

ESTUDIOS
DE LA FUNDACIÓN

SERIE TESIS

■ **IMPACTO ECONÓMICO
DEL CONTROL DEL
CAMBIO CLIMÁTICO
EN ESPAÑA**

Mikel González Ruiz de Eguino



FUNDACIÓN DE LAS CAJAS DE AHORROS

201

ESTUDIOS DE LA FUNDACIÓN

SERIE TESIS

ESTUDIOS DE LA FUNDACIÓN

SERIE TESIS

IMPACTO ECONÓMICO DEL CONTROL DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ESPAÑA

Mikel González Ruiz de Eguino

Tesis doctoral presentada en la
Universidad del País Vasco (UPV/EHU)
Departamento de Fundamentos del Análisis Económico I

Dirigida por:

M.^a Carmen Gallastegui

Catedrática de Análisis Económico (UPV/EHU)

Rob Dellink

Investigador Senior (IVM, University of Amsterdam)



FUNDACIÓN DE LAS CAJAS DE AHORROS

FUNDACIÓN DE LAS CAJAS DE AHORROS

PATRONATO

JUAN R. QUINTÁS SEOANE (*Presidente*)
JOSÉ MARÍA MÉNDEZ ÁLVAREZ-CEDRÓN (*Secretario*)
JULIO FERMOSE GARCÍA
JULIO FERNÁNDEZ GAYOSO
ALEIX GIMBERNAT MARTÍ
ROBERTO LÓPEZ ABAD
JESÚS MEDINA OCAÑA
JORDI MESTRE GONZÁLEZ
ANTONIO PULIDO GUTIÉRREZ
ATILANO SOTO RÁBANOS

PRESIDENTE DE HONOR

ENRIQUE FUENTES QUINTANA (†)

Esta tesis doctoral ha sido distinguida con
una de las AYUDAS FUNCAS PARA LA PUBLICACIÓN
DE TESIS DOCTORALES en la convocatoria 2005-2006

Printed in Spain

Edita: FUNDACIÓN DE LAS CAJAS DE AHORROS (FUNCAS)
Caballero de Gracia, 28, 28013 - Madrid

© FUNDACIÓN DE LAS CAJAS DE AHORROS (FUNCAS). Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación, así como la edición de su contenido por medio de cualquier proceso reprográfico o fónico, electrónico o mecánico, especialmente imprenta, fotocopia, microfilm, *offset* o mimeógrafo, sin la previa autorización escrita del editor.

ISBN: 978-84-89116-33-7

Depósito legal: M-26.745-2007

Diseño: Bravo Lofish

Imprime: Fernández Ciudad, S. L.

PREFACIO	IX
Capítulo 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. El problema del cambio climático	3
1.2. Objetivos	6
1.3. Metodología	7
1.4. Aportaciones científicas	9
1.5. Antecedentes	10
1.6. Estructura de la tesis	11
Capítulo 2: MARCO TEÓRICO	13
2.1. Introducción	15
2.2. Tipos de Modelos	15
2.2.1. Modelos Energéticos	16
2.2.2. Modelos de Equilibrio General Aplicado	17
2.2.3. Modelos Macroeconómicos Neo-Keynesianos	17
2.2.4. Modelos de Análisis Integrado	18
2.2.5. Modelos de Comercio de Emisiones	18
2.3. Modelos de Equilibrio General Aplicado	19
2.3.1. Introducción	19
2.3.2. Las tres condiciones básicas	19
2.3.3. Ventajas y desventajas	21
2.3.4. MEGAs y crecimiento económico	21
2.3.5. MEGAs y medio ambiente	22
2.3.6. MEGAs y tecnología	22
2.4. DANTE: Un modelo dinámico de equilibrio general aplicado	23
2.4.1. Introducción	23
2.4.2. Estructura general	24
2.4.3. Productores	26
2.4.4. Consumidores	29
2.4.5. Gobierno	30
2.4.6. Comercio internacional	31
2.4.7. Crecimiento y progreso tecnológico	32
2.4.8. Emisiones y política ambiental	33
2.4.9. Abatimiento y emisiones de proceso	33
2.4.10. Equilibrio	34
2.4.11. Solución	34
Apéndice 1. Ecuaciones del modelo DANTE y notación científica	36

Capítulo 3: CALIBRACIÓN Y DATOS	43
3.1. Introducción	45
3.2. Datos economía	45
3.2.1. Equilibrio inicial	45
3.2.2. Crecimiento económico	49
3.2.3. Elasticidades	50
3.3. Datos medio ambiente	51
3.3.1. Emisiones actuales	51
3.3.1. Emisiones futuras	53
3.4. Datos política	55
Apéndice 2. Las Matrices de Contabilidad Social	57
Apéndice 3. Integración de datos energéticos en la Tabla Input-Output	60
Apéndice 4. Metodología para el cálculo de los coeficientes de emisión	61
Capítulo 4: IMPACTO ECONÓMICO DEL PROTOCOLO DE KYOTO	65
4.1. Introducción	67
4.2. Proyecciones <i>Escenario BAU</i>	68
4.3. Resultados <i>Escenario Kyoto 2050</i>	70
4.3.1. Resultados generales	71
4.3.2. Resultados sectoriales	75
4.3.3. Resultados energía	80
4.3.4. Resultados comercio internacional	81
4.3.5. Resultados emisiones	81
4.4. Análisis de Sensibilidad	83
4.4.1. Crecimiento económico	86
4.4.2. Ecoeficiencia de combustión	88
4.4.3. Ecoeficiencia de proceso	90
4.4.4. Elasticidad de sustitución entre energía y capital-trabajo	95
4.4.5. Elasticidad de sustitución entre electricidad y combustibles	95
4.4.6. Elasticidad de sustitución intertemporal de utilidad	97
4.4.7. Elasticidad de sustitución emisiones de proceso y producción	101
4.4.8. Resto de elasticidades	103
4.5. Conclusiones	104
Capítulo 5: ANÁLISIS DE ESCENARIOS	107
5.1. Introducción	109
5.2. Escenarios	110
5.3. Resultados	110
5.3.1. Escenario Kyoto +10	112
5.3.2. Escenario Post-Kyoto	113

5.4. Análisis de sensibilidad	116
5.5. Conclusiones	117
Capítulo 6: LA HIPÓTESIS DEL DOBLE DIVIDENDO	119
6.1. Introducción	121
6.2. Escenarios	123
6.3. Resultados	124
6.3.1. Hipótesis del doble dividendo "fuerte"	124
6.3.2. Hipótesis del doble dividendo "débil"	126
6.4. Conclusiones	130
Capítulo 7: ANÁLISIS DE INSTRUMENTOS	133
7.1. Introducción	135
7.2. Instrumentos y coste-eficiencia	137
7.3. Instrumentos analizados	138
7.3.1. Impuesto pigouviano	139
7.3.2. Permisos transferibles entre sectores "directiva"	139
7.3.3. Permisos transferibles entre sectores "no directiva"	139
7.3.4. Cuota igualitaria	139
7.3.5. Impuesto sobre la energía	139
7.3.6. Impuesto sobre el fuel	140
7.3.7. Impuesto sobre la electricidad	140
7.3.8. Impuesto sobre el carbón	140
7.4. Resultados	140
7.4.1. Resultados generales	140
7.4.2. Resultados sectoriales	145
7.5. Conclusiones	149
Capítulo 8: CONCLUSIONES FINALES	151
8.1. Resumen de investigación	153
8.2. Limitaciones del análisis: teoría y datos	154
8.3. Conclusiones finales	157
8.4. Reflexión final	162
Bibliografía	163
Códigos GAMS/MPSGE	169



PREFACIO

Han pasado cinco años desde que, acabada la carrera de ingeniería, decidiera embarcarme en la aventura de realizar un doctorado en economía. Recuerdo con entusiasmo aquellos deseos que me impulsaban a querer comprender el comportamiento humano y la mejor manera de abordar los problemas económicos, sociales y medioambientales. Es ahora el momento en el que veo el trabajo de estos años felizmente culminado, aunque muchas de mis preguntas sigan todavía sin respuesta.

La tesis doctoral es un proyecto personal que, para ser abordado con éxito, necesita de un buen grupo humano que le de apoyo y aliento. Yo he tenido la fortuna de encontrarme en uno de ellos. Gracias M.^a Carmen por confiar en mis capacidades como investigador, por dirigir esta tesis y procurarme siempre una sonrisa. Gracias Marta por tener siempre un momento para mí y participar en el tribunal de defensa doctoral. Gracias Alberto por tu ayuda en los momentos más precisos. Gracias a los tres por haber sido los ejes de mi trayectoria durante este tiempo.

Un agradecimiento especial es para Rob Dellink por codirigir la investigación y por su apoyo durante mi estancia en la Universidad de Wageningen (Holanda). Gracias Rob por ayudarme acortar la parte más técnica y complicada de este trabajo.

Me gustaría asimismo agradecer a Diego Azqueta, Emilio Cerda, Antonio Gómez-Plana y Xavier Lavandería, su amable participación en mi tribunal de defensa doctoral. Gracias por vuestros comentarios que espero me ayuden a ver la tesis publicada. Recuerdo también con aprecio el apoyo recibido de Alejandro Cardenete, a través de la Fundación de Estudios Andaluces (CENTRA), que me permitió tomar contacto con mi actual campo de investigación.

Agradecimiento a los compañeros de la Unidad de Economía Ambiental (UPV/EHU) y a los residentes en el Instituto de Economía Pública (UPV/EHU), por los buenos momentos que hemos pasado juntos. Durante estos años, hemos tenido muchas conversaciones que seguro nos han ayudado a todos a ser mejores economistas ambientales y mejores economistas ecológicos.

Gracias a Iñaki Barredo y Carlos Cuerda de Naider, por su flexibilidad para permitirme compaginar mi trabajo con la finalización de esta tesis. Gracias a ambos a por abrirme las puertas de un entorno profesional creativo y de un grupo humano excelente.

Me gustaría reconocer el apoyo financiero recibido para este proyecto del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte y de la Universidad del País Vasco. Aunque investigar sea finalmente el trabajo del doctorando, poder dedicarme a lo que me gusta me ha hecho sentir privilegiado.

Gracias con mayúsculas a mi entorno personal y familiar, por darme las condiciones más necesarias. Especialmente al esfuerzo de mis padres, María Luisa y José Ignacio, a mis queridos hermanos Javier y Miren, y al abuelo Miguel; gracias por ser el colchón del hogar donde siempre he podido descansar. Gracias igualmente a mis amigos más cercanos.

Mirene, tu apoyo ha sido siempre generoso y reconfortante, te lo agradezco mucho. Con sabiduría y cariño, con palabras de apoyo y silencio, me has acompañado en estos años de duro trabajo para ambos. Suerte que nadie como tú podía estimularme más; por mucho que madrugase, siempre estabas levantada, detrás de tus gordos libros de medicina y estudiando. Ánimo en el prometedor futuro como pediatra que ahora comienzas. Gracias por hacerme disfrutar de una vida sencilla y alegre.

MIKEL GONZÁLEZ RUIZ DE EGUINO

Vitoria, agosto de 2006

1.1 EL PROBLEMA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los fenómenos meteorológicos varían continuamente. Detrás de estas manifestaciones cambiantes y complejas subyace algo estable, algo que permanece constante y que nos permite diferenciar unas regiones de otras; a esta parte invariable del «tiempo» atmosférico es a lo que denominamos «clima». La mayoría de las investigaciones coinciden en señalar la existencia de un cambio climático inducido por la actividad humana (Oreskes, Science 2004). Así lo expresa el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), la agencia de expertos de Naciones Unidas, que tiene como misión unificar criterios a partir de la investigación científica;

«El clima de la tierra esta cambiando por causas atribuibles a la actividad humana [...], estos cambios están afectando a los sistemas físicos y biológicos, y también a los económicos y sociales [...], el calentamiento global tendrá efectos positivos y negativos pero, cuanto más intenso sea éste, con mayor probabilidad prevalecerán los adversos [...], reducir las emisiones de efecto invernadero para estabilizar las concentraciones atmosféricas retrasaría y reduciría los daños causados por un cambio climático [...]»

