar según diferentes perspectivas de responsabilidad las emisiones de los «sectores», ya que en las de los «hogares» y «otras fuentes» (metano del sector gestión de residuos) no procede la diferencia entre responsabilidad del «consumidor» y del «productor».

A efectos analíticos y, en particular, para calcular efectos indirectos, lo más apropiado es utilizar tablas input-output simétricas las cuales, como hemos señalado, no son proporcionadas en el sistema español NAMEA lo que implica realizar una serie de transformaciones. La matriz simétrica debe representar un tipo de bienes o servicios homogéneos; sin embargo, la información de que disponemos tanto económica como ambiental corresponde a sectores heterogéneos, es decir, que incluyen productos «secundarios». Para obtener una tabla simétrica los inputs intermedios y las emisiones correspondientes a los productos secundarios deberían ser asignados a los sectores de los cuales son productos principales. Para llevar a cabo esta transformación y obtener las matrices A y V^r hemos aplicado la llamada «hipótesis de la tecnología de la industria» según la cual se supo-

⁶ En el NAMEA español, las emisiones del sector CNAE 90 están agregadas con las del CNAE 91 («Actividades asociativas»), 92 («Actividades recreativas, culturales y deportivas») y 93 («Actividades diversas de servicios personales») bajo el título «Otras actividades sociales y servicios». Dado que no disponemos de datos más desagregados, todas las emisiones de CH₄ se asignan a la categoría «otras fuentes».

ne que todos los productos de un sector —principal y secundarios— son producidos con la misma tecnología.⁷ Dado el nivel de desagregación de las cuentas ambientales, las tablas simétricas estimadas hacen referencia a 46 sectores.

4. RESULTADOS EMPÍRICOS

Seguidamente presentamos los resultados para España. Como hemos señalado, hemos computado el modelo para dos años, 1995 y 2000 y para seis contaminantes de efecto invernadero, con el supuesto restrictivo de que los patrones tecnológicos y contaminantes del resto del mundo son los mismos que los de España. Como ya hemos señalado, dado el objetivo del artículo de la información que ofrece el NAMEA nosotros nos limitamos a las emisiones de los diferentes sectores (excluido el de gestión de residuos) obviando las emisiones directas de los hogares en las se incluye el transporte privado.

4.1. Principales resultados

Los cuadros n.º 1 y n.º 2 ilustran para ambos años el potencial de la perspectiva input-output y, en particular, del modelo aquí utilizado. Las tablas muestran para 1995 y 2000 las emisiones totales que arrastra cada componente de la demanda del modelo, es decir, la demanda final interior y externa. Muestran las emisiones generadas dentro de las propias fronteras pero también las generadas fuera diferenciando, en el primer caso, las que son para producir bienes demandados interiormente o para exportación, y, en el segundo caso,

⁷ Para un análisis detallado, ver Miller y Blair (1985).

Cuadro n.º 1
Resultados del modelo, España 1995

Unidades: miles de toneladas y %

	Emisiones «contenidas» en producción interior (NAMEA ^a)			Emisiones «contenidas» en 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	
	h^d (1)	E (2)	p^d (%) (1+2)/6	h^d (3)	e (4)	h^m (5)	p^m (%) (3+4+5)/6	
CO ₂	152.037,42	51.666,58	68,50	45.322,86	23.776,46	24.563,49	31,50	297.366,81
CH ₄	806,62	305,36	70,09	241,16	68,93	164,43	29,91	1.586,49
N ₂ O	48,96	19,10	69,24	14,82	5,54	9,87	30,76	98,29
SF ₆	0,0022	0,0018	51,14	0,0015	0,0009	0,0013	48,86	0,0077
HFC	0,2319	0,1645	49,89	0,1993	0,1128	0,0861	50,11	0,7946
PFC	0,0479	0,0697	45,84	0,0587	0,0448	0,0354	54,16	0,2565
Total en emisiones de CO₂ equivalente	186.108,19	65.630,27	68,32	56.771,21	28.031,09	31.933,56	31,68	368.474,33

Fuente: elaboración propia a partir de los datos NAMEA 1995. No incluimos en ningún cálculo ni las emisiones de los hogares (incluido el transporte privado) ni las de metano del sector de la gestión de residuos.

^a Los datos del NAMEA son los oficiales dados por el INE y solo consideran las emisiones generadas por los residentes dentro del territorio español.

