

# EFFECTOS DE UNA REFORMA FISCAL VERDE EN ESPAÑA. UN NUEVO ENFOQUE DE ANÁLISIS INTEGRANDO MODELOS MICRO Y MACROECONÓMICOS

Xavier Labandeira <sup>(a)</sup>, José M. Labeaga <sup>(b)</sup> y Miguel Rodríguez <sup>(a)(c)</sup>

<sup>(a)</sup> Departamento de Economía Aplicada (Universidad de Vigo); <sup>(b)</sup> Departamento de Análisis Económico (UNED); <sup>(c)</sup> Autor de contacto: miguel.r@uvigo.es

## Resumen

Durante los últimos años las denominadas reformas fiscales verdes se han convertido en un instrumento relevante en las políticas ambientales del mundo desarrollado. Estas reformas se sustentan en la teoría del doble dividendo de la imposición ambiental, que en esencia aboga por la introducción de esos tributos con neutralidad recaudatoria y reducción de la imposición distorsionante. Ante la ambigüedad teórica existente sobre el signo y magnitud de los efectos de estas reformas, este artículo propone una nueva metodología que permite realizar un análisis completo de las consecuencias distributivas y de eficiencia. Para ello se integra un modelo micro-económico de demanda residencial de bienes energéticos y un modelo de equilibrio general aplicado. La simulación de una hipotética reforma en España muestra que un impuesto sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>, con reducción simultánea en las cotizaciones sociales, proporciona una doble ganancia de bienestar (ambiental y fiscal). Además, sus efectos distributivos son poco significativos y relativamente específicos.

---

Agradecemos los comentarios recibidos de Alberto Gago, José M. González-Páramo, Baltasar Manzano, Clemente Polo, Pere Riera y Amedeo Spadaro, siendo cualquier error u omisión de nuestra única responsabilidad. Miguel Rodríguez quiere destacar la ayuda prestada por Antonio Gómez en la programación del modelo de equilibrio general, y de Melchor Fernández en matrices de contabilidad social. Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación recibida del Ministerio de Ciencia y Tecnología (Proyecto SEC2002-03095, Xavier Labandeira y Miguel Rodríguez).

## 1. Introducción

Los problemas ambientales de carácter global, como el cambio climático, han originado un renovado y creciente interés por el diseño y efectos de diversas políticas de intervención pública. Dentro de éstas se sitúan las denominadas reformas fiscales verdes (RFVs), que se han venido postulando y aplicando desde la pasada década<sup>1</sup>. En esencia una RFV pretende una doble mejora de eficiencia, ambiental y fiscal, a través de la introducción de impuestos ambientales cuya recaudación sirve para reducir imposición distorsionante. Por ejemplo, un impuesto sobre el consumo de combustibles fósiles contrae su demanda y por tanto la contaminación asociada a ésta (primer dividendo), además de obtener ingresos fiscales que permitirían reducir la imposición sobre la renta o el trabajo y distorsiones relacionadas (segundo dividendo).

Desde un punto de vista teórico, reciclar la recaudación obtenida por la imposición ambiental posee un valor de eficiencia al reducir los costes regulatorios con respecto a una situación sin reciclaje, en lo que se conoce como *doble dividendo débil* (Goulder, 1995). Esto es suficiente para sustentar la implantación de RFVs en la realidad, aunque las condiciones teóricas para que se materialice un *doble dividendo fuerte*, o primer y segundo dividendo simultáneamente positivos, son muy restrictivas (Bovenberg y Goulder, 2002).

Es necesario, por tanto, acudir a métodos de simulación económica para contrastar empíricamente la hipótesis del doble dividendo de la imposición ambiental. Diversos trabajos han analizado la evidencia empírica disponible, concluyendo que determinadas RFVs, principalmente aquellas que posibilitan una reducción en las cotizaciones salariales, pueden proporcionar un doble dividendo fuerte<sup>2</sup>. Gran parte de la literatura centra su atención en cuestiones de eficiencia, si bien para evaluar los cambios en el bienestar provocados por una RFV es preciso conocer sus efectos distributivos. En particular, las consecuencias distributivas son cruciales para una eventual aplicación práctica de las RFVs analizadas.

Este trabajo propone la utilización de una nueva metodología que permite realizar un análisis completo de los efectos de eficiencia y distributivos de una RFV. Un nuevo

---

<sup>1</sup> Véanse por ejemplo Pearce (1991) y Gago y Labandeira (2000).

<sup>2</sup> Ver Bosquet (2002) o Gago, Labandeira y Rodríguez (2003).

enfoque de análisis capaz de integrar los métodos más adecuadas para resolver los objetivos propuestos: un modelo microeconómico de demanda de bienes energéticos por los hogares y un modelo de equilibrio general aplicado (MEGA). El MEGA nos permite conocer los cambios provocados por la RFV en las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el bienestar social, los precios y el nivel de actividad de los diferentes sectores e instituciones. Posteriormente, integrando los resultados del MEGA en el modelo microeconómico, es posible desagregar en profundidad los efectos de la RFV sobre los hogares y analizar así el perfil distributivo de la reforma<sup>3</sup>.

Un objetivo fundamental del artículo es utilizar esta nueva metodología para conocer los efectos económicos, distributivos y ambientales de una RFV en España. Los resultados de esta aplicación muestran que la introducción del impuesto sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> con reducción en las cotizaciones sociales proporciona un doble dividendo fuerte, siendo sus efectos distributivos poco significativos y relativamente específicos. Esta nueva evidencia empírica para la economía española es especialmente útil por la escasez y carácter parcial de la literatura existente<sup>4</sup>, claramente insuficiente para informar las imprescindibles políticas de control de cambio climático a que se enfrenta nuestro país en el corto plazo<sup>5</sup>.

El artículo se estructura en tres secciones, además de esta introducción. En el apartado 2 se describe el enfoque metodológico utilizado, con una descripción de los modelos teóricos y de su implementación empírica. El apartado 3 presenta las políticas consideradas y los resultados obtenidos de las simulaciones con los modelos micro y macroeconómicos integrados. Por último, la sección 4 recoge las principales conclusiones del trabajo y algunas implicaciones de política.

---

<sup>3</sup> Ver Bosquet (2002) o Gago, Labandeira y Rodríguez (2003).

<sup>4</sup> Labandeira y Labeaga (1999) unen un modelo input-output a otro microeconómico para analizar los efectos de un impuesto sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> sobre la distribución de la renta y el bienestar de los consumidores con reciclaje de ingresos fiscales mediante transferencias de tanto alzado. Por su parte, Manresa y Sancho (2001) emplean un modelo de equilibrio general aplicado estático para simular una RFV con reducción de la tributación del trabajo. Esta misma metodología es utilizada por Gómez, Kverndokk y Faehn (2002), aunque se simula un mercado de permisos de emisión de CO<sub>2</sub> cuyos ingresos sirven para financiar una reducción en las cotizaciones sociales de los trabajadores no cualificados.

<sup>5</sup> A comienzos de 2002 España había incrementado sus emisiones de CO<sub>2</sub> en más de un 30% con respecto a 1990, duplicando el límite permitido por el acuerdo interno dentro de la UE para el cumplimiento del Protocolo de Kioto en 2010.

## 2. Un enfoque de análisis integrador de modelos micro y macroeconómicos

En este apartado se describe el enfoque de análisis utilizado en el trabajo. La principal aportación metodológica consiste en abordar los efectos de RFVs mediante un ejercicio empírico que integra simulaciones realizadas con un modelo de equilibrio general y un sistema microeconómico de demanda de bienes energéticos de los hogares.

### 2.1. El modelo de equilibrio general aplicado

El modelo aplicado es estático y con diecisiete sectores productivos. La función de producción, especialmente diseñada para evaluar políticas ambientales<sup>6</sup>, es una sucesión de funciones de elasticidad constante de sustitución (CES) anidadas en las que se combinan diferentes energías y factores productivos (capital,  $K$ , y trabajo,  $L$ ), como ilustra la Figura 1. Como resultado, la producción del sector  $i$ , medida en unidades y denotada por  $B_i$ , es una combinación de bienes intermedios y los restantes factores productivos ( $K$ ,  $L$ , energía), mediante una función Leontief.

La oferta total del bien  $i$  en la economía,  $A_i$ , es un bien compuesto mediante una función CES por la producción nacional e importaciones,  $IMP_i$ , asumiendo como es habitual que los bienes de distinto origen son productos imperfectamente sustitutivos. El destino final de la oferta es la exportación,  $EXP_i$ , o el consumo doméstico  $D_i$ , determinado a través de una función de elasticidad constante de transformación (CET)<sup>7</sup>.

Siguiendo la desagregación de las cuentas nacionales españolas, en la economía existen cinco sectores institucionales: un hogar representativo, el sector público, el sector exterior, las sociedades, y las Instituciones Sin Fines de Lucro al Servicio de los Hogares (ISFLSH)<sup>8</sup>.