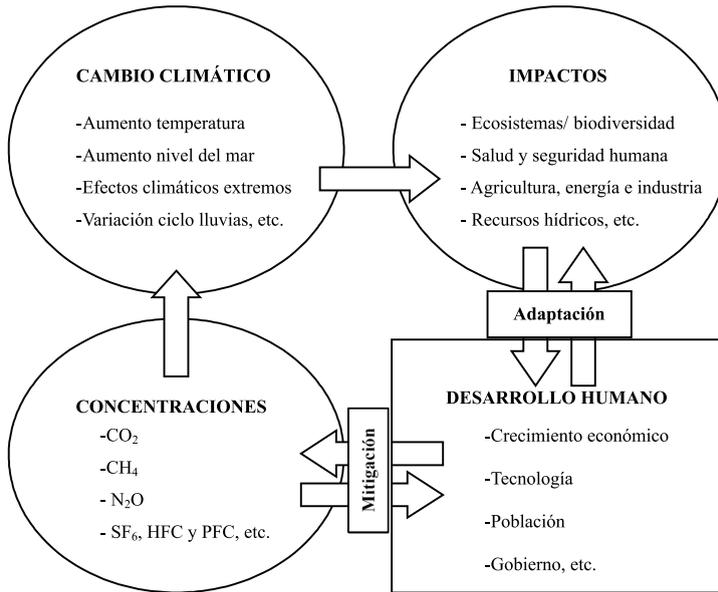
IPCC (2001), *Climate Change 2001: Synthesis Report. Third Assessment Report*

La atmósfera está compuesta por algunos gases que retienen las radiaciones solares y que mantienen la temperatura en un nivel adecuado. Este fenómeno, necesario para sostener la vida en la tierra, es el conocido «efecto invernadero». La concentración en la atmósfera de gases de efecto invernadero (en adelante, GEIs) se mantuvo en niveles estables, en torno las 260 ppm (partes por millón), hasta la época preindustrial, y, posteriormente, fue aumentando hasta alcanzar, en el año 2000, las 368 ppm (IPCC 2001). La actividad humana, especialmente el consumo creciente de combustibles fósiles, ha contribuido a alterar este equilibrio natural, produciendo un calentamiento global y el consiguiente cambio climático.

La investigación entorno a este problema ambiental se divide en tres grandes áreas; la primera, analiza los cambios en el clima y la influencia humana en el proceso, la segunda, por su parte, examina los impactos en los medios físicos, biológicos y humanos y, por último, la tercera, estudia las posibles acciones (mitigación y/o adaptación), para evitar sus daños. Estas tres áreas conforman un planteamiento integrado sobre cambio climático que recogemos en la figura 1.1.

FIGURA 1.1

CAMBIO CLIMÁTICO: UN ENFOQUE INTEGRADO (adaptado, IPCC 2001)



Según el último informe del IPCC, la temperatura media del planeta para finales del siglo XXI aumentará, muy probablemente, entre 1,8 y 4 grados centígrados (IPCC 2007). Este cambio supone un riesgo considerable para la seguridad y la salud humana, y, entre sus múltiples efectos, destaca un aumento en el nivel del mar, un incremento de en la intensidad y la frecuencia de sucesos climáticos extremos y diversas alteraciones en los ecosistemas y en los recursos hídricos. Los territorios más afectados serán las zonas costeras y las regiones tropicales, y los daños serán mayores en los países en vías de desarrollo, ya que su capacidad de adaptación es menor.

El proyecto ECCE, del Ministerio de Medio Ambiente, que analiza los «Efectos del Cambio Climático en España» (MMA 2005), señala que el clima en la península ibérica sufrirá cambios importantes y se volverá más calido. Los modelos climáticos para esta región prevén una disminución de las precipitaciones y un aumento generalizado de las sequías. Las características específicas de la geografía españolas la hacen, además, especialmente vulnerable a procesos de desertización y erosión del suelo, y a episodios climáticos extremos, como las inundaciones o los incendios forestales.

La característica fundamental del cambio climático es que es un problema ambiental global y que sus consecuencias comenzarán a ser más notables en el largo plazo. Aunque

existen motivos para el optimismo –algunos problemas ambientales globales como la lluvia ácida y la destrucción de la capa de ozono han mejorado considerablemente en los últimos años–, el problema del cambio climático tiene ciertas características que lo hacen especialmente complejo y difícil de abordar. De esta forma lo expresa Nordhaus, uno de los economistas más prolífico en la materia y conocido por su activa oposición (Nordhaus 2001, 1999) a los actuales acuerdos internacionales del Protocolo de Kyoto;

«El cambio climático necesitaría de una de las formas más elevadas de ciudadanía global: sería necesario sacrificar miles de millones de consumo actual, para obtener unos beneficios a finales de siglo, destinados a personas de muy distintos países. La amenaza es, además, incierta, y está basada en modelos en vez de en observaciones directas [...]. Un buen análisis no puede dictar la política, pero sí puede ayudar a encontrar la medida entre una política ruinosamente cara, que el ciudadano de hoy encontraría intolerable, y una política miope o de “no hacer nada”, por la que nos culparía el ciudadano de mañana.»

Nordhaus et al. 1998, *Roll the DICE Again: The Economics of Global Warming*

Desde un punto de vista económico el problema del cambio climático es singular por varias razones; i) su principal causante, los combustibles fósiles, son un recurso esencial para el funcionamiento económico, y su sustitución por otro tipo de energía no es sencilla, al menos en el corto plazo. Otro motivo, es que ii) los costes y los beneficios de una reducción de las emisiones se repartirían de manera desigual entre países y entre generaciones, lo que plantea dificultades para lograr la cooperación internacional y problemas de equidad intergeneracional. Por último, es necesario tener en cuenta que iii) los daños ocasionados por el cambio climático, aunque inciertos, podrían ser enormes e irreversibles. Encontrar, como señala Nordhaus, la «correcta medida» en esta política, implica ponderar estos y otros factores cuidadosamente.

Una manera de controlar el cambio climático es establecer una restricción sobre las emisiones de GEIs. En este sentido, el Protocolo de Kyoto (UN 1997) es el primer gran acuerdo internacional que establece unos objetivos de reducción y unos plazos de cumplimiento. El objetivo global es que los países industrializados reduzcan, y establezcan, sus emisiones conjuntas un 5,2% para el periodo 2008-2012 (respecto a las emisiones de 1990). El objetivo particular para España, dentro de este acuerdo, es que las emisiones no sobrepasen en más de un 15% las emisiones de 1990. Sin embargo, para el año 2005, éstas ya habían crecido un 55%, convirtiéndose así en el país europeo que más lejos se encuentra hasta la fecha de alcanzar sus objetivos.

Esta tesis investiga los impactos económicos derivados de un control de las emisiones de efecto invernadero en España. Es habitual referirse a estos impactos como los «costes de mitigación» del cambio climático, para diferenciarlos de los «costes del cambio climático», que son los daños actuales y futuros derivados de no controlar las emisiones. El trabajo investiga, por lo tanto, los costes de «actuar» frente al cambio climático, y reducir las emisiones de GEIs, respecto a la opción de «no actuar», o dejar que las emisiones sigan

creciendo a su ritmo. Este eje central de la investigación se va a complementar con un análisis de reformas fiscales ambientales y, por último, con un último análisis sobre los instrumentos disponibles para alcanzar los objetivos.

1.2 OBJETIVOS

Los objetivos concretos de la investigación se recogen, a continuación, formulados en forma de preguntas:

1. El primer objetivo será estimar el impacto económico de una reducción de las emisiones de efecto invernadero en España. El análisis se centrará en el cumplimiento de los objetivos del Protocolo de Kyoto extendidos hasta el año 2050. Esta perspectiva de largo plazo es interesante ya que permitiría complementar en un futuro el análisis de costes que aquí vamos a realizar (análisis coste-eficiencia) con un análisis de políticas óptimas (análisis coste-beneficio). Para ello, tendríamos que estimar los daños del cambio climático, y éstos tendrán lugar, en su mayor parte, dentro de varias décadas, en el medio y largo plazo. La pregunta que planteamos es la siguiente;

p.1. ¿Cuál será el impacto económico del control del cambio climático en España?

1.1. El análisis de los impactos generales o macroeconómicos debería ser completado con una estimación de la distribución de los mismos por sectores. De esta manera, podríamos conocer que sectores van a ser los perdedores y cuales los ganadores, y poder, así, planificar mejor la política. La pregunta a responder es la siguiente;

p.1.1. ¿Cuál será la distribución de estos impactos entre sectores productivos?

1.2. Medir los impactos económicos de una política es siempre una labor compleja, ya que es necesario utilizar parámetros de difícil predicción, como, por ejemplo, el nivel de crecimiento económico o de cambio tecnológico. Por esta razón, es importante realizar un análisis de sensibilidad, que nos ayude a acotar esta inevitable incertidumbre y que nos permita conocer, al menos, los mecanismos que van a guiar los impactos económicos. Este análisis pretende responder a la siguiente pregunta;

p.1.2. ¿Cuáles son las principales variables que van a guiar estos impactos?

2. Las políticas sobre cambio climático se encuentran todavía en proceso de maduración. En este contexto, resultaría interesante conocer como podrían influir, sobre los costes de mitigación, los posibles cambios futuros en los objetivos de reducción o en los plazos de cumplimiento. Para ello, planteamos diferentes escenarios en los que se analizan aplazamientos o endurecimientos de las políticas, permitiéndonos abordar la siguiente cuestión;

p.2. *¿Qué influencia tiene una variación en los objetivos o en los plazos de la política?*

3. La lucha contra el cambio climático podría tener efectos económicos positivos añadidos. Esta hipótesis, conocida como la «hipótesis del doble dividendo», hace referencia a los posibles beneficios, mejorar el medio ambiente y mejorar la economía, que podrían obtenerse, utilizando los ingresos de la política ambiental, para reformar el sistema impositivo hacia otro menos distorsionante. Para ello, se plantean diferentes reformas fiscales en las que se reducen los impuestos sobre el capital, el trabajo o el consumo, y se sustituyen por un impuesto sobre las emisiones de GEIs. Como los recursos destinados a controlar las emisiones de GEIs serán importantes, el «doble dividendo» obtenido también podría ser significativo. La pregunta que planteamos es la siguiente;

p.3. *¿Es posible obtener un «doble dividendo» en el control del cambio climático?*

4. Los impactos de una política dependen de los instrumentos elegidos para su consecución. El último objetivo del trabajo consiste, precisamente, en analizar las posibilidades existentes para la reducción de las emisiones. Los instrumentos a investigar serán los siguientes: un mercado de permisos de emisión, restringido a ciertos sectores, una cuota igualitaria para todos los sectores y un impuesto sobre la energía, el petróleo, el carbón y la electricidad. Cada instrumento será examinado en base a su eficiencia y según la distribución sectorial de costes que genera. La última pregunta que formulamos es la siguiente;

p.4. *¿Qué instrumentos son más adecuados para el control de las emisiones?*

1.3 METODOLOGÍA

Las preguntas planteadas requieren el uso de metodologías concretas. Para ello, se ha construido un modelo de la economía española, que sirve como herramienta de simulación y análisis. Se trata de un modelo dinámico de equilibrio general aplicado (en adelante, MEGA), que está compuesto por múltiples sectores y que interrelaciona los flujos económicos, los energéticos y las emisiones de GEIs. Este tipo de modelo nos permite encontrar asignaciones eficientes de los recursos, y analizar también el efecto ante posibles cambios exógenos; como, por ejemplo, una restricción de las emisiones.

A continuación presentamos las características principales de la metodología utilizada:

- a) Análisis *neoclásico*: Los fenómenos económicos son complejos, y necesitan del uso de modelos para poder ser investigados. Un modelo es una representación simplificada de la realidad, está basado en alguna teoría y pretende un conocimiento concreto. En nuestro caso, el modelo utilizado está basado en la teoría económica neoclásica y en los supuestos al uso sobre el comportamiento de los

individuos y el funcionamiento de los mercados. Esta teoría es ampliamente conocida, lo que nos permitirá centrarnos únicamente en el objeto de análisis.