Cuadro n.º 2
Resultados del modelo, España 2000

Unidades: miles de toneladas y %

	Emisiones «contenidas» en producción interior (NAMEA ^a)			Emisiones «contenidas» en importaciones				Total emisiones MODELO
	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	
	h^d (1)	E (2)	p^d (%) (1+2)/6	h^d (3)	e (4)	h^m (5)	p^m (%) (3+4+5)/6	
CO ₂	166.432,00	72.200,00	59,74	67.976,76	48.423,29	44.394,63	40,26	399.426,67
CH ₄	813,02	438,36	67,91	254,54	109,82	226,96	32,09	1.842,69
N ₂ O	51,59	27,59	66,58	16,42	8,62	14,71	33,42	118,92
SF ₆	0,0041	0,0047	43,71	0,0038	0,0030	0,0046	56,29	0,0202
HFC	0,4334	0,3974	46,75	0,3728	0,2929	0,2806	53,25	1,7770
PFC	0,0186	0,0356	37,43	0,0314	0,0322	0,0271	62,57	0,1448
Total en emisiones de CO₂ equivalente	202.672,91	93.018,55	60,52	81.252,07	55.683,65	55.924,62	39,48	488.551,80

Fuente: elaboración propia a partir de los datos NAMEA 2000. No incluimos en ningún cálculo ni las emisiones de los hogares (incluido el transporte privado) ni las de metano del sector de la gestión de residuos

^a Los datos del NAMEA son los oficiales dados por el INE y solo consideran las emisiones generadas por los residentes dentro del territorio español.

si las emisiones son para producir inputs utilizados para abastecer uno u otro tipo de demanda o bien para producir bienes finales importados por España. Por supuesto puede decirse que en estas tablas hay «doble contabilidad», en el sentido de que incluyen las emisiones para abastecer las importaciones, pero no excluyen las asociadas a las exportaciones. Sin embargo, los resultados son relevantes para evidenciar la importancia —para la responsabilidad sobre las emisiones— de los intercambios comerciales internacionales y para poder obtener los cálculos posteriores. El peso estimado de las emisiones asociadas a las importaciones respecto a las totales (sin excluir las de las asociadas a las exportaciones) del total de gases de efecto invernadero era en 1995 de más del 30% y en 2000 aún mayor: prácticamente del 40%⁸.

4.2. Balance de responsabilidades

El cuadro n.º 3 expresa para 1995 y 2000 los cálculos de lo que —siguiendo el lenguaje habitual— hemos denominado la perspectiva de la «responsabilidad del productor» y la más relevante de la «responsabilidad del consumidor». Para todos los gases y para ambos años obtenemos que el segundo cálculo es mayor que el primero; en otras palabras, la «auténtica» responsabilidad de España en las emisiones totales es mayor que la que podría esperarse si nos fijamos en las estadísticas oficiales que olvidan el papel de los intercambios internacionales.

El cuadro n.º 4 nos da los cálculos relevantes para ver si las estadísticas oficiales

infravaloran o exageran los «cambios» en las emisiones que son responsabilidad de la demanda interior española entre 1995 y 2000. Por los datos de las dos primeras columnas vemos que en términos relativos no sólo hay una significativa infravaloración de la «auténtica» responsabilidad en las emisiones de determinados gases sino que está infravaloración aumenta: es el caso del dióxido de carbono (CO₂) y de los tres gases «sintéticos» (SF₆, HFC y PFC); en cambio, para el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) la diferencia se reduce en términos relativos. Consecuencia directa de ello es que para los primeros se infravalora su aumento (o exagera su disminución en el caso de los PFC), mientras que para los dos últimos el aumento según la «responsabilidad del consumidor» sí es inferior al que nos da la «responsabilidad del productor». Globalmente, si agregamos los seis gases, el resultado es lógicamente muy próximo al del CO₂, hoy por hoy el principal gas de efecto invernadero: si atendemos a las estadísticas de emisiones, éstas habrían aumentado un 17,5% mientras que incorporando los efectos del comercio internacional el aumento sería mayor, un 23,7%.

Como ya hemos explicado —y demostrado matemáticamente— el mismo resultado numérico que hemos presentado en el cuadro n.º 3 puede obtenerse aplicando un enfoque diferente. Se trata de comparar exportaciones con importaciones no desde el punto de vista monetario sino desde el punto de vista de las emisiones asociadas. Es lo que hemos denominado «balanza comercial de emisiones». Como vemos, y ya sabíamos por los resultados anteriores, la balanza es negativa en ambos años y para todos los gases, por lo que podemos definir a España como «exportador neto» de gases de efecto invernadero. Además, dicho carácter expor-

⁸ Resultados similares se computan en Sánchez-Chóliz y Duarte (2004) también para España si bien en su trabajo sólo presentan información para 1995 y sólo para el CO₂.