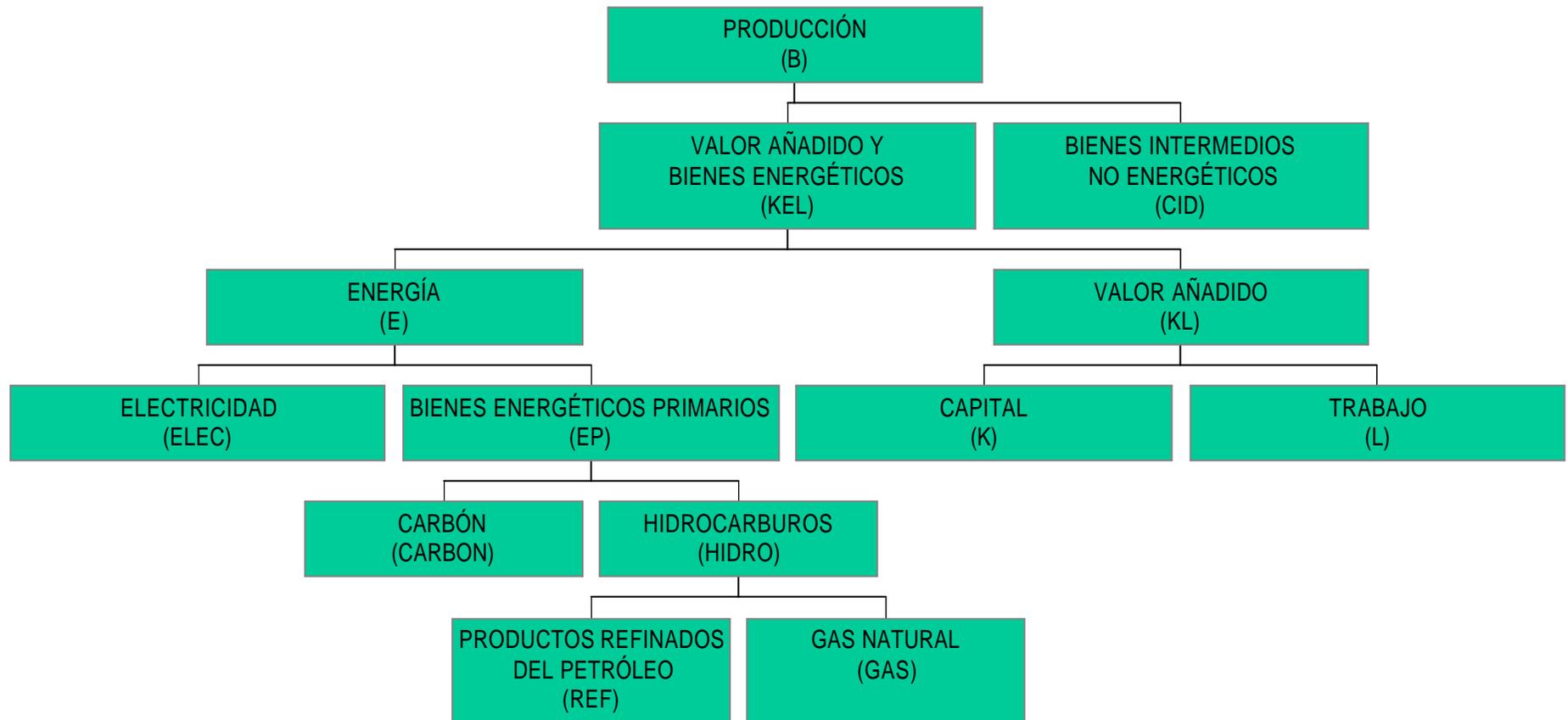
---

<sup>6</sup> La estructura del MEGA utilizado en nuestro análisis empírico es similar, con algunos cambios, a la utilizada por Böhringer, Ferris y Rutherford (1997). El Apéndice describe con mayor detalle el modelo.

<sup>7</sup> Ver Shoven y Whalley (1992) para una descripción del tratamiento del comercio internacional en los MEGAs.

<sup>8</sup> El gobierno, los hogares y el sector exterior, son los verdaderos propietarios de las sociedades e ISFLSH. Sin embargo, no hemos querido utilizar sólo estos tres sectores básicos para no alterar sus restricciones presupuestarias y mantener así una mayor coherencia entre el modelo macro y el micro.

Figura 1. Estructura encadenada de la tecnología de producción



Fuente: Elaboración propia

Las sociedades y las ISFLSH son los gestores directos de los sectores. Las sociedades reciben rentas del capital,  $K_{SOC}$ , donde  $r$  es su precio marginal, y pagan impuestos por ellas,  $R_{SOC}$ . También realizan transferencias netas con otras instituciones,  $TR_{SOC}$ . El equilibrio en la restricción presupuestaria de las sociedades vendrá determinado por el volumen de ahorro, donde  $AF_{SOC}$  es la cantidad y  $PINV$  su precio marginal,

$$PINV \cdot AF_{SOC} = r \cdot \bar{K}_{SOC} + \bar{TR}_{SOC} - \bar{R}_{SOC} \quad (1)$$

Las ISFLSH también reciben rentas del capital, pero no pagan impuestos por ellas. Parte de sus rentas son destinadas al consumo de bienes y servicios,  $CF_{ISFL}$ , a su vez determinado mediante una función Cobb-Douglas. El resto de sus rentas se dedican al ahorro e inversión,  $AF_{ISFL}$ , y transferencias netas con otras instituciones,  $TR_{ISFL}$ ,

$$PINV \cdot AF_{ISFL} = r \cdot \bar{K}_{ISFL} + \bar{TR}_{ISFL} - CF_{ISFL} \quad (2)$$

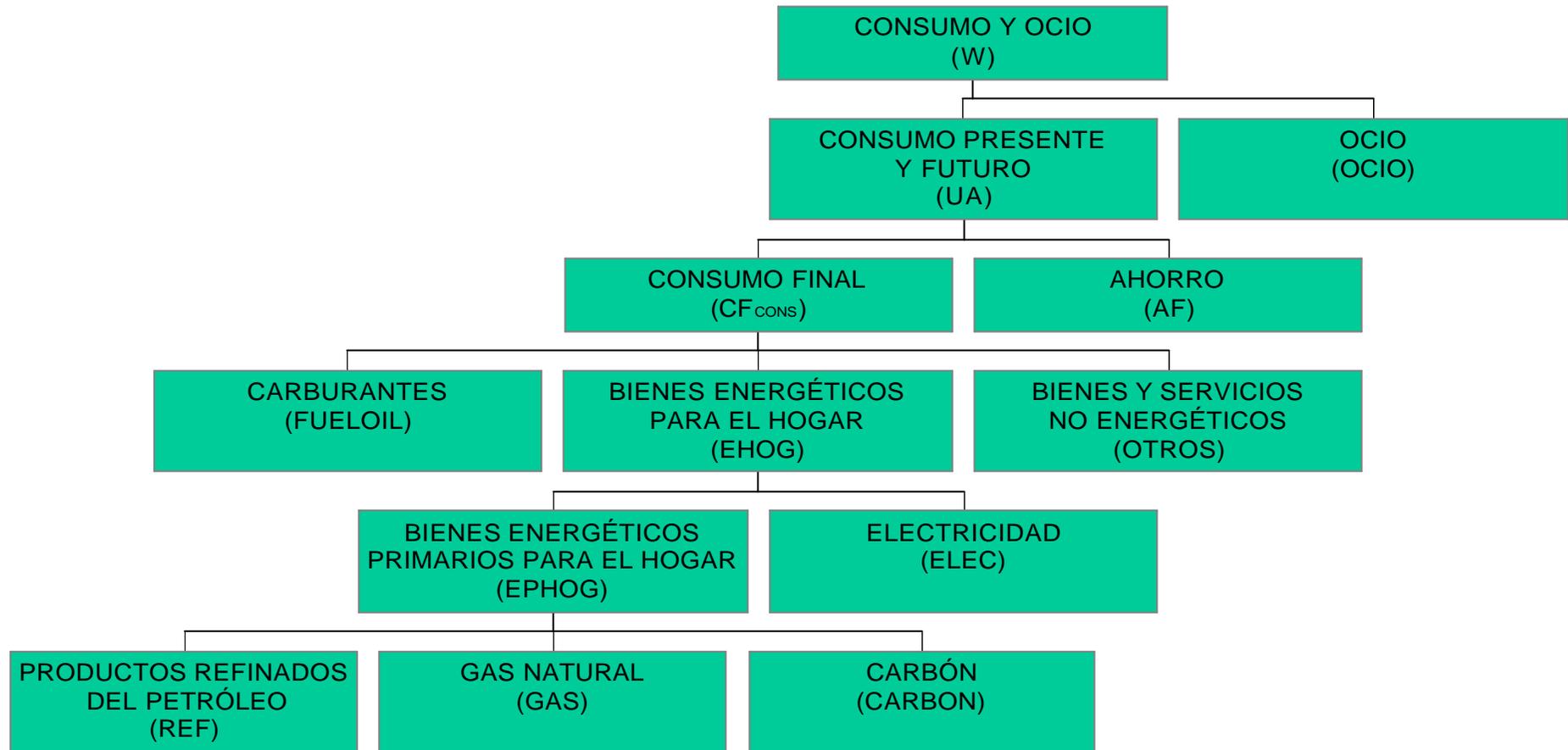
El sector público recauda impuestos sobre la renta de las sociedades,  $R_{SOC}$ , los hogares,  $R_{CONS}$ , el consumo,  $RD$ , la producción,  $RB$ , los salarios,  $RL$ , y un impuesto ambiental sobre las emisiones de  $CO_2$ ,  $RE$ , que inicialmente es nulo. También obtiene rentas del capital,  $K_{GOB}$  y realiza transferencias netas con otras instituciones,  $TR_{GOB}$ . Los ingresos públicos son destinados al consumo,  $CF_{GOB}$ , un bien compuesto por diferentes bienes y servicios mediante una función Cobb-Douglas.  $DP$  mide el balance final (déficit) del presupuesto público. Así,

$$\bar{DP} = r \cdot \bar{K}_{GOB} + \bar{R}_{SOC} + R_{CONS} + RB + RD + RL + RE + \bar{TR}_{GOB} - CF_{GOB} \quad (3)$$

El hogar representativo posee una dotación fija de tiempo,  $TIME$ , que puede destinar al consumo de ocio o a ofertar trabajo,  $L$ , a un precio marginal de  $w$ . El hogar obtiene rentas del trabajo y del capital,  $K_{CONS}$ , y realiza transferencias con otras instituciones,  $TR_{CONS}$ . La renta neta disponible,  $Y_{CONS}$ , se obtiene restando de las anteriores rentas brutas el pago de un impuesto sobre la renta,  $R_{CONS}$ , y las cotizaciones salariales a cargo de los empleados,  $SS_{CONS}$ . Esto es,

$$Y_{CONS} = r \cdot \bar{K}_{CONS} + w \cdot (1 - SS_{CONS}) \cdot L + \bar{TR}_{CONS} - R_{CONS} \quad (4)$$

Figura 2. Estructura encadenada de la función de consumo de los hogares



Fuente: elaboración propia

El consumidor maximiza su utilidad,  $W$ , de acuerdo a su restricción presupuestaria. El nivel de utilidad depende positivamente del consumo de ocio,  $OCIO$ , y del consumo de otros bienes,  $UA$ , y negativamente del volumen de emisiones de  $CO_2$ ,  $CO2$ . Como se observa en la Figura 2, se utilizan funciones CES encadenadas, con una atención especial al consumo de bienes energéticos. Así, una importante aportación del MEGA es la distinción entre bienes energéticos para el hogar (electricidad, carbón, gas natural, productos refinados del petróleo), bienes energéticos para el transporte privado, y otros bienes<sup>9</sup>. Se supone, como en Böhringer y Rutherford (1997), que los consumidores tienen una propensión marginal constante a ahorrar sobre el conjunto de su renta disponible,  $Y_{CONS}$ . Para una mayor simplificación del modelo, suponemos que el consumo de bienes y servicios realizado en el exterior por el hogar representativo,  $CR$ , es una variable exógena (fundamentalmente turismo).

$$\max \quad W = j_{UB} \left( s_{UB} OCIO^{\frac{s^{UB}-1}{s^{UB}}} + (1-s_{UB}) UA^{\frac{s^{UB}-1}{s^{UB}}} \right)^{\frac{s^{UB}}{s^{UB}-1}} - f \cdot CO2 \quad (5)$$

El consumo doméstico,  $D_i$ , tiene como destino el consumo del gobierno,  $D_{iG}$ , las ISFLSH,  $D_{iISFL}$ , el hogar representativo,  $D_{iH}$ , la formación bruta de capital,  $D_{iINV}$ , o el consumo como bienes intermedios,  $CID_{ij}$ , y fuentes de energía,  $E_i$ , por los diferentes sectores.