- b) Análisis *coste-eficiente*: El cálculo de los impactos económicos está basado en un análisis coste-eficiente; es decir, investigamos los costes mínimos necesarios para alcanzar unos objetivos exógenos dados. Para ello, el modelo introduce y simula un mercado de permisos de emisiones perfecto. En este mercado todas las emisiones necesitan ser respaldadas mediante permisos y su número lo establece el gobierno a través de la política ambiental. Estas emisiones pueden ser intercambiadas libremente y su reducción se realiza allí donde resulta más barato.
- c) Análisis con *múltiples sectores*: El modelo abarca todo el sistema económico, pero está desagregado en sectores y agentes económicos. Esto tiene la ventaja de permitirnos: i) considerar los impactos indirectos, junto con los impactos directos, y también ii) explicar los resultados macroeconómicos a partir de comportamientos individuales, y en coherencia con la teoría microeconómica. Los impactos indirectos no pueden ser obviados cuando las políticas a estudiar influyen de manera notable en todo el sistema económico; la política contra el cambio climático es un caso claro de interdependencia general, ya que el consumo de combustibles fósiles está ampliamente extendido a lo largo de todo el tejido económico.
- d) Análisis con *múltiples gases*: El modelo considera todos los GEIs sujetos a control por el Protocolo de Kyoto, y que incluyen: el Dióxido de Carbono (CO_2), el Metano (CH_4), el Monóxido de Nitrógeno (N_2O) y los Gases Fluorados (SF_6 , HFC, PFC). Aunque el CO_2 es el principal responsable del calentamiento global, el resto de emisiones también juega un papel importante.
- e) Análisis *dinámico*: El cambio climático es un problema dinámico derivado de la acumulación de GEIs en la atmósfera. Este análisis propone un modelo en el que los agentes toman su decisión teniendo en cuenta todo el horizonte temporal, y eligiendo de manera endógena aquella relación entre ahorro y consumo que maximiza su utilidad total. La dinámica comparativa es una forma usual de hacer experimentos controlados en Economía (Chiang 1988); se compara un escenario «con restricción» y otro «sin restricción» en las emisiones, y la diferencia será atribuible, *caeteris paribus*, al efecto inducido por el control de la contaminación.
- f) Análisis con *cambio tecnológico exógeno*: La estado actual de la tecnología se incorpora al modelo mediante funciones de producción y utilidad, y según las posibilidades de sustitución existentes entre factores. El cambio tecnológico, sin embargo, se recoge a través de un único parámetro exógeno, que engloba todas las posibilidades futuras para reducir las emisiones GEIs.

1.4 APORTACIONES CIENTÍFICAS

El objetivo principal de esta tesis es responder a las preguntas de investigación planteadas en el anterior apartado. Las conclusiones que de ellas se deriven pretenden ayudar a orientar la política contra el cambio climático en España. Sin embargo, este trabajo también realiza algunas contribuciones teóricas o metodológicas que pueden ser aprovechadas por otros investigadores en el futuro.

Una aportación al respecto es que el modelo (MEGA) construido es dinámico y está basado en agentes con expectativas perfectas (tipo Ramsey); algo poco frecuente en la literatura. La mayoría de los MEGAs existentes son estáticos (GEM-E3), y los pocos modelos dinámicos existentes son recursivos (MIT-EPPA); es decir, se resuelven periodo a periodo, sin que tenga lugar un verdadero comportamiento intertemporal de los agentes. Esta característica nos ha permitido dar una mayor riqueza al modelo e incorporar nuevos matices al análisis.

Asimismo, es destacable, que la política ambiental se introduce a través de la modelización de un mercado perfecto de permisos de emisión transferibles, que incluye todos los agentes y todas las emisiones de GEIs. Desde un punto de vista teórico, este instrumento tiene la ventaja de ser coste-eficiente y efectivo; es decir, garantiza que los resultados obtenidos estarán siempre referidos al coste mínimo y que los objetivos ambientales se alcanzarán realmente.

Desde un punto de vista empírico la tesis realiza dos contribuciones interesantes. En primer lugar, los datos utilizados para la calibración del modelo provienen de una Matriz de Contabilidad Social Energética o SAM energética, elaborada mediante la integración de la información económica (Tabla Input-Output) y de la información energética (Balances Energéticos Físicos). Esta integración de datos otorga una precisión al análisis, ya que permite capturar con mayor exactitud los flujos energéticos existentes (Van den Bergh 1999). En segundo lugar, el modelo permite considerar todas las emisiones de GEIs sujetas a control además del CO₂. Estas emisiones tienen un efecto importante (Reilly et Al. 2004; Michaelis 1999), en el caso particular de España, éstas suponen cerca de un 25% sobre el total. En ambos casos, lo que se ha pretendido es aprovechar al máximo la disponibilidad de datos existentes, para calibrar un modelo lo más ajustado posible a la realidad.

La estructura básica de este modelo puede ser utilizada por otros investigadores y también en otras aplicaciones. En general, el modelo tiene interés para aquellos que estén interesados en evaluar políticas que afectan de una manera global sobre la economía; tal es el caso de multitud de políticas fiscales, energéticas, comerciales o medioambientales. Al final de la tesis se recogen los códigos (GAMS/MPSGE) de los modelos utilizados.

1.5 ANTECEDENTES

La investigación en materia de cambio climático esta siendo intensa en esta última década. Nuestro trabajo se inserta, por tanto, dentro de una línea investigadora ya abierta y se apoya, concretamente, en cuatro pilares básicos; 1) el modelo MITT-EPPA del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), 2) el modelo DEAN de Rob Dellink, 3) el lenguaje GAMS/MPSGE y 4) el algoritmo PATH.

El modelo MITT-EPPA (Babiker et al. 2001), del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), es uno de los modelos «grandes» más punteros en el área de investigación sobre costes globales y cambio climático. Se trata de un MEGA multi-sectorial y multi-regional que incluye todos los gases de efecto invernadero. El modelo recoge distintas estructuras productivas que sirven para caracterizar la tecnología actual, es dinámico y se resuelve de manera recursiva. Las funciones de producción en él descritas han sido las utilizadas para especificar la tecnología de nuestro modelo.

El modelo DEAN (Dellink 2005) es un MEGA «pequeño», construido por Rob Dellink en la Universidad de Wageningen. Se trata de un modelo aplicado a la política ambiental de Holanda, incluye un sector de reducción (abatimiento) de la contaminación y recoge simultáneamente la mayoría de los problemas relacionados con la polución (cambio climático, acidificación, dispersión de partículas finas, contaminación de suelos, etc.). Una de sus características más notables es la integración en un MEGA tipo Ramsey de información precisa sobre las posibilidades tecnológicas de reducción de emisiones («análisis bottom-up»). El esfuerzo didáctico, la claridad y la accesibilidad pública de los códigos de los modelos hacen que Dellink (2005) sea una buena referencia para los interesados en el equilibrio general aplicado y en los modelos de economía ambiental en general. Sus aportaciones han sido de gran utilidad para especificar y programar la dinámica del modelo.

La utilización de MEGAs para el análisis de políticas se ha extendido gracias a las innovaciones en los algoritmos matemáticos y al aumento en la capacidad de cálculo de los ordenadores. Una aportación notable en esta área es GAMS (General Algebraic Modelling System), un paquete informático diseñado en el Banco Mundial (Brooke *et al.* 1998), que integra algoritmos para la resolución de diversos tipos de problemas matemáticos. Otra interesante aportación es el metalenguaje MPSGE (Mathematical Programming System for General Equilibrium), un lenguaje de alto nivel que funciona sobre la plataforma GAMS y que simplifica notablemente la programación de modelos de equilibrio general (Rutherford 1999, Gómez 1999). El uso de GAMS/MPSGE nos ha permitido centrarnos menos en la programación y más en la economía detrás de cada modelo.

El modelo se resuelve finalmente mediante el algoritmo matemático PATH (Dirkse *et al.* 1995). PATH resuelve sistemas de ecuaciones (e inecuaciones) no lineales mediante métodos de aproximación tipo Newton, lo que nos permite encontrar las soluciones de equilibrio del modelo.

1.6 ESTRUCTURA DE LA TESIS

El trabajo se estructura de la siguiente manera. En el capítulo 2, repasamos los diferentes tipos de modelos para la estimación de los costes de mitigación de los GEIs, y realizamos una breve introducción a los modelos de equilibrio general computable. El propósito del capítulo es contextualizar el marco teórico básico, para poder presentar después el modelo utilizado.

En el capítulo 3, recogemos los datos necesarios para la calibración del modelo. Estas necesidades se dividen en: 1) datos económicos; por ejemplo, es necesaria información sobre la estructura de la económica española, datos sectoriales, previsiones de crecimiento de algunas variables, etc. 2) datos medioambientales; compuestos principalmente, por los coeficientes de emisión, las emisiones actuales y las emisiones futuras, y, por último, 3) datos políticos; que se reducen a unos objetivos de reducción de emisiones y unos plazos de cumplimiento.

En el capítulo 4, 5, 6 y 7 analizamos cada una de las preguntas de investigación planteadas. En primer lugar, en el capítulo 4, investigamos el impacto económico del Protocolo Kyoto en España (escenario Kyoto 2050) y, en el capítulo 5, analizamos otros escenarios alternativos (escenario Kyoto+10 y Post-Kyoto). En el capítulo 6 presentamos la hipótesis del doble dividendo en España, analizando los efectos de diferentes tipos de reformas fiscales y, finalmente, en el capítulo 7, abordamos el estudio de los instrumentos.

En el capítulo 8, por último, hacemos un resumen de las principales características del análisis, criticamos el trabajo, mediante una exposición de sus limitaciones, y planteamos algunas posibilidades de mejora para futuras líneas de investigación. La tesis termina con una serie de conclusiones finales y una pequeña reflexión.

2.1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha estudiado extensamente la relación entre la actividad humana, la acumulación de gases de efecto invernadero y el cambio climático. La mayor dificultad a la que se enfrentan, actualmente, los responsables de la política ambiental es alcanzar un acuerdo global sobre el nivel de reducción de GEIs adecuado para prevenirnos de los efectos adversos de un cambio climático y, posteriormente, repartir este objetivo común entre los diferentes estados.

Tomar una decisión racional al respecto requiere conocer los beneficios asociados a dichas políticas, pero también sus costes económicos. Un buen resumen de las aportaciones de la literatura económica sobre este campo de investigación puede encontrarse en estudios pioneros como Nordhaus (1978) o en Weyant (1993) y Springer (2003).

En este capítulo presentamos una clasificación de los tipos de modelos más utilizados para analizar los costes económicos del control de las emisiones de GEIs, ya que nuestro propósito es analizar estos costes para el caso de España.

El objetivo central de este capítulo es presentar el marco teórico propuesto para esta tesis doctoral. El marco elegido es un Modelo Dinámico de Equilibrio General Aplicado. Al final de este capítulo recogemos una descripción del modelo, ecuación por ecuación, y una lista de las variables que lo componen. También, al final de la tesis, presentamos los códigos GAMS/MPSGE del modelo.