Cuadro n.º 3
Responsabilidad según diferentes perspectivas, España 1995 y 2000

Unidades: miles de toneladas

	1995			2000		
	Responsabilidad del productor (1)	Responsabilidad del consumidor (2)	Balance de responsabilidades (3) = (1-2)	Responsabilidad del productor (4)	Responsabilidad del consumidor (5)	Balance de responsabilidades (6) = (4-5)
CO ₂	203.704,00	221.923,76	-18.219,76	238.632,00	278.803,39	-40.171,39
CH ₄	1.111,98	1.212,20	-100,22	1.251,37	1294,52	-43,15
N ₂ O	68,06	73,65	-5,60	79,18	82,71	-3,53
SF ₆	0,0039	0,0050	-0,0011	0,0089	0,0125	-0,0037
HFC	0,3964	0,5173	-0,1209	0,8308	1,0867	-0,2560
PFC	0,1176	0,1421	-0,0245	0,0542	0,0770	-0,0228
Total en emisiones de CO₂ equivalente	251.738,47	274.812,97	-23.074,50	295.691,46	339.849,60	-44.158,14

Fuente: elaboración propia a partir de los datos NAMMEA 1995 y 2000. No incluimos en ningún cálculo ni las emisiones de los hogares (incluido el transporte privado) ni las de metano del sector de la gestión de residuos.

Cuadro n.º 4

Indicadores de responsabilidad y de variación de emisiones según diferentes perspectivas, España 1995 y 2000

	Relación entre emisiones según «responsabilidad del consumidor» y según «responsabilidad del productor» (x 100)		Variación 1995-2000 en % según diferentes perspectivas	
	1995	2000	Responsabilidad del productor	Responsabilidad del consumidor
CO ₂	108,9	116,8	17,15	25,63
CH ₄	109,0	103,4	12,54	6,79
N ₂ O	108,2	104,5	16,34	12,30
SF ₆	128,2	140,4	128,21	150,00
HFC	130,5	130,8	109,59	110,07
PFC	120,8	142,1	-53,91	-45,81
Total en emisiones de CO₂ equivalente	109,2	114,9	17,46	23,67

Fuente: elaboración propia a partir de los datos NAMEA 1995 y 2000. No incluimos en ningún cálculo ni las emisiones de los hogares (incluido el transporte privado) ni las de metano del sector de la gestión de residuos.

Cuadro n.º 5
Balanza comercial de emisiones
España 1995 y 2000

Unidades: miles de toneladas y %

	1995			2000			Variación (%)
	Emisiones «contenidas» en exportaciones	Emisiones «contenidas» en importaciones	Balanza comercial de emisiones	Emisiones «contenidas» en exportaciones	Emisiones «contenidas» en importaciones	Balanza comercial de emisiones	
CO ₂	75.443,04	93.662,81	-18.219,76	120.623,29	160.794,67	-40.171,39	120,48
CH ₄	374,29	474,51	-100,22	548,17	591,32	-43,15	-56,95
N ₂ O	24,63	30,23	-5,60	36,21	39,74	-3,53	-36,88
SF ₆	0,0026	0,0037	-0,0011	0,0077	0,0114	-0,0037	234,32
HFC	0,2773	0,3982	-0,1209	0,6903	0,9463	-0,2560	111,67
PFC	0,1145	0,1389	-0,0245	0,0678	0,0906	-0,0228	-6,85
Total en emisiones de CO₂ equivalente	93.661,36	116.735,86	-23.074,50	148.702,21	192.860,34	-44.158,14	91,37

Fuente: elaboración propia a partir de los datos NAMEA 1995 y 2000.

tador de emisiones se ha acentuado para diversos gases de efecto invernadero. Agregadamente el desequilibrio medido en toneladas de CO₂ equivalente casi se ha duplicado entre 1995 y 2000. Los factores que pueden explicar la magnitud del carácter «exportador neto» de emisiones son, por un lado, el desequilibrio (monetario) comercial global de la economía española y, por otro lado, podría jugar un papel importante la diferente composición sectorial de importaciones y exportaciones. Sin embargo, para ver el papel de estos factores se requeriría un análisis más desagregado.

5. CONCLUSIONES

En este artículo se ha analizado la responsabilidad por las emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, HFC y PFC) generadas por la demanda interior española en 1995 y 2000 teniendo en cuenta las emisiones «contenidas» en exportaciones e importaciones. Para ello hemos utilizado un modelo input-output multirregional ampliado con datos sobre emisiones atmosféricas. Dada la limitación de datos hemos asumido que las tecnologías utilizadas

en el «resto del mundo» son las mismas que las que se utilizan en España. Aplicando los conceptos de responsabilidad del productor y del consumidor definimos el concepto de balance de responsabilidades en las emisiones; además, el mismo resultado puede obtenerse a partir de la estimación de las emisiones asociadas a las exportaciones y a las importaciones, es decir, de la «balanza comercial de emisiones».