El ahorro en la economía es definido endógenamente por cada una de las instituciones. El equilibrio macroeconómico del modelo se determina por la capacidad o necesidad de financiación de la economía frente al exterior,  $CAPNEC$ , igual a la diferencia entre el ahorro nacional y las inversiones,  $INV$  (agregado mediante una función Leontief de los diferentes bienes utilizados para la formación bruta de capital),

$$PINV \cdot INV = PINV \cdot (AF_{CONS} + AF_{SOC} + AF_{ISFL}) + \overline{DP} - \overline{CAPNEC} \quad (6)$$

Se asume una pequeña economía abierta que intercambia bienes y servicios con el exterior y realiza transferencias netas,  $TR_{RM}$ . La cantidad de bienes y servicios consumidos por los hogares no residentes en España (fundamentalmente turismo), es

---

<sup>9</sup> La distinción entre bienes energéticos para el hogar y otros bienes energéticos es habitual en los modelos microeconómicos que analizan el consumo energético de los hogares (Baker, Blundell y Micklewright, 1989). Otros bienes es un bien compuesto mediante una función Cobb-Douglas.

considerada una variable exógena, dada la imposibilidad de representar la restricción presupuestaria. Sin embargo, el gasto realizado es una variable endógena del modelo,  $CNR$ , y depende de los precios relativos en la economía. No existen tipos de cambio, siendo  $PXM_i$  los precios internacionales<sup>10</sup>. Por tanto,

$$\overline{CAPNEC} = \sum_{i=1}^n \overline{PXM}_i \cdot \overline{EXP}_i + \overline{TR}_{RM} + \overline{CNR} - \sum_{i=1}^n \overline{PXM}_i \cdot \overline{IMP}_i - \overline{CR} \quad (7)$$

La demanda de capital y trabajo minimiza el coste del valor añadido para las empresas. La oferta de capital es inelástica, perfectamente móvil entre sectores, pero inmóvil internacionalmente. Como en Böhringer y Rutherford (1997), se supone un mercado de trabajo competitivo y, por tanto, una economía sin desempleo involuntario<sup>11</sup>. La oferta de trabajo es también perfectamente móvil entre sectores, pero inmóvil internacionalmente.

El modelo simula las emisiones domésticas de  $CO_2$ ,  $CO2$ , generadas durante los procesos de combustión de las diferentes fuentes de energía primarias (carbón, productos refinados del petróleo, gas natural). En particular, se calculan las emisiones de realizadas por los distintos sectores,  $CO2_i$ , y los hogares,  $CO2_H$ , pues son las únicas instituciones que consumen energía en la contabilidad nacional de España de 1995,

$$CO2 = CO2_H + \sum_i^i CO2_i \quad (8)$$

Los datos utilizados para implementar el modelo proceden de una matriz de contabilidad nacional para la economía española construida a partir de la contabilidad nacional para el año 1995<sup>12</sup> siguiendo el SEC-95 (MCN-95). Para elaborar la MCN-95 se emplea la SAM-95<sup>13</sup> a precios básicos, las tablas de destino (TD) a

<sup>10</sup> Suponemos que la política simulada tiene un impacto poco significativo sobre el tipo de cambio del euro pues los mayores socios comerciales de España son países pertenecientes a la unión monetaria europea.

<sup>11</sup> En nuestro modelo, con un hogar o consumidor representativo, la cantidad de trabajo en equilibrio representa el trabajo realizado por la población ocupada y el consumo de ocio refleja en realidad el ocio consumido por la población activa. Por tanto, los posibles cambios en la oferta de trabajo estimados por el modelo se refieren a cambios en la oferta de trabajo de la población activa (Goulder, Parry y Burtaw, 1997).

<sup>12</sup> Para una descripción pormenorizada de la MCN-95 y del procedimiento utilizado véase Rodríguez (2003).

<sup>13</sup> La SAM-95 es una MCN no publicada para el año 1995, elaborada por Melchor Fernández (Departamento de Análisis Económico, Universidade de Santiago de Compostela) en la que no han sido desagregadas las distintas ramas de actividad.

precios de adquisición<sup>14</sup> y a precios básicos, y la tabla simétrica input-output (TSIO) a precios básicos publicadas en INE (2002a).

La MCN-95 contiene, además, las emisiones de CO<sub>2</sub> realizadas por cada sector e institución cuando consumen los diferentes productos energéticos. Para la elaboración de los datos ambientales se ha seguido un procedimiento similar al utilizado en las cuentas ambientales publicadas en INE (2002b). Dado que en dicha publicación sólo se recogen las emisiones totales de CO<sub>2</sub> realizadas por cada sector económico, procedimos a desagregar éstas según tuvieran su origen en la combustión de carbón, productos refinados del petróleo, o gas natural (ver Tabla 1). La información ambiental referida a España para el año 1995 puede encontrarse en IEA (1998), y en MMA (2000).

A partir de los datos de la MCN-95 se calibran los parámetros del modelo: tipos impositivos, y coeficientes técnicos de las funciones de producción, de consumo, y utilidad. El criterio utilizado es que el MEGA sea capaz de reproducir los datos de la MCN-95 como una solución o equilibrio óptimo, que será utilizado como punto de referencia (benchmark)<sup>15</sup>. En el equilibrio inicial los precios son igual a la unidad, estimándose los efectos provocados por las reformas como cambios relativos en la producción y los relativos. Ciertos parámetros, como las elasticidades de sustitución, no han sido calibradas sino tomadas de la literatura, descritas con mayor detalle en el Apéndice.

Hemos querido calibrar una elasticidad de la oferta de trabajo frente a cambios en los salarios igual a -0.4, similar a la estimada para España en Labeaga y Sanz (2001)<sup>16</sup>. Para calibrar la elasticidad de la oferta de trabajo hemos seguido el procedimiento utilizado en Ballard, Shoven y Whalley (1985) suponiendo, como en Parry, Williams y Goulder (1999), que el ocio representa un tercio de las horas de trabajo efectivamente realizadas en la situación inicial de equilibrio. Realizamos un análisis de sensibilidad de los resultados obtenidos con el modelo, incrementando y

---

<sup>14</sup> La tabla de destino (TD) a precios de adquisición no ha sido aún publicada. Esta información se ha obtenido directamente de la Subdirección General de Contabilidad Nacional del INE.

<sup>15</sup> Para una breve introducción a esta metodología, ver Shoven y Whalley (1992). El modelo de equilibrio general ha sido programado con GAMS/MPGSE, y la calibración ha sido implementada siguiendo el método propuesto en Rutherford (1999), utilizando para ello el solver-algoritmo PATH.

<sup>16</sup> Para una breve descripción de los trabajos empíricos aplicados a España que estiman la elasticidad de la oferta de trabajo frente a cambios en los salarios, véase Rodríguez (2003).

disminuyendo dicho valor en un 50%. De dicho análisis podemos concluir que los resultados obtenidos por el MEGA son robustos frente a cambios significativos en la elasticidad de la oferta de trabajo.

**Tabla 1. Emisiones de CO<sub>2</sub> en España, 1995 (toneladas métricas y pesos relativos, %)**

<i>Productos</i> <i>Sectores</i>	CARBÓN	REFINO DEL PETRÓLEO	GAS NATURAL	TOTAL (tm)	TOTAL (%)
AGRI	17,102	5,440,224	141,844	5,599,170	2.39
CARBON	2,189	371,528	0	373,717	0.16
CRUDO	0	64,743	26,335	91,078	0.04
MINER	339,442	995,832	52,038	1,387,312	0.59
PETROL	340,399	4,996,648	65,284	5,402,331	2.31
ELEC	41,564,824	15,604,953	1,496,967	58,666,744	25.05
GAS	0	206,183	4,179	210,362	0.09
ALIM	31,741	2,894,311	878,816	3,804,868	1.62
MANUF	305,374	3,510,204	1,482,696	5,298,274	2.26
QUIMIO	642,490	14,469,673	2,514,710	17,626,873	7.53
PROMIN	388,285	4,184,422	2,381,854	6,954,561	2.97
METAL	4,898,848	2,380,126	2,105,815	9,384,789	4.01
CONSTR	360,101	4,153,323	31,381	4,544,805	1.94
SERV1	319,877	8,942,128	2,437,283	11,699,288	5.00
HOST	109,043	2,587,858	1,287,789	3,984,690	1.70
TRANSP	45,286	26,208,830	62,919	26,317,035	11.24
SERV2	966,882	8,425,951	2,239,853	11,632,686	4.97
HOGARES	1,145,974	55,090,405	4,959,956	61,196,335	26.13
<b>TOTAL ECONOMÍA</b>	<b>51,477,857</b>	<b>160,527,342</b>	<b>22,169,719</b>	<b>234,174,918</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

Notas: 1) Emisiones de CO<sub>2</sub> producidas en los procesos de combustión. 2) Productos refinados del petróleo: combustibles para el transporte, gas butano y propano, fuelóleos, etc. 3) Para una definición de los sectores productivos véase el Apéndice.