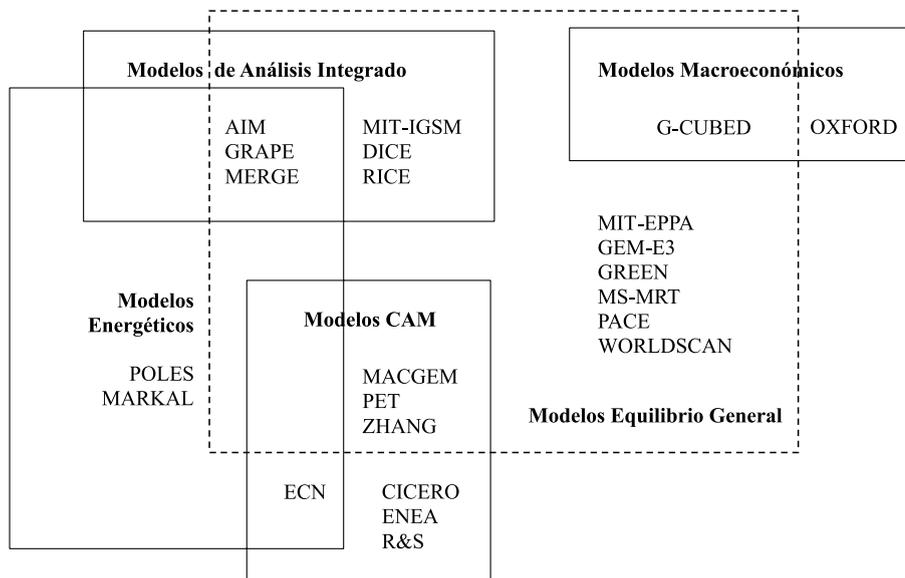
2.2. TIPOS DE MODELOS

Es habitual observar como la literatura utiliza frecuentemente diferentes modelos para analizar los costes de la reducción de emisiones. Los objetivos específicos de cada investigación deciden, en gran medida, las características del modelo a utilizar, ya que no existe un único modelo que permita tratar todos los aspectos en detalle. En realidad, existen diferentes tipos de modelos que se han ido desarrollando con el tiempo y que nos permiten obtener diferentes visiones del mismo problema.

Siguiendo a Springer (2003), podemos clasificar estos modelos en cinco categorías fundamentales y complementarias. La figura 2.1 recoge una clasificación de estos tipos e incluye algunos de los nombre más reconocidos al respecto.

FIGURA 2.1

TIPOS DE MODELOS (adaptado de Springer, 2003)



■ 2.2.1 MODELOS ENERGÉTICOS

Los modelos energéticos fueron los pioneros en el análisis de los impactos económicos de políticas energéticas y medioambientales. En un inicio eran modelos de optimización o programación lineal, con un alto nivel de detalle tecnológico, pero, posteriormente, fueron incluyendo funciones no lineales que permiten representar mejor la sustituibilidad entre factores y el comportamiento de los agentes. En la actualidad, son modelos de equilibrio parcial, que centran su esfuerzo en una caracterización más profunda de los sectores energéticos y eléctricos. Ejemplos conocidos son el modelo MARKAL (Seebregts *et al.* 2001) y el modelo POLES (Criqui 2001).

Estos modelos, también conocidos como modelos ingenieriles o modelos «bottom-up», tienen dos inconvenientes principales; en primer lugar, la demanda energética suele ser considerada exógena, y, por lo tanto, independiente de los precios y, en segundo lugar, suelen incluir únicamente a los sectores energéticos, por lo que omiten las relaciones con el resto de la economía.

■ 2.2.2 MODELOS DE EQUILIBRIO GENERAL APLICADO

Los modelos de equilibrio general aplicado (MEGAs) se basan en la teoría neoclásica sobre el comportamiento de los agentes y el funcionamiento de los mercados. Estos modelos, también conocidos como modelos «top-down», consideran la economía en su conjunto. Algunos ejemplos notables son el modelo EPPA (Babiker *et al.* 2001) del MIT y el modelo GEM-E3 de la Comisión Europea (Capros *et al.* 1998).

Los modelos de equilibrio general tienen la ventaja de poseer una sólida base microeconómica y de permitir capturar todas las interrelaciones económicas. Por ello, se utilizan ampliamente en análisis de impactos de aquellas políticas que tienen un impacto global en la economía, como las políticas energéticas, fiscales o medioambientales. En el siguiente apartado analizaremos con más detalle este tipo de modelos.

Los modelos Input-Output pertenecen también a esta categoría, ya que también se basan en el supuesto del equilibrio económico y consideran toda la economía en conjunto. La diferencia principal respecto a los MEGAs reside en su carácter lineal, ya que utiliza funciones de producción y consumo de proporciones fijas tipo Leontief (elasticidades nulas). Este tipo de modelos, además de ser más simples, son útiles para investigar políticas en el corto plazo, ya que generalmente las posibilidades de sustitución en estos casos suelen ser limitadas.

■ 2.2.3 MODELOS MACROECONÓMICOS NEO-KEYNESIANOS

Los modelos macroeconómicos Neo-Keynesianos son una variedad de los modelos de equilibrio general. La diferencia principal estriba en que los modelos Neo-Keynesianos no se basan íntegramente en la teoría neoclásica, sino que apoyan también su análisis en las tendencias históricas y en las series de datos. El componente principal de estos modelos es el lado de la demanda, que generalmente suele aparecer agregado. Otra de sus características es que no considera que todos los mercados tengan que estar necesariamente en equilibrio y, por ello, son a veces también llamados modelos de «desequilibrio». Algunos ejemplos notables son el modelo G-CUBED (McKibbin *et al.* 1999) y el modelo OXFORD (Cooper *et al.* 2005).

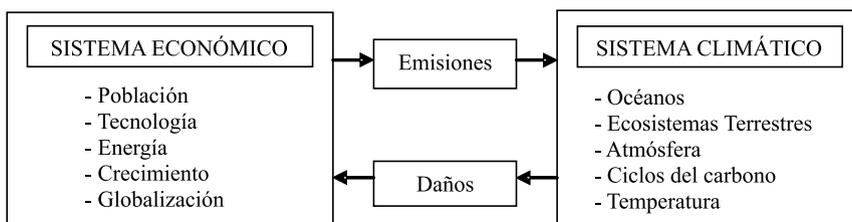
Estos modelos generalmente necesitan de análisis econométricos para establecer las correlaciones entre variables. Su mejor ajuste a la realidad los hace útiles para estimaciones más precisas en el corto plazo, aunque en el largo plazo los modelos de equilibrio general suelen ser más utilizados. En general, el uso de este tipo de modelos es raro en la literatura.

■ 2.2.4 MODELOS DE ANÁLISIS INTEGRADO

Los modelos de Análisis Integrado se caracterizan por incluir de manera conjunta los procesos económicos y los procesos físicos del cambio climático (Ciscar 2004). Para ello es necesario establecer dos tipos de flujos; 1) los efectos de la actividad económica sobre el cambio climático o efectos hacia delante y 2) los efectos del cambio climático sobre la actividad económica o efectos hacia atrás. Esta cadena de relaciones queda representada en la figura 2.2.

FIGURA 2.2

UN MODELO DE ANÁLISIS INTEGRADO



La principal ventaja de estos modelos es que permiten integrar los costes y los beneficios de la reducción de emisiones, haciendo posible el análisis de políticas óptimas. Un trabajo pionero en este campo es el modelo DICE (Nordhaus 1993), a partir del cual se han inspirado otros como el modelo RICE (Nordhaus 1998) o el modelo MIT-IGSM (Prinn *et al.* 1999).

El principal obstáculo de los modelos integrados reside en la complejidad de los sistemas climáticos y en la dificultad que supone valorar monetariamente muchos de los daños ambientales.

■ 2.2.5 MODELOS DE COMERCIO DE EMISIONES

Algunos de los modelos más recientes utilizan las curvas de coste marginal de reducción de emisiones, calculadas habitualmente a través de modelos de equilibrio general, para investigar aspectos relacionados con los recientemente creados mercados de permisos de emisión. Algunos de los trabajos más recientes dentro esta línea de investigación son Ellerman y Deceaux (1998), Holtsmark y Maestad (2002), Michaelowa y Jotzo (2005).

Este tipo de modelos se centran en analizar los aspectos estratégicos de este nuevo mercado, acompañados de una información más precisa sobre los costes económicos de la reducción de emisiones.

2.3. MODELOS DE EQUILIBRIO GENERAL APLICADO

■ 2.3.1 INTRODUCCIÓN

Los Modelos de Equilibrio General Aplicado o *MEGAs* se basan en la teoría neoclásica sobre el comportamiento de los agentes y el funcionamiento de los mercados, siendo su principal característica que describe la economía en conjunto. Los agentes considerados son racionales y resuelven individualmente su propio problema de maximización. Los mercados son competitivos y se vacían mediante la determinación endógena de las cantidades a producir y los precios; en una situación de equilibrio ningún agente puede mejorar su situación alterando su comportamiento. Estos modelos permiten investigar los mecanismos que determinan los precios relativos y las asignaciones óptimas de los recursos en economías competitivas y descentralizadas.

La *teoría del equilibrio general* tiene su origen en el marco de análisis walrasiano, formalizado a partir de trabajos pioneros como Arrow y Debreu (1959) y Arrow y Hahn (1971). Estas primeras investigaciones teóricas centran su análisis en las propiedades matemáticas sobre la existencia, la convergencia y la unicidad de los equilibrios económicos.

A partir aquí, comienzan a desarrollarse los primeros modelos de equilibrio general aplicado que analizan el efecto de las políticas a partir del signo de las derivadas, y limitándose a un número reducido de bienes y servicios. Un ejemplo, es Shoven y Whalley (1984), donde se hace un análisis para dos productores, dos factores productivos y dos consumidores. Estos modelos estaban limitados por la dificultad que suponía encontrar soluciones de equilibrio a sistemas con muchas variables. Sin embargo, con el desarrollo de las técnicas de punto fijo, como el algoritmo de Scarf (1973), y con las nuevas técnicas de computación, estas restricciones dejaron de ser un problema. Actualmente, el uso de *modelos de equilibrio general aplicados* comienza a ser una práctica habitual en la investigación económica de políticas y economías reales.

Simplificando, un MEGA es la estructura teórica de un modelo Arrow-Debreu aplicado a un número extenso de agentes, que se concreta en un sistema de ecuaciones no lineales y que se resuelve mediante algoritmos matemáticos. Una buena introducción a estos modelos puede encontrarse en Shoven y Whalley (1992), Ginsburgh y Keyzer (1997) o Gómez (2005).

■ 2.3.2 LAS TRES CONDICIONES BÁSICAS

Un MEGA se puede formular como un problema matemático que cumple ciertas condiciones teóricas y que tiene una solución bien definida.

Una manera de presentar el problema es introduciendo el comportamiento optimizador de los agentes en las ecuaciones mediante la utilización de funciones de oferta y demanda. El problema se reduce entonces a buscar la solución a un sistema de n ecuaciones no lineales, con n variables, en donde las variables endógenas son los precios, la producción, los factores productivos, etc., y las variables exógenas son las preferencias, la tecnología, las dotaciones iniciales, etc. Mathiensen (1985) demostró que el modelo Arrow-Debreu podía ser formulado como un problema de complementariedad mixta que cumplía tres condiciones básicas:

Condición 1: Condición de beneficio cero

Esta condición supone que el valor de todos los inputs debe ser igual al valor del output. Una economía con rendimientos constantes de escala y en competencia perfecta no tendrá beneficios al margen de los retornos del capital; si existieran beneficios extras otras empresas entrarían en el mercado, reduciendo los precios y aumentando la producción, hasta conseguir que el beneficio fuese cero. Además, el beneficio no puede ser negativo ya que esto supondría para la empresa el cese de su actividad.

Condición 2: Condición de vaciado de mercado

Esta condición supone que la demanda para cada bien o factor productivo debe ser igual o menor¹ a su oferta. En una economía perfecta los mercados se vacían; si la demanda fuera mayor que la oferta el precio de dicho bien aumentaría y la producción disminuiría, hasta hacer que el exceso de demanda fuese cero.

Condición 3: Condición de equilibrio presupuestario

Esta condición supone que los agentes no pueden gastar por encima de su presupuesto. Suponiendo que los agentes prefieren siempre más que menos, toda la renta será gastada en consumo y/o ahorro.

En definitiva, en un MEGA es necesario añadir, a las condiciones usuales de los modelos económicos (condición 1 y 2), la condición de restricción presupuestaria para todos los agentes (condición 3), cerrando así el flujo circular de la renta.

¹ MPSGE permite modelizar sectores con obtienen pérdidas, ya que estos permanecen inactivos mientras no sea rentable operar. Esto supone que muchas de las ecuaciones de equilibrio son realmente inecuaciones. También es posible modelizar bienes o factores que tienen un precio cero cuando no existe escasez. Un ejemplo de ellos son los permisos de emisión en el escenario BAU de esta tesis.