El resultado es que para ambos años y para todos los gases considerados, la responsabilidad española desde la perspectiva del «consumidor» es superior a la que se obtiene desde la perspectiva del «productor» (mediante la cual se elaboran las estadísticas oficiales y se asumen compromisos internacionales). En otras palabras, España es, según estas estimaciones, un «exportador neto» de emisiones. Por lo que se refiere a los cambios entre 1995 y 2000 podemos concluir que la perspectiva de la «responsabilidad del consumidor» da mayores aumentos que los datos oficiales, basados en la perspectiva de «responsabilidad del productor», para algunos gases y para el agregado de ellos medidos en toneladas de CO₂ equivalente.

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: 520-521.
- DALY, H. E. (1968): «On economics as a Life Science», *Journal of Political Economy*, 76(3): 392-406.
- 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: 427-449.
- EKINS, P., FOLKE, C Y COSTANZA, R. (1994): «Trade, environment and development: the issues in perspective» *Ecological Economics*, 9(1): 1-12.
- INE (2005): *Contabilidad Nacional de España. Marco Input-Output. Base 1995. Serie 1995-2000*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística (disponible en www.ine.es).
- (2006): *Cuentas satélites sobre emisiones atmosféricas. Base 1995. Serie 1995-2000*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística (disponible en www.ine.es).
- ISARD, W.; BASSET, K.; CHOGUILL, C.; FURTADO, J.; IZUMITA, R.; KISSIN, J.; ROMANOFF, E.; SEYFARTH, R.; Y TATLOCK, R. (1968): «On the linkage of socio-economic and ecologies systems», *Papers of the Regional Science Association*, XXI: 79-99.
- JAYADEVAPPA, R. Y CHHATRE, S. (2000): «International Trade and Environmental Quality: a Survey», *Ecological Economics*, 32: 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): 15-37.
- KONDO, Y.; MORIGUCHI, Y. Y SHIMIZU, H. (1998): «CO₂ Emissions in Japan: Influences of Imports and Exports», *Applied Energy*, 59(2-3): 163-174.
- LENZEN, M.; PADE, L. Y MUNKSGAARD, J. (2004): «CO₂ Multipliers in Multi-region Input-Output Models», *Economic Systems Research*, 16(4): 391-412.
- LEONTIEF, W. (1936): «Quantitative Input and Output Relations in the Economic System of the United States», *Review of Economics and Statistics*, 18(3): 105-125.
- (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): 109-132.
- (1953): «Domestic Production and Foreign Trade: The American Capital Position Re-Examined», *Proceedings of the American Philosophical Society*, 97(4): 332-349.
- (1970): «Environmental Repercussions and the Economic Structure – An Input-Output Approach», *The Review of Economics and Statistics*, 52(3): 262-271.
- 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: 409-424.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2007): *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de España. Serie 1990-2005 (sumario de resultados)*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. 30 pp. (disponible en www.mma.es)
- MILLER, R. E. Y BLAIR, P. D. (1985): «Input-Output analysis: foundations and extensions». New Jersey: Prentice-Hall. 464 pp.
- MILLER, R. (1998): «Regional and interregional input-output analysis» en WALTER ISARD *et al.* (ed.) *Methods of interregional and regional analysis, Aldershot: Ashgate Publishing Limited: 41-133*.
- MONGELLI, G.; TASSIELLI, G. Y NOTARNICOLA, B. (2006): «Global warming agreements, international trade and energy/carbon embodiments: an input-output approach to the Italian case», *Energy Policy*, 34: 88-100.
- MUNKSGAARD, J. Y PEDERSEN, K. A. (2001): «CO₂ Accounts for Open Economies: Producer or Consumer Responsibility?» *Energy Policy*, 29:327-334.
- MURADIAN, R. (2004): «Economic Globalisation and the Environment», *Internet Encyclopaedia of Ecological Economics*, (disponible en http://www.ecoeco.org/pdf/globalisation_environment.pdf).
- MURADIAN, R. Y MARTÍNEZ-ALIER, J. (2001): «Trade and Environment: from a 'Southern' Perspective», *Ecological Economics*, 36: 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): 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/>).
- PROOPS, J. L. R.; FABER, M. Y WAGENHALS, G. (1993): *Reducing CO₂ Emissions*, Berlin: Springer-Verlag.
- SÁNCHEZ-CHOLIZ, J. Y DUARTE, R. (2004): «CO₂ Emissions Embodied in International Trade: Evidence for Spain», *Energy Policy*, 32: 1999-2005.
- STEENGE, A. E. (1999): «Input-output theory and institutional aspects of environmental policy», *Structural Change and Economic Dynamics*, 10: 161-176.
- 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: 1151-1160.
- TUŇ, G. I.; TÜRÜK-AŞIK, S. Y AKBOSTANCI, E. (2007): «CO₂ emissions vs. CO₂ responsibility: An input-output approach for the Turkish economy», *Energy Policy*, 35: 855-868.