## **2.2. Modelo microeconómico de demanda de bienes energéticos de los hogares**

El modelo teórico a partir del cual estimamos el modelo empírico es la extensión cuadrática propuesta por Banks, Blundell y Lewbel (1997) del modelo de demanda

casi ideal de Deaton y Muellbauer (1980). Por tanto, el modelo puede capturar la existencia de distintas elasticidades de sustitución a lo largo de la función de distribución de la renta entre los hogares, mostrando si determinados bienes son de primera necesidad o de lujo en diferentes puntos sobre dicha distribución,

$$w_{iht} = \mathbf{a}_i + \sum_{j=1}^n \mathbf{g}_{ij} \log p_{jht} + \mathbf{b}_i \log \frac{x_{ht}}{a(p_{ht})} + \frac{I_i}{b(p_{ht})} \left( \log \frac{x_{ht}}{a(p_{ht})} \right)^2 \quad (9)$$

$$\log a(p_{ht}) = \mathbf{a}_0 + \sum_{i=1}^n \mathbf{a}_i \log p_{iht} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \mathbf{g}_{ij} \log p_{iht} \log p_{jht} \quad (10)$$

$$b(p_{ht}) = \prod_{i=1}^n p_{iht}^{b_i} \quad (11)$$

donde  $i, j = 1, 2, \dots, n$  representa los bienes de consumo considerados en el modelo {electricidad, gas ciudad y natural, gases licuados del petróleo (butano, principalmente, y propano), combustibles para el transporte privado (carburantes), transporte público, y otros bienes no duraderos},  $w_{iht}$  es la participación del bien  $i$  en el gasto total realizado por el hogar  $h$  en el momento  $t$ . El vector de precios al que se enfrenta cada hogar en cada momento es  $p_{iht}$ , y  $x_{ht}$  es la renta real total de cada hogar, deflactada por un índice de precios de Stone. Para que el sistema de demanda sea coherente con la teoría del consumidor, imponemos las condiciones de simetría y homogeneidad de grado cero en precios y renta.

Para estimar el modelo utilizamos la Encuesta Continua de Presupuestos Familiares (ECPF) durante el período 1985-1995. Estimamos el modelo en medias móviles de orden tres, en lugar de utilizar los datos originales como es habitual en la literatura, debido a los importantes problemas de infrecuencia en la compra de bienes energéticos<sup>17</sup>.

Para simular la RFV tomaremos como un dato exógeno los cambios en los precios estimados por el MEGA. La principal dificultad de este ejercicio es compatibilizar los precios relativos estimados por el MEGA y los precios absolutos utilizados por el modelo micro. Con ese objetivo, se calculan primero los cambios en los precios relativos estimados por el MEGA en relación al índice de precios al consumo (IPC). En segundo

---

<sup>17</sup> Véase Labandeira, Labeaga y Rodríguez (2003) para un análisis más detallado del modelo y su estimación.

lugar, se computan los nuevos precios relativos (post-reforma) respecto al IPC en la microsimulación, multiplicando los antiguos precios relativos por el índice de cambio obtenido del MEGA<sup>18</sup>.

### 3. Resultados del análisis integrado micro-macro de una RFV en España

#### 3.1. Las reformas simuladas

En el trabajo analizamos los efectos económicos y ambientales de dos políticas impositivas para el control del cambio climático sobre las que existe una cierta evidencia empírica internacional. En primer lugar, estudiamos los efectos de una RFV en que se introduce un impuesto sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> cuyos ingresos se utilizan en su totalidad para financiar una reducción en las cotizaciones sociales a cargo de los empleadores. En segundo lugar, analizamos los efectos del mismo impuesto ambiental cuando los ingresos generados por éste son íntegramente devueltos a los ciudadanos mediante transferencias de tanto alzado.

En cualquier caso, el impuesto ambiental utilizado en ambas reformas es equivalente a un tipo impositivo de 12.28€ por tonelada de CO<sub>2</sub> emitida a la atmósfera, según los resultados más plausibles en la literatura científica<sup>19</sup>. El impuesto ambiental no grava directamente las emisiones de cada sector o institución, sino el consumo de combustibles fósiles causantes de la contaminación (carbón, productos refinados del petróleo, y gas natural).

Los impuestos son programados *ad-valorem* en el modelo de equilibrio general. Sin embargo, el impuesto ambiental simulado en la RFV es *ad-quantum*, *ACCISA<sub>i</sub>*. Con el fin de hacer compatibles ambos objetivos, el tipo impositivo del impuesto ambiental *ad-valorem*, *TE<sub>i</sub>*, es una variable endógena del modelo. En equilibrio, la recaudación

---

<sup>18</sup> Para calibrar el MEGA suponemos que los precios en el benchmark son iguales a la unidad, y las cantidades son iguales a los valores monetarios en la MCN-95. Por tanto, los cambios en cada uno de los precios respecto al IPC representan en realidad un índice de cómo debe cambiar la relación entre ambos.

<sup>19</sup> Esta cifra proviene de la estimación de los costes marginales reales de la emisión de una tonelada de CO<sub>2</sub> en el período 1991-2000, metodología que se ajusta a la política simulada (actuación unilateral de un país relativamente poco importante en términos de emisión). Para más sobre este asunto véase Labandeira y Labeaga (2002).

obtenida por ambos impuestos debe ser idéntica. Con este objetivo utilizamos la restricción,

$$TE_i \cdot PD_i \cdot (1 - TD_i + SD_i - TE_i) \cdot D_i = D_i \cdot ACCISA \quad (12)$$

### **3.2. Resultados del modelo de equilibrio general aplicado**

#### *3.2.1. Efectos de una RFV con reducción en las cotizaciones sociales*

El efecto más inmediato de esta RFV es una reducción del 11.7% en el tipo marginal de las cotizaciones sociales a cargo de los empleadores, reducción financiada por la nueva imposición ambiental sobre combustibles fósiles. La reducción en los costes laborales estimula una mayor demanda de trabajo, que crece un 0.1%. A su vez, una tasa de ocupación mayor crea las tensiones necesarias para que se produzca un incremento de 0.2% en las rentas reales del trabajo. Sin embargo, las rentas reales del capital caen un 0.7%. La RFV reduce en un 0.72% la riqueza de la economía en términos del PIB a precios básicos (PIBpb), aunque el PIB a precios de adquisición (PIBpm) experimenta un crecimiento de 0.16%.

La Tabla 2 muestra los efectos sectoriales de la RFV sobre la producción, los precios finales de consumo, y las emisiones contaminantes. La RFV afecta negativamente a la producción de bienes energéticos primarios y, con menor intensidad, al sector eléctrico. Los demás sectores experimentan incrementos más o menos significativos en su actividad. En cuanto a los precios reales, todos caen salvo los energéticos, la minería, y los servicios de transporte.

Los resultados muestran además que la RFV es un instrumento de control eficaz, reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub> en 17,980,351 tm de CO<sub>2</sub>, o un 7.68% en términos relativos. Los sectores que experimentan una mayor reducción son, por este orden, el sector eléctrico (*ELEC*), los hogares, los servicios de transporte (*TRANSP*), y el sector químico (*QUIMIO*), aunque no son los que realizan un mayor esfuerzo en términos relativos.

Tabla 2. Cambios porcentuales en la producción sectorial, emisiones, y precios reales

	RFV			Suma Fija		
	Producción	CO <sub>2</sub>	$P_i/IPC$ (1)	Producción	CO <sub>2</sub>	$P_i/IPC$ (1)
AGRI	+ 0.9	-6.80	- 0.5	- 0.3	-8.08	- 0.99
CARBON	- 9.2	-15.74	+ 26.65	- 11.7	-17.38	+ 26.63
CRUDO	- 6.7	-13.37	+ 0.2	- 9.5	-15.93	- 0.99
MINER	+ 0.7	-10.37	+ 0.3	- 2.8	-13.09	+ 0.1
PETROL	- 6.7	-12.84	+ 19.64	- 7.8	-13.83	+ 18.71
ELEC	- 0.9	-8.44	+ 3.31	- 2.0	-9.57	+ 2.87
GAS	- 8.3	-14.89	+ 16.13	- 9.2	-15.73	+ 15.25
ALIM	+ 0.6	-6.52	- 0.7	- 0.3	-6.99	- 0.79
MANUF	+ 2.2	-7.51	- 0.9	- 1.3	-9.84	- 0.69
QUIMIO	+ 1.0	-11.19	- 0.2	- 1.9	-12.98	- 0.2
PROMIN	+ 0.4	-10.81	- 0.1	- 1.8	-12.16	+ 0.1
METAL	+ 1.8	-8.81	- 0.3	- 2.3	-12.01	- 0.3
CONSTR	+ 0.2	-8.25	- 0.8	- 1.3	-9.20	- 0.59
SERV1	+ 0.8	-6.59	- 1.0	- 0.9	-7.83	- 0.99
HOST	+ 0.1	-6.80	- 0.7	- 0.1	-6.87	- 1.09
TRANSP	+ 0.3	-7.68	+ 0.4	- 1.8	-9.28	+ 0.5
SERV2	+ 0.3	-7.55	- 1.3	+ 0.2	-7.04	- 0.79
HOGARES		-5.22			-5.39	
TOTAL CO <sub>2</sub>		-7.68			-8.68	
IPC (2)			- 0.2			+ 1.0

Fuente: Elaboración propia.

Notas: (1) Los cambios porcentuales en los precios son calculados como cambios en los precios de adquisición respecto al IPC. (2) Los cambios porcentuales en el IPC se calculan como cambios en el IPC respecto al numerario utilizado por el modelo (el precio del trabajo).

El bienestar social, medido como variación equivalente en términos reales, experimenta un incremento de 251.3 millones de euros. Los beneficios ambientales de la RFV se calculan suponiendo que el tipo impositivo ambiental expresa los daños monetarios causados por las emisiones contaminantes. Es decir, cada tonelada de CO<sub>2</sub> emitida a la atmósfera provoca un daño valorado en 12,28€, es decir, £12,28. De esta manera, los cambios ambientales provocados por la RFV suministran un primer

dividendo (ambiental) de 221.2 millones de euros, y un segundo dividendo (fiscal) de tan sólo 35 millones de euros.