■ 2.3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Entre las ventajas más relevantes de los MEGAs se pueden citar las siguientes:

- Consideran toda la economía en conjunto.
- Los impactos directos y los indirectos de la política son tenidos en cuenta.
- Tienen una sólida base microeconómica.
- Permiten representar problemas no lineales.
- Los precios se obtienen de manera endógena en el modelo.
- Permiten incorporar múltiples sectores, factores y agentes económicos.
- Permiten incluir imperfecciones y restricciones en los mercados.

Sin embargo estos modelos tienen algunas limitaciones:

- Necesitan una gran cantidad de datos.
- La falta de series estadísticas hace necesaria su calibración.
- Es difícil la incorporación de imperfecciones en los mercados.
- Los efectos monetarios no son tenidos en cuenta.
- No suelen considerar los costes de ajuste y transacción.

■ 2.3.4 MEGAS Y CRECIMIENTO ECONÓMICO

Un MEGA dinámico es realmente un modelo de crecimiento neoclásico desagregado en sectores y agentes económicos. Una buena introducción a la literatura sobre crecimiento económico puede encontrarse en Barro y Sala-i-Martin (1995).

Los MEGAs dinámicos pueden ser divididos en modelos tipo Solow-Swan o modelos tipo Ramsey. En los modelos Solow-Swan los consumidores ahorran una parte fija de su renta y consumen todo lo demás. Los agentes tienen un comportamiento miope, no consideran el futuro, y el modelo se resuelve resuelto iterativamente, periodo por periodo, y de manera recursiva. En los modelos tipo Ramsey, en cambio, los consumidores ajustan de manera flexible aquella proporción de ahorro y consumo que maximiza su utilidad a lo largo de todo el horizonte temporal. Es habitual considerar, en estos casos, que los agentes tienen expectativas perfectas, esto es, que conocen el estado futuro de todas las variables de decisión.

Ambos tipos de comportamiento son casos extremos entre los que se sitúa el comportamiento real. Los consumidores consideran el futuro, tienen algún conocimiento al respecto, pero éste suele ser limitado. La dinámica con expectativas tiene la ventaja de dar una mayor riqueza al análisis, ya que permite explorar los mecanismos que influyen en las decisiones intertemporales.

Generalmente, los MEGAs suelen considerar agentes que viven un tiempo finito, aunque también existen modelos en donde los agentes viven indefinidamente, modelos dinásticos (Ginsburgh y Keyzer 1997), y modelos en los que coexisten en alternancia varias generaciones, modelos de generaciones solapadas (Bovenberg y Heijdra 2002).

■ 2.3.5 MEGAS Y MEDIO AMBIENTE

La actividad económica genera impactos en el medio ambiente mediante el agotamiento de los recursos naturales (fuentes) y la generación de contaminación (sumideros). La Economía de los Recursos Naturales estudia el primer tipo de problemas, mientras que la Economía Ambiental se ocupa del segundo. Una buena introducción sobre las relaciones entre medio ambiente y economía puede encontrarse en Perman *et al.* (2003).

Los modelos económico-ambientales relacionan la contaminación con el uso de bienes intermedios (inputs) o con la producción (outputs). Es preferible, ya que es más preciso, asociar cada contaminante al uso de un input concreto, pero el nivel desagregación económica o las necesidades de simplificación del modelo pueden hacer no siempre sea esto posible (Vöhringer y Dellink, 2004). Respecto a la relación entre MEGAS y medio ambiente tiene especial interés los trabajos pioneros de Bergman (1988; 1991) u otros como Conrad (1999).

Además de los impactos de la economía en el medio ambiente o *efectos hacia delante*, existen otros impactos que van del medio ambiente a la economía o *efectos hacia atrás*. Estos efectos se refieren a los cambios en la producción o en la utilidad debido a cambios en los servicios ambientales. Los efectos hacia atrás no son fáciles de estimar, ya que implican valorar monetariamente los activos ambientales; esto explica porque es habitual encontrar en la literatura más trabajos teóricos que aplicados.

La ventaja de considerar los efectos hacia atrás es que permite realizar *análisis coste-beneficio* y encontrar soluciones óptimas a los problemas ambientales. Sin embargo, es más habitual en un MEGA restringirse a un *análisis coste-eficiente*; es decir, analizar los costes mínimos para conseguir ciertos objetivos exógenos dados.

■ 2.3.6 MEGAS Y TECNOLOGÍA

El *estado de la tecnología* en un MEGA queda caracterizado por la estructura de las funciones de producción y el valor de sus elasticidades de sustitución. La mayoría de los modelos distinguen en sus funciones de producción diferentes factores, como el capital (K), el trabajo (L), los materiales y servicios (M) y la energía (E); que a su vez suele ser descompuesta entre combustibles fósiles (F) y electricidad (T). Estas formas funcionales suelen definirse mediante una sucesión o anidamiento de funciones CES, Cobb-Douglas o Leontief.

La anidación de funciones permite adaptar la estructura productiva a la realidad mostrada por los análisis econométricos.

$$Y = f(K, L, M, E(F, T))$$

El *cambio tecnológico* suele considerarse exógeno (Bohringer y Rutherford, 2002; Manne *et al.* 1995; Nordhaus, 1993; Whalley y Wigle, 1991), y está caracterizado por un parámetro que engloba todas las mejoras de eficiencia previsibles en emisiones de GEIs. Este parámetro, conocido en la literatura como AEEI (Autonomous Efficiency Emission Improvement, Weyant 1993), refleja todos los factores que, en conjunto, harán que la intensidad de las emisiones varíe con el tiempo. Tradicionalmente, su valor se ha situado entorno a una mejora del 1% anual. Este parámetro es fundamental para poder estimar las emisiones futuras.

Algunos modelos incluyen tecnologías «*back-stop*» (Lindholt 2005); esto es, tecnologías que actualmente están disponibles, y que podrían ser utilizadas si se dieran ciertos cambios en las condiciones del mercado.

También existen otros modelos que consideran el cambio tecnológico de manera *endógena*, y dependiente de ciertas variables como la inversión en investigación y desarrollo (I+D), la transferencia tecnológica o el aprendizaje. En Loschel (2002) podemos encontrar un buen resumen de las aportaciones de la literatura sobre cambio tecnológico endógeno y MEGAs ambientales. Esta área es una de las más prometedoras en el campo de la investigación sobre economía y cambio climático.

2.4.

DANTE: UN MODELO DINÁMICO DE EQUILIBRIO GENERAL APLICADO

■ 2.4.1 INTRODUCCIÓN

En este apartado presentamos las características del modelo elaborado para esta investigación. Se trata de un modelo dinámico de equilibrio general aplicado, al que hemos llamado modelo DANTE. Este nombre es un acrónimo que reconoce las aportaciones para su elaboración del modelo **DEAN** (Dellink 2005) y del modelo **MIT-EPPA** (Babiker *et al.* 2001) para su aplicación en **España**.

El modelo DANTE considera todo el sistema económico en conjunto, está desagregado en múltiples sectores económicos, y se basa en una dinámica tipo Ramsey. El estado de la tecnología esta definida mediante funciones de producción, específicas para cada tipo de sector, mientras que el cambio tecnológico es considerado exógeno. La política ambiental se implementa mediante un mercado de permisos de emisión que incluye a todos los sectores.

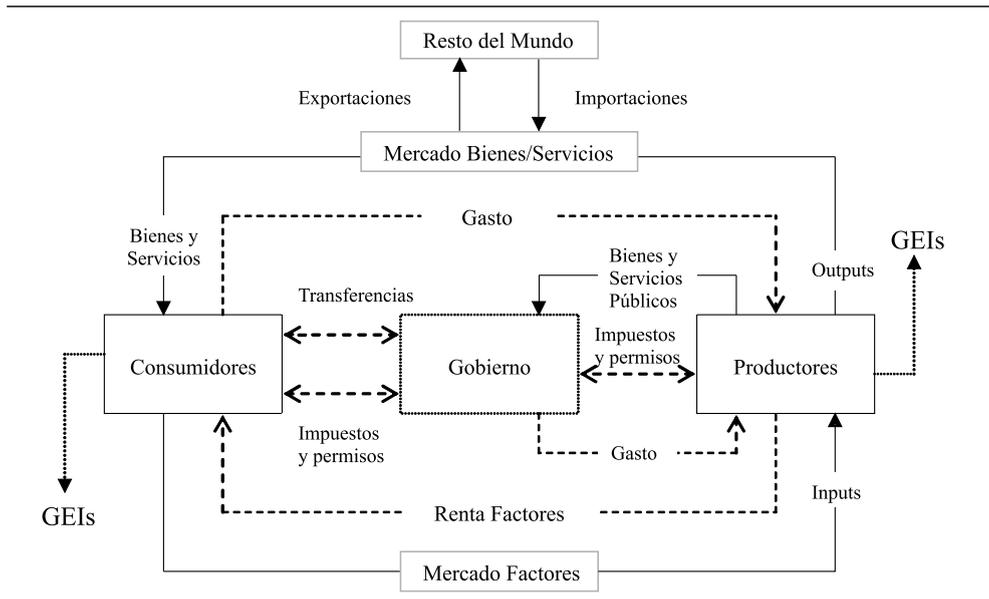
2.4.2 ESTRUCTURA GENERAL

La estructura general del modelo se puede resumir en la figura 2.3. Esta figura pretende únicamente ilustrar la estructura general del modelo; existen flujos no descritos para evitar su complejidad, como los que tienen que ver con la inversión y la acumulación de capital.

El flujo comienza a iniciativa de los consumidores que son los dueños de los factores productivos en una economía walrasiana. Los consumidores alquilan a los productores los factores (inputs) para fabricar bienes y servicios (outputs) que son a su vez vendidos a los consumidores. La cantidad y el precio de estos bienes y factores se determinan en el mercado mediante la interacción entre oferta y demanda. Cada transacción tiene una contraprestación en forma de renta o gasto, representada en líneas discontinuas, y que cierra el flujo circular de la renta. El gobierno actúa como intermediario de estas acciones cobrando impuestos, consumiendo bienes y servicios públicos y realizando o recibiendo transferencias de los consumidores. En nuestro caso también se encarga de repartir y limitar el número de permisos de contaminación. Estos permisos son considerados como un input necesario más para la producción y el consumo, y puede ser comprado/vendido en el mercado de factores bajo los mismos mecanismos de oferta y demanda que rigen en el resto de los mercados. Por último, las relaciones con otras economías del entorno se establecen a través de los flujos de importaciones y exportaciones de bienes y servicios.

FIGURA 2.3

ESTRUCTURA GENERAL DEL MODELO DANTE



El modelo está desagregado en 22 sectores económicos, como se recoge en la tabla 2.1. La estructura sectorial pretende recoger aquellos sectores más relevantes en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero (crudo, carbón, derivados del petróleo, gas natural, electricidad), pero también aquellos sectores que tienen un peso económico importante; siendo la desagregación final un compromiso entre ambos factores.

El modelo considera todas la emisiones sujetas a control por el Protocolo de Kyoto: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), monóxido de nitrógeno (N_2O) y los gases fluorados (SF_6 , HFC, PFC). Para poder agregar estos gases, los hemos convertido a una unidad similar, el CO_2 equivalente, que mide el grado de contribución de cada gas al cambio climático. Por razones de simplificación, también hemos dividido las emisiones en dos bloques; emisiones de combustión y emisiones de proceso. Las emisiones de combustión son las emisiones originadas por la quema de combustibles fósiles, mientras que las de proceso agrupan todas las restantes.

TABLA 2.1

DESAGREGACIÓN DEL MODELO DANTE

1. SECTORES PRODUCTIVOS

-Sectores No energéticos-

Agricultura
Extracción otros minerales
Industria alimentos
Industria textil y cuero
Industria madera y papel
Industria química
Industria metálica
Industria maquinaria
Otras industrias
Distribución agua
Construcción

Transporte terrestre
Transporte marítimo
Transporte aéreo
Anexos del transporte
Servicios comerciales
Servicios no comerciales

-Sectores Energéticos-

Extracción carbones
Extracción crudo y gas
Industria refino petróleo
Gas Natural

-Sector Electricidad-

2. INPUTS PRODUCTIVOS

Capital
Trabajo
Permisos de emisión

3. AGENTES ECONÓMICOS

Consumidor Representativo
Empresas
Gobierno

4. EMISIONES

CO_2 , CH_4 , N_2O , SF_6 , HFC y PFC

5. REGIONES

Resto del Mundo

El modelo contempla un único consumidor representativo, que posee los factores productivos (capital y trabajo), y un gobierno, que recauda impuestos a la producción, al consumo y al trabajo, y que también controla la política ambiental. El comercio internacional

se realiza a través del agregado «Resto del Mundo» que engloba todas las economías del entorno.