### *3.2.2. Efectos de un impuesto ambiental con transferencias de tanto alzado*

Seguidamente analizamos los resultados de una reforma en la que el único objetivo es controlar las emisiones de CO<sub>2</sub>. La introducción del impuesto ambiental reduce en un 0.82% la riqueza de la economía en términos del PIB a precios básicos (PIBpb), mientras que el PIB a precios de adquisición (PIBpm) apenas cambia, experimentando un crecimiento de 0.05%. Una menor actividad económica provoca una menor demanda de trabajo (-0.2%), y una caída significativa de las rentas reales del trabajo y del capital (-1.78% y -0.99% respectivamente).

Respecto a la reforma precedente, los distintos sectores energéticos reciben un impacto todavía más negativo (ver Tabla 2). Además, alguno de los sectores más beneficiados con la RFV forman parte ahora del grupo de sectores no energéticos más perjudicados, como por ejemplo el sector de metalurgia y productos metálicos (*METAL*), otras manufacturas (*MANUF*), o productos químicos (*QUIMIO*). En coherencia con los malos resultados económicos, el impuesto ambiental junto a transferencias de tanto alzado permite reducir un 1% más las emisiones de CO<sub>2</sub> que la RFV.

Los efectos sobre el bienestar social del impuesto ambiental en combinación con transferencias de tanto alzado son claramente peores. Se produce una reducción de 0.13% en el bienestar no ambiental, entendiendo como tal aquellos no asociados directamente a cambios en las emisiones de CO<sub>2</sub>, valorado en una pérdida de 501.5 millones de euros. Los beneficios ambientales incrementan el bienestar social en 247 millones de euros. Como consecuencia de los anteriores efectos parciales, el bienestar social experimenta una pérdida de 254.3 millones de euros con esta segunda reforma.

### **3.3. Resultados del modelo de demanda de bienes energéticos de los hogares**

El objetivo de este epígrafe es desagregar los efectos estimados por el MEGA de las anteriores políticas ambientales sobre el consumo de los hogares. La Tabla 3 recoge

los cambios porcentuales en los precios de adquisición (precio de venta al público) después de cada reforma, que serán proporcionados al modelo de demanda de bienes energéticos. También muestra el cambio en los gastos realizados por cada hogar (media de la muestra) en cada uno de los bienes. Los principales incrementos de gasto se producen en los bienes energéticos primarios (gases y carburantes). Se reduce el gasto dedicado a alimentos, bebidas no alcohólicas y a otros bienes no duraderos, aunque de manera poco significativa en términos relativos. Sin embargo, son precisamente estos grupos de bienes los que representan una proporción mayor en la cesta de consumo de los hogares, por lo que el gasto total realizado se reduce ligeramente.

En general se produce una sustitución de los bienes energéticos por otros bienes no energéticos, ahora más baratos en términos relativos, y también de carburantes para el transporte privado en favor del transporte público. Sorprende, sin embargo, la sustitución del GLPs por gas natural, cuando son éstos los que más se encarecen en cualquiera de las dos reformas. Probablemente esto sea debido a la gran heterogeneidad de hogares (el consumo de gas natural es realizado por los hogares residentes en las grandes ciudades).

**Tabla 3. Cambios porcentuales en los precios de adquisición y gasto medio**

	RFV		Suma Fija	
	precios	Gasto medio	precios	Gasto medio
<b>Electricidad</b>	+ 3.31	+ 1.09	+ 2.87	+ 0.92
<b>Gas natural</b>	+ 16.13	+ 19.07	+ 15.25	+ 18.06
<b>GLP</b>	+ 16.13	+ 12.11	+ 15.25	+ 11.56
<b>Carburantes</b>	+ 19.64	+ 10.82	+ 18.71	+ 10.28
<b>Transporte público</b>	+ 0.40	+ 1.21	+ 0.50	+ 1.25
<b>Alimentos y bebidas</b>	- 0.65	- 0.61	-0.84	- 0.77
<b>Otros no duraderos</b>	- 0.89	- 0.77	-0.82	- 0.72

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los cambios de gasto en la tabla corresponden a la media de hogares en la muestra. Estimación realizada para el 3º trimestre de 1995.

La Tabla 4 recoge los cambios en el gasto total por grupos de renta, dividiendo la población en decilas. Las modificaciones en el gasto total realizado por los diferentes hogares son poco significativos, de manera que tampoco cabe destacar efectos distributivos significativos. Los hogares pertenecientes a las dos últimas decilas son los más beneficiados con cualquiera de las reformas, siendo los menos afortunados aquellos pertenecientes a la cuarta y quinta decilas. Ha de tenerse presente que el modelo micro sólo analiza los efectos de las reformas sobre el gasto y no sobre los ingresos. Así, la introducción del impuesto ambiental con devolución de sus ingresos mediante transferencias de tanto alzado genera probablemente una mejora significativa en la distribución de la renta.

**Tabla 4. Efectos distributivos de las reformas fiscales.**  
**Diferencia en gastos medios por decil (euros) e incrementos porcentuales**

Decil	RFV		Suma fija	
	€	%	€	%
1º	- 1.46	- 0.13%	- 2.08	- 0.19%
2º	- 1.82	- 0.10%	- 2.68	- 0.15%
3º	- 3.06	- 0.14%	- 4.02	- 0.18%
4º	- 1.58	- 0.06%	- 2.75	- 0.10%
5º	- 1.91	- 0.06%	- 3.23	- 0.10%
6º	- 4.24	- 0.12%	- 5.51	- 0.15%
7º	- 5.43	- 0.13%	- 6.85	- 0.16%
8º	- 4.87	- 0.10%	- 6.28	- 0.13%
9º	- 10.32	- 0.17%	- 11.74	- 0.19%
10º	- 19.88	- 0.21%	- 20.48	- 0.22%

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Estimación para el 3º trimestre de 1995

La Tabla 5 muestra los efectos de ambas reformas sobre ciertos grupos de hogares. Los efectos distributivos de las reformas son, también aquí, poco significativos. Los más beneficiados son los hogares con cabeza de familia jubilado, los hogares sin hijos menores de dieciséis años, y los hogares con residencia habitual en las grandes ciudades. Los hogares menos favorecidos con las reformas son aquellos con residencia habitual en municipios con menos de 10,000 habitantes (rurales). A pesar

de todo, no todos los hogares han salido ganando con las reformas. Las dos últimas filas en la Tabla 5 refieren el número de hogares ganadores (los que obtienen ahorros netos positivos en sus gastos) y perdedores (ahorros netos negativos en sus gastos) con las reformas. El 71.29% de los hogares han disfrutado de ahorros netos con la RFV, mientras esta cifra se eleva al 74.82% para una reforma ambiental con transferencias de suma fija.

**Tabla 5. Efectos distributivos de las reformas ambientales sobre determinados grupos de hogares. Gastos medios (euros) e incrementos**

Grupo familiar	RFV		Suma fija	
	€	%	€	%
Jubilados	-5.34	- 0.16%	-6.56	- 0.20%
Sin hijos	-6.38	- 0.18%	-7.32	- 0.20%
2 hijos	-4.51	- 0.10%	-5.85	- 0.13%
4 hijos	-4.63	- 0.13%	-6.51	- 0.18%
Rural	-2.43	- 0.07%	-3.79	- 0.11%
Urbano	-7.12	- 0.17%	-8.08	- 0.20%
Nº Ganadores	2,225	71.29%	2,335	74.82%
Nº Perdedores	896	28.71%	786	25.18%

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Estimación realizada para el 3º trimestre de 1995.

La Tabla 6 indica que los efectos ambientales estimados para los hogares por el modelo microeconómico son similares a los obtenidos por el MEGA, lo que da robustez a los resultados. Sin embargo, el modelo microeconómico nos ofrece alguna información adicional. La RFV reduce aproximadamente en un 10% las emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), gas causante del fenómeno de lluvia ácida, mientras que sólo consigue reducir en un 3.63% las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), causantes de problemas sobre la salud y lluvia ácida. Los resultados obtenidos cuando los ingresos del impuesto ambiental son devueltos a los ciudadanos mediante transferencias de tanto alzado son similares, aunque algo más limitados.

**Tabla 6. Efectos ambientales de las reformas.  
Modificación porcentual en las emisiones de los hogares**

	CO <sub>2</sub>		SO <sub>2</sub>		NO <sub>x</sub>	
	RFV	Suma fija	RFV	Suma fija	RFV	Suma fija
<b>Electricidad</b>	-10.63%	-9.61%				
<b>Gas natural</b>	+13.15%	+12.90%				
<b>GLP</b>	-14.10%	-13.30%				
<b>Carburantes</b>	-1.96%	-1.94%				
<b>Total</b>	-5.44%	-5.03%	-9.88%	-8.95%	-3.63%	-3.42%

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Estimación realizada para el 3º trimestre de 1995.

#### 4. Conclusiones.

Este artículo suministra información sobre los efectos de diferentes políticas impositivas para el control del cambio climático en España. Se simula así una hipotética RFV basada en un impuesto sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> y simultánea reducción en las cotizaciones empresariales, además de un paquete fiscal en que los ingresos obtenidos por el anterior impuesto ambiental son reciclados a través de transferencias de suma fija.

Para ello hemos utilizado un nuevo enfoque metodológico, integrando diferentes métodos de análisis para el estudio de estas políticas y mejorando considerablemente el cálculo de sus efectos y la robustez de los resultados. Combinamos la utilización de un modelo de equilibrio general estático, para conocer los efectos de la reforma sobre distintos sectores económicos, con un modelo microeconómico de demanda energética residencial que permite la desagregación de los resultados globales.

Nuestros resultados indican que una RFV con un impuesto de 12.28€ por tonelada emitida de CO<sub>2</sub>, permite reducir de forma significativa las emisiones españolas de este contaminante. También proporciona importantes beneficios no ambientales al reducir las distorsiones creadas por el sistema fiscal vigente, incrementando ligeramente el empleo y mejorando el bienestar social. Es decir, proporciona un doble dividendo fuerte (ambiental y fiscal) de signo positivo.

Como cabía esperar, los efectos de la RFV sobre la producción son muy desiguales, reduciéndose la actividad en los sectores intensivos en energía e incrementándose en otros sectores. También son variables los efectos sobre los precios finales, ya que se incrementan los precios de los sectores intensivos en energía y se reducen ligeramente en los sectores más importantes en la cesta de consumo de los hogares.

Respecto a los efectos distributivos de la RFV, los efectos desagregados sobre los distintos hogares son poco significativos, lo que no quiere decir que no haya agentes perjudicados por la RFV. Este resultado es interesante pues buena parte de la literatura empírica internacional considera que los efectos de una RFV son regresivos, aunque generalmente a través de métodos de equilibrio parcial. Esto es acorde, en cualquier caso, con otras evaluaciones empíricas que indican la escasa regresividad de la imposición energética en España.

Una reforma fiscal con el mismo impuesto ambiental pero sin reducción de la imposición distorsionante es sólo más efectiva en el control de las emisiones de CO<sub>2</sub> y presenta un diferente impacto sobre la actividad sectorial. En todo caso, esta política es inferior a una RFV en sus efectos sobre el bienestar global y la distribución en España.

En consecuencia y ante la necesaria actuación en el control de las emisiones españolas de CO<sub>2</sub> por los compromisos internacionales existentes, las implicaciones de política extraíbles de este trabajo parecen claras. Es posible reducir significativamente las emisiones españolas de dióxido de carbono a través de una RFV y simultáneamente conseguir una mejora en el bienestar no ambiental a un coste distributivo nulo.

## Referencias bibliográficas

Baker, P., Blundell, R. y Micklewright, J. (1989) "Modelling Household Energy Expenditures Using Micro-Data", *Economic Journal*, nº 99, págs. 720-738.

Ballard, C., Shoven, J. y Whalley, J. (1985) "General Equilibrium Computations of the Marginal Welfare Costs of Taxes in the United States", *American Economic Review*, vol. 75, nº 1, págs.128-138.

Banks, J., Blundell, R. y Lewbel, A. (1997) "Quadratic Engel Curves and Consumer Demand", *Review of Economics y Statistics*, vol. 79, nº 4, págs. 527-539.

Böhringer, C. y Rutherford, T. (1997) "Carbon Taxes with Exemptions in an Open Economy: a General Equilibrium Analysis of the German Tax Initiative" *Journal of Environmental Economics y Management*, vol. 32, págs. 189-203.

Böhringer, C., Ferris, M. y Rutherford, T. (1997) "Alternative CO<sub>2</sub> Abatement Strategies for the European Union" en Proost, S. y Brader, J. (eds) *Climate Change, Transport and Environmental Policy*. Edward Edgar, Cheltenham.

Bosquet, B. (2000) "Environmental Tax Reform: Does it Work? A Survey of the Empirical Evidence", *Ecological Economics*, vol. 34, págs. 10-32.

Bovenberg, L. y Goulder, L. (2002) "Environmental Taxation and Regulation" en Auerbach y Feldstein (eds.) *Handbook of Public Economics*. Elsevier Science, Dordrecht.

de Melo, J. y Tarr, D. (1992) "A General Equilibrium Analysis of Foreign Exchange Shortages in a Developing Country", *Economic Journal*, nº 91, págs. 891-906.

Deaton, A., y Muellbauer, J. (1980) "An Almost Ideal Demand System", *American Economic Review*, nº 83, págs. 570-597.

Gago, A. y Labandeira, X. (2000) "Towards a Green Tax Reform Model", *Journal of Environmental Policy and Planning*, vol. 2, nº 1, págs. 25-37.

Gago, A., Labandeira, X. y Rodríguez, M (2003) "Evidencia Empírica Internacional sobre los Dividendos de la Imposición Ambiental", en Buñuel, M. (ed) *Fiscalidad Ambiental*. Civitas, Madrid.

Gómez, A., Kverndokk, S. y Faehn, T: (2002) "Can Carbon Taxation Reduce Spanish Unemployment?", presentada en el IX *Encuentro de Economía Pública*, Vigo.

Goulder, L. (1995) "Environmental Taxation y the Double Dividend: a Reader's Guide", *International Tax and Public Finance*, nº 2, págs. 157-183.

Goulder, L., Parry, I., y Burtraw, D. (1997) "Revenue-Raising versus other Approaches to Environmental Protection: the Critical Significance of Preexisting Tax Distorsions", *Rand Journal of Economics*, vol. 28, nº 4, págs. 708-731.

Hertel, T. (ed.) (1997) *Global Trade Analysis. Modeling and Applications*. Cambridge University Press, Cambridge.

IEA (1998) *Energy Statistics of OECD Countries. 1995-1996*. International Energy Agency, OECD, Paris.

INE (2002a) *Contabilidad Nacional de España. Base 1995. Serie Contable 1995-2000. Marco Input-Output 1995-1996-1997*. Instituto Nacional de Estadística, Madrid.

INE (2002b) *Estadísticas de Medio Ambiente. Cuentas Ambientales*, Instituto Nacional de Estadística, Madrid.

Kemfert, C. y Welsch, H. (2000) "Energy-Capital-Labor Substitution and the Economics Effects of CO<sub>2</sub> Abatement: Evidence for Germany", *Journal of Policy Modeling*, nº 22, págs. 641-660.

Labandeira, X. y Labeaga, J. (1999) "Combining Input-Output Analysis and Micro-simulation to Assess the Effects of Carbon Taxation on Spanish Households", *Fiscal Studies*, vol. 20, nº 3, págs. 303-318.

Labandeira, X. y Labeaga, J. (2002) "Estimation and Control of Spanish Energy-Related CO<sub>2</sub> Emissions: an Input-Output Approach", *Energy Policy*, vol. 30, nº 7, págs. 597-611.

Labandeira, X., Labeaga, J. y Rodríguez, M. (2003) "Estimating a Spanish Household Energy Demy System to Assess the Economic y Environmental Effects of Energy Taxes", presentado en la XII Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists, Bilbao.

Labeaga, J. y Sanz, J. (2001) "Oferta de Trabajo y Fiscalidad en España. Hechos Recientes y Tendencias Tras el Nuevo IRPF", *Papeles de Economía Española*, nº 87, pp. 230-243.

Manresa, A. y Sancho, F. (2001) "Implementing a Double Dividend: Recycling Ecotaxes Towards Lower Labour Taxes", presentado en *Encuentro sobre Evaluación de Políticas Económicas con Modelos de Equilibrio General Aplicado*, Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Sevilla.

MMA (2000) *Inventario de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera CORINE-AIRE 1994, 1995, 1996, e Inventarios Complementarios*. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

Parry, I., Williams, R. y Goulder, L. (1999) "When Can Carbon Abatement Policies Increases Welfare? The Fundamental Role of Distorted Factor Markets", *Journal of Environmental Economics and Manegement*, nº 37, págs. 52-84.

Pearce, D. (1991) "The Role of Carbon Taxes in Adjusting to Global Warming", *Economic Journal*, nº 101, págs. 938-948.

Rodríguez, M. (2002) "Reforma Fiscal Verde y Doble Dividendo. Una Revisión de la Literatura Empírica", *Papeles de Trabajo*, nº27/02, Serie Economía, Instituto de Estudios Fiscales, Madrid.

Rodríguez, M. (2003) "Imposición Ambiental y Reforma Fiscal Verde. Ensayos Teóricos y Aplicados". Tesis doctoral no publicada. Departamento de Economía Aplicada, Universidade de Vigo.

Rutherford, T. (1999) "Applied General Equilibrium Modeling with MPSGE as a GAMS Subsystem: an Overview of the Modeling Framework and Syntax", *Computational Economics*, nº 14, págs. 1-46.

Shoven, J. y Whalley, J. (1992) *Applying General Equilibrium*. Cambridge University Press, Cambridge.

Speck, S. (1999) "Energy and Carbon Taxes and Their Distributional Implications", *Energy Policy*, nº 27, págs. 659-667.

## APÉNDICE. El modelo de equilibrio general aplicado (MEGA)

Como criterio general, la notación utilizada sigue la convención siguiente. Las variables endógenas son denotadas mediante letras capitales. Las variables exógenas son denotadas mediante letras capitales y una barra. Los parámetros del modelo son denotados mediante letras griegas y latinas. Existen  $n$  sectores productivos ( $i, j=1, \dots, n$ ) y, consecuentemente,  $n$  bienes de consumo.

### Producción

$$\min_{KELCID} \quad PB_i \cdot (1 - TB_i + SB_i) \cdot B_i = PKEL_i \cdot KEL_i + \sum_{j=1}^n PD_j \cdot CID_{ji} \quad s.a. \quad B_i = \min \left( \frac{KEL_i}{c_{0i}}, \frac{CID_{1i}}{c_{1i}}, \dots, \frac{CID_{ni}}{c_{ni}} \right) \quad (A1)$$

$$\min_{KLE} \quad PKEL_i \cdot KEL_i = PKL_i \cdot KL_i + PE_i \cdot E_i \quad s.a. \quad KEL_i = a_i \left( a_{iKL} K_i \frac{s_i^{KEL-1}}{s_i^{KEL}} + (1 - a_{iKL}) E_i \frac{s_i^{KEL-1}}{s_i^{KEL}} \right) \frac{s_i^{KEL}}{s_i^{KEL-1}} \quad (A2)$$

$$\min_{K.L} \quad PKL_i \cdot KL_i = r \cdot K_i + w \cdot (1 + SS_i) \cdot L_i \quad s.a. \quad KL_i = a_{iKL} \left( a_{iKL} K_i \frac{s_i^{KL-1}}{s_i^{KL}} + (1 - a_{iKL}) L_i \frac{s_i^{KL-1}}{s_i^{KL}} \right) \frac{s_i^{KL}}{s_i^{KL-1}} \quad (A3)$$

$$\min_{ELECPEP} \quad PE_i \cdot E_i = PELEC \cdot ELEC_i + PEP_i \cdot EP_i \quad s.a. \quad E_i = a_{iE} \left( a_{iE} ELEC_i \frac{s_i^{E-1}}{s_i^E} + (1 - a_{iE}) EP_i \frac{s_i^{E-1}}{s_i^E} \right) \frac{s_i^E}{s_i^{E-1}} \quad (A4)$$