A continuación, explicaremos en detalle las partes que configuran el modelo DANTE y su notación matemática.

■ 2.4.3 PRODUCTORES

Los productores maximizan beneficio sujetos a sus restricciones tecnológicas, combinando de manera óptima capital, trabajo, energía y otros inputs intermedios, y pagando impuestos asociados a la producción y al trabajo. En el proceso de producción generan emisiones de combustión, asociadas mediante coeficientes a los inputs de carbón, petróleo y gas natural; y emisiones de proceso, asociadas mediante coeficientes al output de la producción. Estas emisiones tienen que estar respaldadas con permisos de emisión, convirtiendo a estos derechos de contaminación en un factor productivo necesario más.

Las funciones de producción para cada sector están formadas por un anidamiento de funciones CES, Cobb-Douglas y Leontief, que combinan inputs con un grado de sustitución que depende del valor de las elasticidades. La ecuación 1 recoge, de una manera genérica y simplificada, sin desarrollar algebraicamente (más adelante se representarán gráficamente), las variables que intervienen en estas funciones de producción. La función producción del sector j en el momento t es una función dependiente de los inputs intermedios i ($Y_{j,i,t}^{ID}$), del capital ($K_{j,t}$), del trabajo ($L_{j,t}$), de los permisos de emisión ($E_{j,t}^P$) y de las diferentes elasticidades de sustitución; como por ejemplo, la elasticidad entre el Capital/Trabajo y Energía (σ^{KEl}).

$$Y_{j,t}^A = f\left(Y_{j,i,t}^{ID}, \dots, Y_{j,i,t}^{ID}; K_{j,t}; L_{j,t}; E_{j,t}^P; \sigma^Y, \sigma^{KEl}, \dots, \sigma^{E2}\right), \forall(j, t) \quad [1]$$

Según la *condición de beneficio cero*, el valor del output de cada productor, después de pagar impuestos, debe ser igual al valor de los inputs utilizados, como queda recogido en la ecuación 2. El precio del output del sector j en el instante t viene representado por $P_{j,t}$; $P_{K,t}$ es el precio del capital, $P_{L,t}$ es el precio del trabajo, y $P_{E,t}$ es el precio de los permisos de contaminación en cada instante t . τ_j^p y τ_j^t son las tasas impositivas a la producción y al trabajo para cada uno de los sectores.

$$\left(P_{j,t} + \tau_j^p\right) \cdot Y_{j,t} - \left[P_{j,t} \cdot Y_{j,i,t}^{ID} + P_{K,t} \cdot K_{j,t} + (P_{L,t} + \tau_j^t) \cdot L_{j,t} + P_{E,t} \cdot E_{j,t}^P \right] = 0, \forall(j, t) \quad [2]$$

A partir de las ecuaciones 1 y 2 es posible derivar las funciones de producción y coste para cada uno de los sectores económicos. Las funciones que se utilizan en este tipo de modelos tienen una estructura compleja, siendo necesaria para su obtención la utilización de herramientas informáticas. MPSGE nos permite desarrollar estas funciones y derivarlas con simplemente especificar: 1) las estructuras de anidamiento de las funciones, 2) las elas-

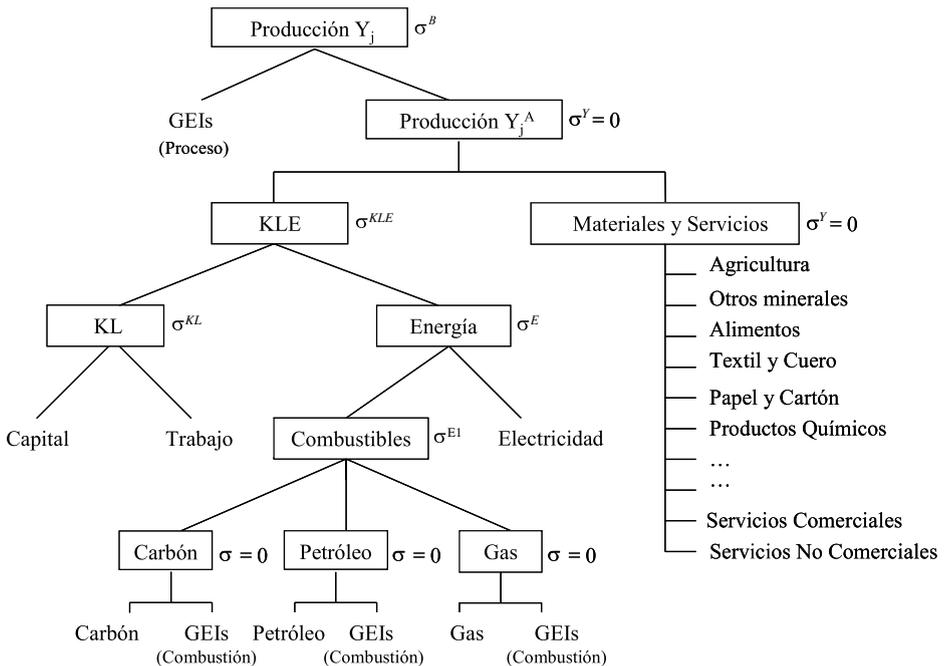
tidades de sustitución y 3) las cantidades y los precios iniciales. Como la expresión algebraica de estas funciones es muy extensa, suele ser habitual presentada de forma gráfica.

Los tipos de funciones de producción utilizadas en el modelo DANTE son tres; una para el sector eléctrico (figura 2.6), otra para los sectores energéticos; crudo, carbón, petróleo y gas (figura 2.5) y otra para el resto de los sectores (figura 2.4). Esta distinción nos permite capturar algunas diferencias importantes respecto a la tecnología en tres tipos de sectores. En este trabajo utilizamos las funciones de producción del modelo MIT-EPPA (Babiker *et al.* 2001).

La figura 2.4 recoge la estructura de la producción de los sectores *no energéticos*. Para producir una unidad de output es necesario combinar capital, trabajo, energía, materiales y servicios, y permisos de emisión de GEIs. Los parámetros σ de la figura representan las elasticidades de sustitución entre los inputs del nivel inferior. Por ejemplo, el grado de sustitución entre electricidad y combustibles fósiles para producir energía es σ^E . Un valor de la elasticidad 0 representaría un caso particular de función CES conocida como función Leontief, en el que los inputs se combinan de una manera proporcional y fija. Un valor de la elasticidad 1 representaría una función tipo Cobb-Douglas. En nuestra figura las estructuras Leontief aparecen representadas mediante líneas rectas, que simbolizan la falta de fle-

FIGURA 2.4

ESTRUCTURA PRODUCCIÓN SECTORES NO ENERGÉTICOS



xibilidad en la función, mientras que el resto de estructuras, Cobb-Douglas y CES, se representan mediante líneas inclinadas. Las emisiones de GEIs aparecen unidas a los inputs de carbón, petróleo y gas natural (emisiones de combustión) y también al output de la producción para el resto de emisiones (emisiones de proceso).

En el caso de las emisiones de proceso existen tecnologías de proceso que permiten una cierta sustituibilidad (σ^B) entre emisiones y producción (ver apartado 2.4.9). En el caso de las emisiones de combustión, por el contrario, no existen posibilidades de sustitución, ya que las emisiones de CO₂ están forzosamente únicas al proceso químico de la combustión.

La figura 2.5 recoge la estructura de producción de los sectores energéticos; crudo, carbón, petróleo y gas natural. En este caso las posibilidades de sustitución se dan únicamente en entre emisiones de producción y la producción, y entre trabajo y capital. Esta mayor rigidez en la producción nos permite representar las típicas limitaciones de oferta que son habituales en el caso de las industrias extractivas y energéticas.

Por último, la figura 2.6, recoge la estructura de producción del sector eléctrico. Este sector es clave por su alto consumo de combustibles fósiles, y, por ello, ha sido necesario dotarle de una estructura de producción propia. Aunque ésta es parecida a la de la figura 2.4, cuenta con mayores posibilidades de sustitución entre combustibles fósiles, que pretenden capturar las nuevas posibilidades de producción eléctrica de las tecnologías de ciclo combinado.

FIGURA 2.5

ESTRUCTURA PRODUCCIÓN SECTORES ENERGÉTICOS

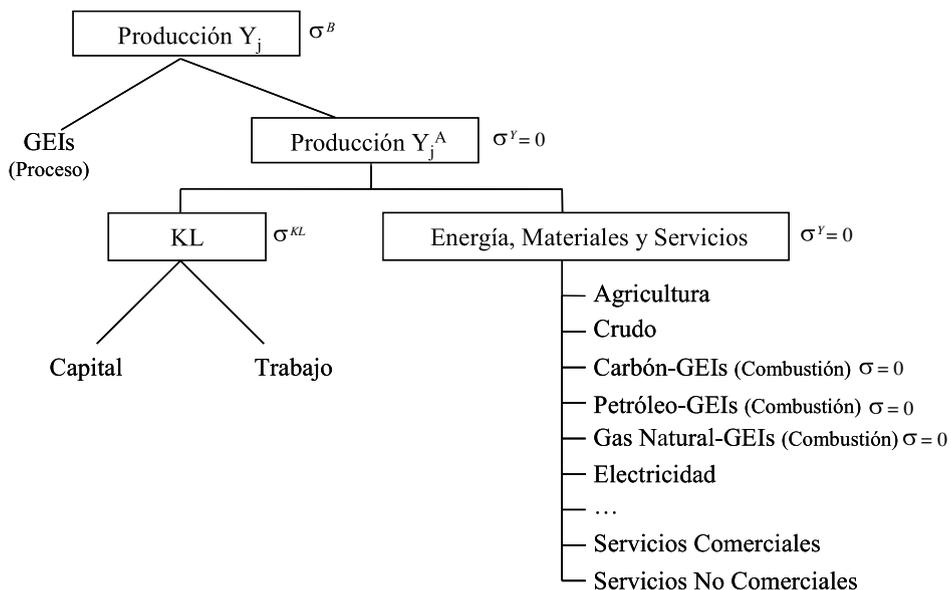
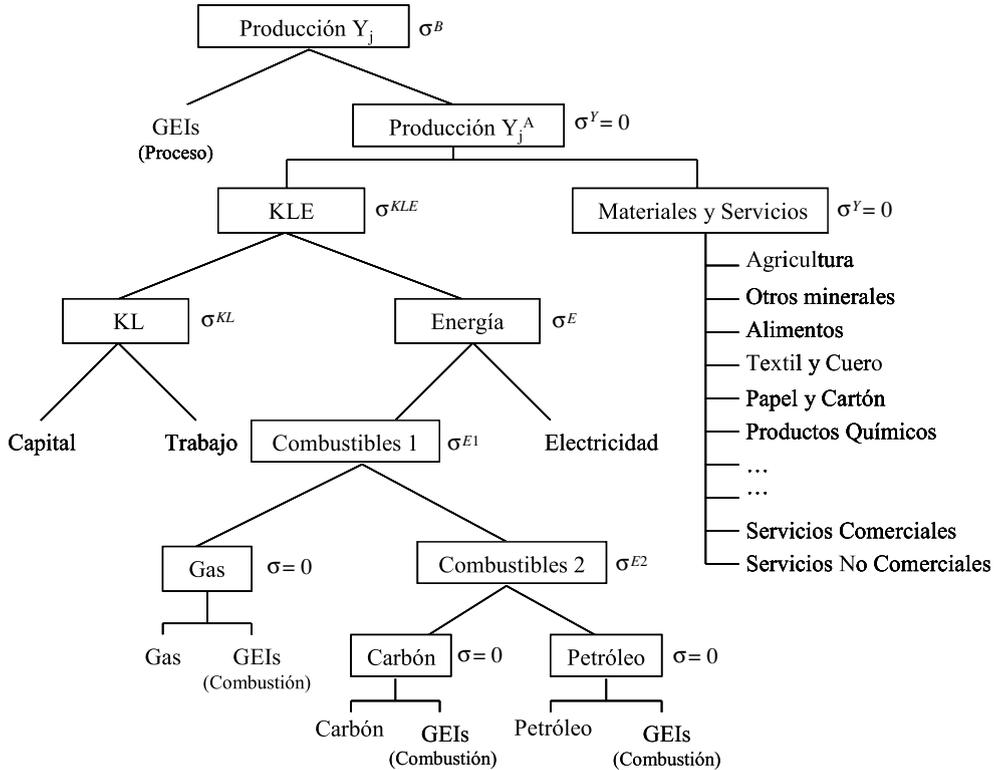


FIGURA 2.6

ESTRUCTURA PRODUCCIÓN SECTOR ELÉCTRICO



■ 2.4.4 CONSUMIDORES

El modelo considera a un único consumidor que agrupa todos los consumidores. Este consumidor representativo maximiza la utilidad total sujeto a una limitación presupuestaria. La renta obtenida proviene del trabajo, el capital y las transferencias realizadas/recibidas por el gobierno. Los consumidores deciden endógenamente cuál el nivel de ahorro óptimo en cada periodo para maximizar la utilidad total y también se encargan de financiar las inversiones.