$$\min_{CARBONHIDRO} \quad PEP_i \cdot EP_i = PCAR \cdot CARBON_i + PHIDRO_i \cdot HIDRO_i \quad s.a. \quad EP_i = a_{iEP} \left( a_{iEP} CARBON_i \frac{s_i^{EP-1}}{s_i^{EP}} + (1 - a_{iEP}) HIDRO_i \frac{s_i^{EP-1}}{s_i^{EP}} \right) \frac{s_i^{EP}}{s_i^{EP-1}} \quad (A5)$$

$$\min_{REFGAS} \quad PHIDRO_i \cdot HIDRO_i = PREF \cdot REF_i + PGAS \cdot GAS_i \quad s.a. \quad HIDRO_i = a_{iPET} \left( a_{iPET} REF_i \frac{s_i^{PET-1}}{s_i^{PET}} + (1 - a_{iPET}) GAS_i \frac{s_i^{PET-1}}{s_i^{PET}} \right) \frac{s_i^{PET}}{s_i^{PET-1}} \quad (A6)$$

$$\min_{BIMP} \quad PA_i \cdot A_i = PB_i \cdot B_i + \overline{PXM}_i \cdot IMP_i \quad s.a. \quad A_i = I_i \left( b_i B_i \frac{s_i^A-1}{s_i^A} + (1 - b_i) IMP_i \frac{s_i^A-1}{s_i^A} \right) \frac{s_i^A}{s_i^A-1} \quad (A7)$$

$$\max_{DEXP} \quad PA_i \cdot A_i = PD_i \cdot (1 - TD_i + SD_i - TE_i) \cdot D_i + \overline{PXM}_i \cdot EXP_i \quad s.a. \quad A_i = G_i \left( d_i D_i \frac{s_i^{E+1}}{s_i^E} + (1 - d_i) EXP_i \frac{s_i^{E+1}}{s_i^E} \right) \frac{s_i^E}{s_i^{E+1}} \quad (A8)$$

### Consumidores

$$\max_{OCIOUA} \quad W = \left( s_{UB} OCIO \frac{s_i^{UB-1}}{s_i^{UB}} + (1 - s_{UB}) UA \frac{s_i^{UB-1}}{s_i^{UB}} \right) \frac{s_i^{UB}}{s_i^{UB-1}} \quad s.a. \quad Y_{CONS} = PUA \cdot UA + w \cdot (1 - SS_{CONS}) \cdot OCIO - \overline{CR} \quad (A9)$$

$$\text{donde } Y_{CONS} = (1 - T_{CONS}) \left[ r \cdot \overline{K}_{CONS} + w(1 - SS_H) \cdot \overline{TIME} + \overline{TR}_{CONS} \right] \quad (A10)$$

$$\min_{AFCHOG} \quad PUA \cdot UA = PINV \cdot AF_{CONS} + PCF_{CONS} \cdot CF_{CONS} \quad s.a. \quad UA = \min \left( \frac{AF_{CONS}}{s_{UA}}, \frac{CF_{CONS}}{(1 - s_{UA})} \right) \quad (A11)$$

$$\min_{EHOGFUELOILOTROS} \quad PCFH \cdot CFHOG = PEH \cdot EHOG + PFUEL \cdot FUELOIL + POTROS \cdot OTROS \quad s.a. \quad CFHOG = j_{CFH} \left( s_E EHOG \frac{s_i^{CFH-1}}{s_i^{CFH}} + s_F FUELOIL \frac{s_i^{CFH-1}}{s_i^{CFH}} + (1 - s_{EH} - s_{RH}) OTROS \frac{s_i^{CFH-1}}{s_i^{CFH}} \right) \frac{s_i^{CFH}}{s_i^{CFH-1}} \quad (A12)$$

$$\min_{ELECPEPHOG} \quad PEH \cdot EHOG = PELEC \cdot ELEC_H + PEPH \cdot EPHOG$$

$$s.a. \quad EHOH_h = j_{EH} \left( s_{EH} ELEC_H \frac{s^{EH}_{-1}}{s^{EH}} + (1 - s_{EH}) EPHOG \frac{s^{EH}_{-1}}{s^{EH}} \right) \quad (A13)$$

$$\min_D \quad POTROS \cdot OTROS = \sum_{i=1}^n PD_i \cdot D_{iH} \quad s.a. \quad OTROS = \prod_{i=1}^n D_{iH}^{SO_i} \quad (A14)$$

$$\min_{CARBONASREF} \quad PEPH \cdot EPHOG = PCAR \cdot CARBON_H + PGAS \cdot GAS_H + PREF \cdot REF_H$$

$$s.a. \quad EPHOG = j_{NEH} \left( s_C CARBON_H \frac{s^{NEH}_{-1}}{s^{NEH}} + s_G GAS_H \frac{s^{NEH}_{-1}}{s^{NEH}} + (1 - s_C - s_G) REF_H \frac{s^{NEH}_{-1}}{s^{NEH}} \right) \quad (A15)$$

### Sector público

$$\min_D \quad CFGOB = \prod_{i=1}^n D_{iG}^{GOB_i} \quad s.a. \quad Y_{GOB} = r \cdot \bar{K}_{GOB} + \bar{R}_{SOC} + R_{CONS} + \bar{TR}_{GOB} + \bar{DP} + RL + RD + RB + RE \quad (A16)$$

$$\text{donde} \quad RB = \sum_{i=1}^n PB_i \cdot (1 - TB_i + SB_i) \cdot B_i \cdot (TB_i - SB_i) \quad RD = \sum_{i=1}^n PD_i \cdot (1 - TD_i + SD_i - TE_i) \cdot D_i \cdot (TD_i - SD_i)$$

$$RE = \sum_{i=1}^n PD_i \cdot (1 - TD_i + SD_i - TE_i) \cdot D_i \cdot TE_i \quad TE_i \cdot PD_i \cdot (1 - TD_i + SD_i - TE_i) \cdot D_i = D_i \cdot ACCISA_i$$

$$RL = w \cdot \left( \sum_{i=1}^n SS_i \cdot L_i + SS_H \cdot \sum_{i=1}^n L_i \right) \quad R_{CONS} = T_{CONS} \cdot \left[ r \cdot \bar{K}_{CONS} + w(1 - SS_H) \cdot \bar{TIME} + \bar{TR}_{CONS} \right] \quad (A17)$$

### Sociedades e instituciones sin fines de lucro al servicio de los hogares (ISFLSH)

$$PINV \cdot AF_{SOC} = r \cdot \bar{K}_{SOC} + \bar{TR}_{SOC} - \bar{R}_{SOC} \quad (A18)$$

$$\max_D \quad CFISFL = \prod_{i=1}^n D_{iSFL}^{FL} \quad s.a. \quad Y_{ISFL} = CF_{ISFL} + PINV \cdot AF_{ISFL} \quad (A19)$$

$$Y_{ISFL} = r \cdot \bar{K}_{ISFL} + \bar{TR}_{ISFL} \quad (A20)$$

### Inversión y ahorro

$$\min_D \quad PINV \cdot INV = \sum_{i=1}^n PD_i \cdot D_{iINV} \quad s.a. \quad INV = \min \left( \frac{D_{iINV}}{V_{iINV}}, \dots, \frac{D_{nINV}}{V_{nINV}} \right) \quad (A21)$$

$$PINV \cdot (AF_{CONS} + AF_{SOC} + AF_{ISFL}) - \bar{DP} - PINV \cdot INV = \bar{CAPNEC} \quad (A22)$$

### Sector exterior

$$\sum_{i=1}^n \bar{PXM}_i \cdot EXP_i + \bar{TR}_{RM} + CNR - \sum_{i=1}^n \bar{PXM}_i \cdot IMP_i - \bar{CR} = \bar{CAPNEC} \quad \text{donde} \quad CNR = \sum_{i=1}^n PD_i \cdot \bar{D}_{iRM} \quad (A23)$$

### Mercado de factores

$$\bar{K}_{CONS} + \bar{K}_{GOB} + \bar{K}_{SOC} + \bar{K}_{ISFL} = \sum_{i=1}^n K_i \quad (A24)$$

$$TIME - OCIO = \sum_{i=1}^n L_i \quad (A25)$$

### Modelo ambiental

$$CO2_i = CO2C_i \cdot CARBON_{iA} + CO2P_i \cdot REF_{iA} + CO2G_i \cdot GAS_{iA} \quad (A26)$$

$$CO2_H = CO2C_H \cdot CARBON_H + CO2P_H \cdot (FUELOIL_H + REF_H) + CO2G_H \cdot GAS_H \quad (A27)$$

$$CO2 = CO2_H + \sum_i CO2_i \quad (A28)$$

## VARIABLES Y PARÁMETROS DEL MODELO

Tabla A.1. Variables endógenas

$PB_i$	precio de mercado de cada unidad del output $b_i$
$B_i$	producción nacional sector $i$
$PKEL_i$	precio unitario del bien compuesto $kel$ , consumido por el sector $i$
$PD_i$	precio unitario de los bienes intermedios $cid_i$
$KEL_i$	bien compuesto por $k$ , $l$ , y $e$ , consumido por el sector $i$
$CID_j$	bienes intermedio $j$ no energético, consumido por el sector $i$
$KL_i$	bien compuesto por $k$ , $l$ , consumido por el sector $i$
$E_i$	bien compuesto por diferentes bienes energéticos, consumido por el sector $i$
$PKL_i$	precio unitario del bien compuesto $kl_i$
$PE_i$	precio unitario del bien compuesto $e_i$
$r$	precio unitario del capital $k$
$w$	precio unitario del trabajo $l$
$L_i$	trabajo consumido por el sector $i$
$K_i$	capital consumido por el sector $i$
$SS_i$	cotizaciones sociales a cargo de los empleadores pagadas por el sector $i$
$PEP_i$	precio unitario $ep_i$
$EP_i$	bienes energéticos primarios, consumido por el sector $i$
$PELEC$	precio unitario $elec$
$ELEC_i$	electricidad consumida por el sector $i$
$CARBON_i$	carbón consumido por el sector $i$
$PCAR$	precio unitario de $carbon_a$
$HIDRO_i$	bien compuesto hidrocarburos, consumido por el sector $i$
$PHIDRO$	precio unitario de $hidro$
$REF_i$	productos refinados del petróleo consumidos por el sector $i$
$PREF$	precio unitario de $ref$
$GAS_i$	gas natural consumido por el sector $i$
$PGAS$	precio unitario de $gas$
$A_i$	bien compuesto por $b_i$ mas $imp_i$
$PXM_i$	precio unitario internacional del bien producido por el sector $i$
$IMP_i$	importaciones del bien producido por el sector $i$
$PA_i$	coste unitario del bien armington $a_i$
$EXP_i$	exportaciones del bien producido por el sector $i$
$D_i$	demanda doméstica del bien producido por el sector $i$
$PD_i$	precio unitario de venta al público del bien $d_i$
$TE_i$	impuesto ambiental sobre los productos del sector $i$
$W$	nivel de bienestar del hogar representativo
$OCIO$	consumo de ocio
$UA$	bien compuesto por ahorro, bienes y servicios
$Y_{CONS}$	renta disponible del consumidor representativo
$PINV$	precio del ahorro y las inversiones
$AF_{CONS}$	ahorro del consumidor representativo
$CF_{CONS}$	bien compuesto por $ehog$ , $fueloil$ , $otros$
$PCF_{CONS}$	precio del bien compuesto $cf_{cons}$
$PUA$	precio unitario de $ua$
$EHOOG$	bien compuesto energía para el hogar
$FUELOIL$	productos refinados del petróleo para el transporte
$OTROS$	bien compuesto por $d_{it}$
$PEH$	precio de $ehog$
$PFUEL$	precio de $fueloil$
$POTROS$	precio de $otros$
$ELEC_H$	electricidad consumida por el hogar representativo
$EPHOOG$	bien compuesto por carbón, gasoil, $glps$
$D_H$	consumo del hogar representativo del bien $i$ , excepto $ehog$ y $fueloil$
$PEPH$	precio de $ephog$
$REF_H$	productos refinados del petróleo para el hogar
$CFGOB$	bien compuesto por $d_g$
$D_G$	consumo público de bienes y servicios
$Y_{GOB}$	renta disponible del sector público
$RD$	recaudación obtenida por el impuesto sobre los productos
$RB$	recaudación obtenida por el impuesto sobre la producción
$RE$	recaudación obtenida por el impuesto ambiental sobre las emisiones de $CO_2$

$RL$	recaudación obtenida por las cotizaciones sociales
$R_{CONS}$	recaudación obtenida por el impuesto sobre la renta de los hogares, $t_{cons}$
$AF_{SOC}$	ahorro de las sociedades
$D_{ISFL}$	consumo de las isflsh del bien producido por el sector $i$
$CF_{ISFL}$	bien compuesto por $d_{isfl}$
$Y_{ISFL}$	renta disponible de las isflsh
$AF_{ISFL}$	ahorro de las isflsh
$INV$	bien compuesto $d_{inv}$
$D_{INV}$	formación bruta de capital en el bien producido por el sector $i$
$CO_2_i$	emisiones de $CO_2$ realizadas por el sector $i$
$CO_2_H$	emisiones de $CO_2$ realizadas por los hogares

**Tabla A.2. Variables exógenas**

$TB_i$	tipo marginal del impuesto sobre la producción
$SB_i$	tipo marginal de la subvención sobre la producción
$TD_i$	tipo marginal del impuesto sobre los productos del sector $i$
$SD_i$	tipo marginal de la subvención a los productos del sector $i$
$SS_i$	tipo marginal de las cotizaciones sociales a cargo de los empleadores del sector $i$
$T_{CONS}$	tipo marginal del impuesto sobre la renta de los hogares
$TIME$	dotación total de tiempo del consumidor representativo o
$TR_{CONS}$	transferencias netas recibidas por los hogares
$CR$	consumo en el exterior del hogar representativo
$K_{GOB}$	dotación de capital del sector público
$K_{CONS}$	dotación de capital de los hogares
$TR_{GOB}$	transferencias netas recibidas por el sector público
$DP$	déficit del sector público
$ACCISA_i$	impuesto ambiental <i>ad-quantum</i> sobre el bien $d_i$
$K_{SOC}$	dotación de capital
$TR_{SOC}$	transferencias netas recibidas por las sociedades
$R_{SOC}$	recaudación del impuesto sobre la renta de las sociedades
$K_{ISFL}$	dotación de capital
$TR_{ISFL}$	transferencias netas recibidas por las isflsh
$CAPNEC$	capacidad o necesidad de financiación de la economía frente al exterior
$D_{IRM}$	consumo doméstico de los hogares no residentes del bien producido por el sector $i$
$TR_{IRM}$	transferencias netas recibidas por el resto del mundo
$f$	daño marginal (desutilidad) provocado por una $tm$ de $CO_2$

**Tabla A.3. Parámetros**

coeficientes fijos y de Leontief en la función de producción	coeficientes fijos y de Leontief en la función de consumo de instituciones
$c_{PI}, CO_2C_i, CO_2P_i, CO_2G_i$	$v_{INV}, CO_2C_H, CO_2P_H, CO_2G_H$
parámetros de escala de la función de producción	parámetros de escala de la función de consumo de las instituciones
$a_i, a_{IKL}, a_E, a_{IEP}, a_{IPET}, l_i, g_i$	$j_{CFH}, j_{EH}, j_{NEH}$
pesos de variables en la función de producción	pesos de variables en la función de consumo de las instituciones
$a_i, a_{IKL}, a_E, a_{IEP}, a_{IPET}, b_i, d_i$	$s_{UB}, s_{UA}, s_E, s_F, s_{EH}, s_{OI}, s_C, s_G, s_{GOB}, s_{LI}$
Elasticidad de sustitución en la función de producción	elasticidad de sustitución en la función de consumo de las instituciones
$s^{KEL}, s^{KL}, s^F, s^{EP}, s^{PET}, s^A, s_i^e$	$s^{UB}, s^{CFH}, s^{EH}, s^{NEH}$

## Elasticidades.

Las preferencias del hogar representativo en relación a los distintos bienes y servicios han sido calibradas utilizando las elasticidades de sustitución recogidas en la Tabla A.4. La elasticidad de sustitución entre combustibles para el transporte privado, bienes energéticos para el hogar, y un bien agregado por los restantes bienes,  $s^{CFH}$ , es 0.1. La elasticidad de sustitución entre electricidad y los restantes bienes energéticos para el hogar,  $s^{EH}$ , es 1.5. La elasticidad de sustitución entre carbón, gas natural, y los restantes productos refinados del petróleo que proporcionan energía para el hogar,  $s^{NEH}$ , es 1. Las anteriores elasticidades son similares a las utilizadas en Böhringer y Rutherford (1997), aunque más reducidas siguiendo el principio de precaución, por lo que podríamos calificar los resultados obtenidos de conservadores.

**Tabla A.4. Elasticidades de sustitución en las distintas ramas de actividad**

	$s^{KEL}$ (3)	$s^E$ (4)	$s^{KL}$ (1)	$s^{NE}$ (4)	$s^{PET}$ (4)	$s^A$ (1)	$s^E$ (2)
AGRI	0.5	0.3	0.56	0.5	0.5	2.2	3.9
CRUDO	0.5	0.3	1.26	0.5	0.5	2.8	2.9
MINER	0.96	0.3	1.26	0.5	0.5	1.9	2.9
ALIM	0.5	0.3	1.26	0.5	0.5	2.8	2.9
MANUF	0.8	0.3	1.26	0.5	0.5	2.8	2.9
QUIMIO	0.96	0.3	1.26	0.5	0.5	1.9	2.9
PROMIN	0.96	0.3	1.26	0.5	0.5	1.9	2.9
METAL	0.88	0.3	1.26	0.5	0.5	2.8	2.9
CONSTR	0.5	0.3	1.40	0.5	0.5	1.9	0.7
SERV1	0.5	0.3	1.26	0.5	0.5	1.9	0.7
HOST	0.5	0.3	1.68	0.5	0.5	1.9	0.7
TRANSP	0.5	0.3	1.68	0.5	0.5	1.9	0.7
SERV2	0.5	0.3	1.26	0.5	0.5	1.9	0.7
CARBON	0.5	0.3	1.12	0.5	0.5	2.8	2.9
PETROL	0.5	0.3	1.12	0.5	0.5	2.8	2.9
ELEC	0.5	0.3	1.26	0.5	0.5	2.8	2.9
GAS	0.5	0.3	1.12	0.5	0.5	2.8	2.9

Fuente: Elaboración propia.

Notas: (1) GTAP (Hertel, 1997); (2) deMelo y Tarr (1992); (3) Kemfert y Welsch (2000); (4) Böhringer, Ferris y Rutherford (1997).

**Tabla A.5. Ramas de actividad en la MCS-1995 y su correspondencia con la TSIO-1995**

Sectores MCN-95	Descripción	Código TSIO 1995
AGRI	Agricultura, ganadería y caza, selvicultura, pesca y acuicultura	TSIO 01, 02, 03
CARBON	Extracción y aglomeración de antracita, hulla, lignito y turba	TSIO 04
CRUDO	Extracción de crudos de petróleo y gas natural. Extracción de minerales de uranio y torio	TSIO 05
MINER	Extracción de minerales metálicos, no metálicos ni energéticos	TSIO 06, 07
PETROL	Coquerías, refino de petróleo y tratamiento de combustibles nucleares	TSIO 08
ELEC	Electricidad	TSIO 09
GAS	Gas natural	TSIO 10
ALIM	Alimentos y bebidas	TSIO 12-15
MANUF	Otras manufacturas	TSIO 11, 16-20, 31-38
QUIMIO	Industria química	TSIO 21-24
PROMIN	Manufactura otros minerales no metálicos, reciclaje	TSIO 25-28, 39
METAL	Metalurgia, productos metálicos	TSIO 29, 30
CONSTR	Construcción	TSIO 40
SERV1	Telecomunicaciones, servicios financieros, inmobiliarios, alquiler, informática, I+D, servicios profesionales, asociaciones empresariales	TSIO 41-43, 50-58, 71
HOST	Hostelería	TSIO 44
TRANSP	Servicios de transporte	TSIO 45-49
SERV2	Educación, servicios sanitarios, veterinarios y sociales, saneamiento, ocio, cultura, deporte, administraciones públicas	TSIO 59-70

Fuente: Elaboración propia. Los códigos TSIO representan las distintas ramas de actividad en la TSIO publicada en INE (2002a).