La *utilidad total* U es la agregación, mediante una función CES, de las *utilidades intertemporales* en cada periodo U_t . La elasticidad de sustitución intertemporal (σ^U) nos permite modelar las preferencias entre la utilidad presente y utilidad futura como recoge la ecuación 3.

$$U = CES(U_1, \dots, U_T; \sigma^U) \quad [3]$$

La función de *utilidad en* cada periodo se construye mediante una agregación del consumo, que presentamos de forma genérica en la ecuación 4, y de forma gráfica en la figura 2.7. La función permite sustituir los diferentes bienes de consumo j en cada instante $t(C_{j,t})$ según las posibilidades de cada elasticidad de sustitución.

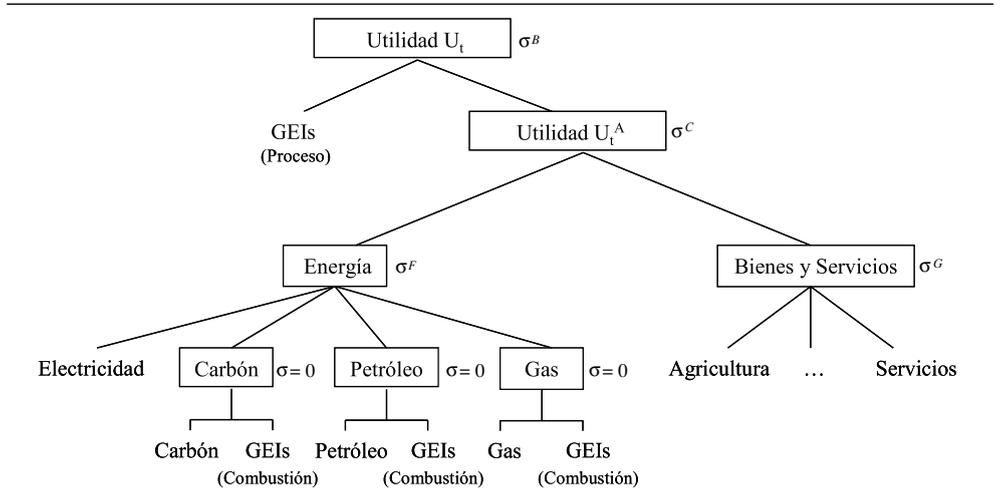
$$U_t = f(C_{1,t}, \dots, C_{j,t} : \sigma^C, \sigma^F, \sigma^G), \forall t \quad [4]$$

La *condición de equilibrio presupuestario* establece que toda la renta es empleada. Es decir, los ingresos; trabajo, capital y transferencias del gobierno (T_t), y los gastos; consumo ($C_{j,t}$), impuestos (τ_j^C), compra de permisos de contaminación (E_t^C) y ahorro (S_t), tienen que ser equivalentes en cada periodo, tal y como se recoge en la ecuación 5.

$$P_{K,t} \cdot K_t + P_{L,t} \cdot L_t + T_t = \sum_{j=1}^J (P_{j,t} + \tau_j^C) \cdot C_{j,t} + P_{E,t} \cdot E_t^C + S_t, \forall t \quad [5]$$

FIGURA 2.7

ESTRUCTURA DE LA UTILIDAD INSTANTÁNEA



■ **2.4.5 GOBIERNO**

El gobierno actúa como intermediario de algunos flujos económicos, mediante la recaudación de impuestos a la producción, al trabajo y al consumo. Estos recursos, según la *condición de balance presupuestario*, se emplean enteramente en proveer bienes y servicios públicos y en transferencias a los consumidores (ecuación 7) y suponemos que el déficit público se mantiene constante en todos los periodos. Además, las políticas ambientales que simularemos serán neutrales en su recaudación fiscal, es decir; los nuevos ingresos recibidos por los permisos de contaminación son devueltas vía transferencias (o mediante

la reducción de otros impuestos) a los consumidores, manteniendo siempre un nivel de gasto público constante \bar{G} (ecuación 6).

$$\bar{G}_t = CES(G_1, \dots, G_{j,t}), \forall t \quad [6]$$

$$P_{E,t} \cdot \bar{E}_t \cdot \sum_{j=1}^J (P_{L,t} \cdot \tau^L \cdot L_{j,t} + P_{j,t} \cdot \tau_j^P \cdot Y_{j,t}) = \sum_{j=1}^J P_{j,t} \cdot G_{j,t} + T, \forall t \quad [7]$$

■ 2.4.6 COMERCIO INTERNACIONAL

Las economías modernas interactúan en entornos abiertos. Para incluir las relaciones de nuestra economía con el resto de las economías internacionales, hemos agrupado todo los países en un único agregado llamado *Resto del Mundo (RdM)*, y, entre los flujos existentes, hemos considerado únicamente las importaciones y exportaciones de bienes y servicios.

El comercio internacional se modela siguiendo dos supuestos habituales en un MEGA.

- *Supuesto de economía pequeña y abierta*; la economía doméstica es demasiado pequeña para influir en los precios mundiales, y, todas las necesidades de importación y exportación pueden ser satisfechas mediante el comercio con el Resto del Mundo.
- *Supuesto de Armington*; los bienes domésticos y los bienes extranjeros son considerados como sustitutos imperfectos. Este enfoque (Armington 1969) permite que existan diferencias entre los precios nacionales y los internacionales para un mismo producto, haciendo posible que existan bienes que son importados y exportados al mismo tiempo.

En la práctica, estos supuestos suponen modelar la oferta total como una función CES, que agrega producción doméstica e importaciones (ecuación 8). Este agregado se divide, posteriormente, mediante una función de transformación CET entre demanda doméstica y exportaciones (9). La figura 2.8 muestra la estructura del comercio internacional de manera gráfica.

$$Y_{j,t}^{TS} = CES(Y_{j,t}^D, M_{j,t}; \sigma^A) \quad [8]$$

$$Y_{j,t}^{TD} = CET(Y_{j,t}^D, X_{j,t}; \sigma^T) \quad [9]$$

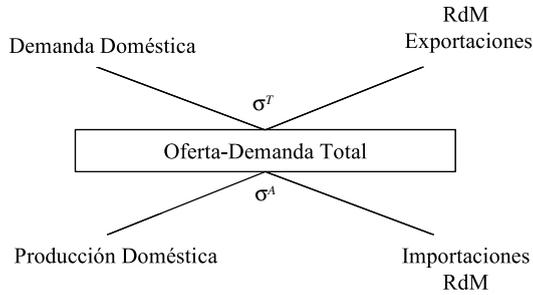
Finalmente, es necesario algún supuesto para cerrar los flujos del modelo (*regla de cierre*). En nuestro caso suponemos que el déficit comercial, las importaciones menos las exportaciones, se financia con el presupuesto de los consumidores y que además se

mantiene constante (ecuación 10). es la variable que sirve para ajustar o vaciar este mercado.

$$\sum_{j=1}^J P_{X,t} (M_{j,t} - X_{j,t}) = \overline{XD}_t \quad [10]$$

FIGURA 2.8

ESTRUCTURA COMERCIO INTERNACIONAL



■ **2.4.7 CRECIMIENTO Y PROGRESO TECNOLÓGICO**

La oferta de trabajo está dada en el año de referencia inicial y crece a una tasa constante g (ecuación 11). Esta tasa de crecimiento es una combinación de dos factores, el crecimiento demográfico y las mejoras de productividad.

$$\bar{L}_{t+1} = \bar{L}_t \cdot (1 + g) \quad [11]$$

El *stock* de capital también está dado en el año inicial, pero su crecimiento depende de las decisiones de inversión I_t y de la tasa de depreciación del capital δ (ecuación 12). Para poder aproximar una modelo de horizonte infinito a uno de horizonte finito es necesario adoptar una condición de transversalidad en el stock de capital del último periodo. La literatura propone para ello diversas condiciones, siendo la más utilizada en para MEGA la adoptada en Lau *et al.* (2002). Esta condición (ecuación 13) establece que, en el último periodo, el crecimiento de la inversión será idéntico a la tasa final de crecimiento de la utilidad del consumidor, lo que asegura que la economía se mantendrá cerca del estado estacionario en este periodo final.

$$K_{t+1} = K_t \cdot (1 - \delta) + I_t \quad [12]$$

$$\frac{I_t}{I_{t-1}} = \frac{U_{I,t,'priv'}}{U_{I,t-1,'priv'}} \quad [13]$$

El parámetro de ecoeficiencia φ (AEEI en la literatura) recoge las mejoras exógenas previstas en cuanto a eficiencia en emisiones de GEIs. Este parámetro sigue una función logística (ecuación 14) que permite reflejar aquellos fenómenos que parten de un valor inicial, aumentan gradualmente y finalmente se estabilizan. El modelo distingue entre ecoeficiencia de combustión (φ_t^c) y ecoeficiencia de proceso (φ_t^p), puesto que las perspectivas de futuro para ambos tipos de emisiones son distintas.

$$\varphi_t = \varphi_{t_0} \cdot \frac{1}{1 + (\varphi_{t_f} / \varphi_{t_0} - 1) \cdot e^{-t}} \quad [14]$$

■ 2.4.8 EMISIONES Y POLÍTICA AMBIENTAL

Las emisiones totales de GEIs se calculan como suma de las emisiones de productores (E_t^p) y consumidores (E_t^c) en cada periodo. Cada una de ellas se obtiene, a su vez, como agregación de las emisiones de combustión y de proceso. Las emisiones de combustión están asociadas mediante coeficientes (α_e, γ_e) al uso de los inputs de carbón, petróleo y gas; y las de proceso están asociadas mediante coeficientes (x_j, z) a la producción final o a los outputs. Las emisiones están corregidas en cada periodo por las mejoras tecnológicas recogidas en los parámetros de ecoeficiencia ($\varphi_{t_f}^c, \varphi_t^p$).

$$E_t^p = \varphi_t^c \cdot \left(\sum_{e=1}^3 \alpha_e \cdot \sum_{j=1}^J \gamma_{e,j,t}^{ID} \right) + \varphi_t^p \cdot \left(\sum_{j=1}^J x_j \cdot Y_{j,t} \right), \forall t \quad [15]$$

$$E_t^c = \varphi_t^c \cdot (y_e \cdot C_{e,t}) + \varphi_t^p \cdot \left(z \cdot \sum_{j=1}^J C_{j,t} \right), \forall t \quad [16]$$

La política ambiental se implementa simulando un sistema de permisos de emisión transferibles perfecto. En este sistema el gobierno fija las emisiones objetivo, subasta los permisos en el mercado, de forma que las emisiones totales sean iguales a las emisiones objetivo, y permite posteriormente su intercambio. Desde un punto de vista teórico, la asignación final de los derechos resultante con este instrumento es eficiente, y la reducción de emisiones efectiva. Esta es una forma natural de introducir la política ambiental en un MEGA, ya que los permisos pueden ser tratados como otro factor más que se intercambia en el mercado a un precio de equilibrio concreto.

■ 2.4.9 ABATIMIENTO Y EMISIONES DE PROCESO

Las emisiones de proceso están unidas al output en cada sector productivo. Las posibilidades de reducir estas emisiones quedan recogidas en el modelo a través de las posibilidades de abatimiento, es decir, del grado de sustituibilidad (σ^{β}) entre la produc-

ción ($Y_{j,t}^A$) y las emisiones de proceso ($E_{j,t}^{PR}$), y que se recoge mediante una función CES (ecuación 17).

$$Y_{j,t} = CES\left(Y_{j,t}^A, E_{j,t}^{PR}; \sigma^B\right) \quad [17]$$

De la misma manera, existen posibilidades de sustitución (σ^B) entre las emisiones de proceso ($E_{j,t}^{PR}$) y la utilidad (U_j^A) derivada del consumo privado, recogidas mediante la ecuación 18.

$$U_t = CES\left(U_t^A, E_t^{PR}; \sigma^B\right) \quad [18]$$

■ 2.4.10 EQUILIBRIO

La última condición para el equilibrio general es la *condición de vaciado de mercado*. Esta condición establece que la demanda para todos los bienes o factores productivos debe ser igual a su oferta. En nuestro caso, esto supone un equilibrio en el mercado de bienes y servicios (ecuación 19), capital (ecuación 20), trabajo (ecuación 21), entre ahorro e inversión (ecuación 22) y también en el mercado de permisos de contaminación (ecuación 23). El equilibrio se obtiene a través de un ajuste iterativo en los precios.

$$Y_{j,t}^{DD} = \sum_{jj=1}^J Y_{j,j,t}^{ID} + C_{j,t} + G_{j,t} + I_{j,t} \quad [19]$$

$$\sum_{j=1}^J K_{j,t} = K_t \quad [20]$$

$$\sum_{j=1}^J K_{j,t} = \bar{L}_t \quad [21]$$

$$S_t = \sum_{j=1}^J P_{j,t} \cdot I_{j,t} + \bar{X}D_t \quad [22]$$

$$\bar{E}_t = E_t^P + E_t^C \quad [23]$$

■ 2.4.11 SOLUCIÓN

Resolver el modelo implica buscar la solución de un sistema finito de ecuaciones no lineales. Las propiedades matemáticas del modelo garantizan la convergencia hacia una solución de equilibrio que es estable y única. Para la programación hemos utilizado el len-

guaje GAMS (Brooke *et al.*, 1998) y el metalenguaje MPSGE (Rutherford, 1999), y para encontrar las soluciones de equilibrio el algoritmo PATH (Dirkse y Ferris, 1995).

El modelo se resuelve en periodos de cinco años para simplificar el tiempo de cálculo de cada simulación. Esta especificación no tiene repercusiones en términos económicos, pero para ello es necesario calibrar correctamente los flujos que se transfieren de un periodo a otro para que éstos reflejen exactamente los flujos anuales (ver Rutherford 2001). Como cada periodo se compone de cinco años hay que recalcular qué parte de la inversión es productiva en ese periodo y cuál lo será en el siguiente.

Apéndice 1

ECUACIONES DEL MODELO DANTE Y NOTACIÓN CIENTÍFICA

ECUACIONES

■ 1. Productores

Funciones de Producción por sectores² $\forall (j, t)$

$$Y_{j,t} = f\left(Y_{1,j,t}^{ID}, \dots, Y_{j,j,t}^{ID}; K_{j,t}; L_{j,t}; E_{j,t}^P; \sigma^Y, \sigma^{KEL}, \dots, \sigma^{E2}\right) \quad [1]$$

Condición de Beneficio Cero por sectores $\forall (j, t)$

$$(P_{j,t} + \tau_j^P) \cdot Y_{j,t} = P_{j,t} \cdot Y_{j,j,t}^{ID} + P_{K,t} \cdot K_{j,t} + (P_{L,t} + \tau_j^L) \cdot L_{j,t} + P_{E,t} \cdot E_{j,t}^P \quad [2]$$

■ 2. Consumidores

Función de Utilidad Total Intertemporal³

$$U = CES(U_1, \dots, U_T; \sigma^U) \quad [3]$$

Función de Utilidad Instantánea $\forall t$

$$U_t = F(C_1, \dots, C_{j,t}; \sigma^C, \sigma^F, \dots, \sigma^G) \quad [4]$$

Condición de Balance de Presupuesto $\forall t$

$$\left[P_{K,t} \cdot K_t + P_{L,t} \cdot L_t + T_t \right] - \left[\sum_{j=1}^J (P_{j,t} \cdot \tau_j^C) \cdot C_{j,t} + P_{E,t} \cdot E_t^C + S_t \right] = 0 \quad [5]$$

² La estructura anidada de producción se representa gráficamente en las figuras 2.4, 2.5 y 2.6. La ecuación 1 es una forma reducida de presentar dichas funciones, mediante los inputs y las elasticidades, para evitar su gran extensión algebraica. A modo de ejemplo; una función CES para el caso de dos niveles de anidamiento y dos inputs tiene la siguiente forma:

El primer nivel: $Y = CES(X_1, X_2; \sigma) = (a_1 X_1^{\sigma-1/\sigma} + a_2 X_2^{\sigma-1/\sigma})^{\sigma/\sigma-1}$ y el segundo nivel:

$X_2 = CES(X_3, X_4; \Psi) = (a_3 X_3^{\Psi-1/\Psi} + a_4 X_4^{\Psi-1/\Psi})^{\Psi/\Psi-1}$, donde a_1, a_2, a_3, a_4 son parámetros y σ, Ψ representan las elasticidades de sustitución entre los inputs.

³ La estructura anidada de la utilidad se representa gráficamente en la figura 2.7.

■ 3. Gobierno

Consumo Público del Gobierno

$$\bar{G}_t = CES(G_{1,t}, \dots, G_{j,t}) \quad [6]$$

Condición de Balance de Presupuesto

$$P_{E,t} \cdot (E_t^p + E_t^c) + \sum_{j=1}^J (P_{L,t} \cdot \tau^L \cdot L_{j,t} + P_{j,t} \cdot \tau^C \cdot C_{j,t} P_{j,t} \cdot \tau^p \cdot Y_{j,t}) = \sum_{j=1}^J P_{j,t} \cdot \bar{G}_{j,t} + T \quad [7]$$

■ 4. Comercio internacional

Función Armington entre bienes importados y domésticos⁴ $\forall (j, t)$

$$Y_{j,t}^{IS} = CES(Y_{j,t}, M_{j,t} : \sigma^A) \quad [8]$$

Función Transformación entre bienes exportados y domésticos $\forall (j, t)$

$$Y_{j,t}^{TD} = CET(Y_{j,t}^D, X_{j,t} : \sigma^T) \quad [9]$$

Cierre del modelo con el Resto del Mundo $\forall t$

$$\sum_{j=1}^J P_{X,t} (M_{j,t} - X_{j,t}) = \bar{XD}_t \quad [10]$$

■ 5. Crecimiento y progreso tecnológico

Crecimiento oferta efectiva de trabajo $\forall t$

$$\bar{L}_{t+1} = \bar{L}_t \cdot (1+g) \quad [11]$$

Crecimiento stock de capital $\forall t$

$$K_{t+1} = K_t \cdot (1-\delta) + I_t \quad [12]$$

Condición de transversalidad para el stock final de capital $\forall t$

$$\frac{I_t}{I_{t-1}} = \frac{U_{T,t,'priv'}}{U_{T-1,'priv'}} \quad [13]$$

⁴ La estructura anidada del comercio se representa gráficamente en la figura 2.8.

Progreso ecoeficiencia de combustión y proceso

$$\varphi_t = \varphi_{t_0} \cdot \frac{1}{1 + (\varphi_{t_0} / \varphi_{t_0} - 1) \cdot e^{-t}} \quad [14]$$

■ 6. Emisiones

Emisiones Productores $\forall t$

$$E_t^P = \varphi_t^C \cdot \left(\sum_{e=1}^3 \alpha_e \cdot \sum_{j=1}^J Y_{e,j,t}^{ID} \right) + \varphi_t^P \cdot \left(\sum_{j=1}^J X_j \cdot Y_{j,t} \right) \quad [15]$$

Emisiones Consumidores

$$E_t^C = \varphi_t^C \cdot (y_e \cdot C_{e,t}) + \varphi_t^P \cdot \left(Z \cdot \sum_{j=1}^J C_{j,t} \right) \quad [16]$$

■ 7. Abatimiento y emisiones de proceso

Abatimiento emisiones de proceso Productores $\forall (j, t)$

$$Y_{j,t} = CES \left(Y_{j,t}^A, E_{j,t}^{PR} \cdot \sigma^{BJ} \right) \quad [17]$$

Abatimiento emisiones de proceso Consumidores $\forall t$

$$U_t = CES \left(U_t^A, E_t^{PR} \cdot \sigma^B \right) \quad [18]$$

■ 8. Condiciones de Vaciado de Mercado

Balance mercado bienes y servicios $\forall (j, t)$

$$Y_{j,t}^{DD} = \sum_{jj=1}^J Y_{j,j,t}^{ID} + C_{j,t} + G_{j,t} + I_{j,t} \quad [19]$$

Balance mercado de capital $\forall t$

$$\sum_{j=1}^J K_{j,t} = K_t \quad [20]$$

Balance mercado de trabajo $\forall t$

$$\sum_{j=1}^J K_{j,t} = \bar{L}_t \quad [21]$$

Balance mercado de Ahorro/Inversión $\forall t$

$$S_t = \sum_{j=1}^J P_{j,t} \cdot I_{j,t} + \overline{\chi D}_t \quad [22]$$

Balance mercado de permisos de emisión $\forall t$

$$\bar{E}_t = E_t^p + E_t^c \quad [23]$$

SÍMBOLOS

Índices

Nombre	Entradas	Descripción
j, jj	$1, \dots, J$	Sectores/Bienes y servicios
t	$1, \dots, T$	Periodos
e	Carbón, Petróleo, Gas	Combustibles Fósiles

Parámetros

Nombre	Descripción
g	Tasa de crecimiento de la oferta efectiva de trabajo
δ	Tasa de depreciación del capital
r	Tasa de interés
σ^Y	Elasticidad de sustitución entre Energía-Capital-Trabajo y Materiales
σ^{KLE}	Elasticidad de sustitución entre Energía y Capital-Trabajo
σ^{KL}	Elasticidad de sustitución entre Capital y Trabajo
σ^E	Elasticidad de sustitución entre Electricidad y Combustibles Fósiles
σ^{E1}	Elasticidad de sustitución entre Carbón, Petróleo y Gas Natural
σ^{E2}	Elasticidad de sustitución entre Gas Natural y Carbón-Petróleo (sector eléctrico)

σ^U	Elasticidad de sustitución intertemporal de la utilidad instantánea
σ^C	Elasticidad de sustitución en el consumo entre bienes energéticos y no energéticos
σ^F	Elasticidad de sustitución en el consumo entre bienes energéticos
σ^G	Elasticidad de sustitución en el consumo entre bienes no energéticos
σ^B	Elasticidad de sustitución entre producción/consumo y emisiones de proceso
σ^A	Elasticidad de sustitución entre bienes importados y domésticos
σ^T	Elasticidad de transformación entre bienes exportados y domésticos
τ_j^l	Tasa impositiva en el trabajo en el sector j
τ_j^p	Tasas impositiva en la producción en el sector j
τ_j^c	Tasa impositiva en el consumo en el bien j
T_t	Transferencias entre consumidores y gobierno en el periodo t
α_e	Coefficientes de emisión de combustión para los productores en el combustible e
γ_e	Coefficientes de emisión de combustión para los consumidores en el combustible e
x_j	Coefficientes de emisión de proceso para el sector j
z	Coefficientes de emisión de proceso para el consumidor representativo
ϕ_j^c	Ecoeficiencia de combustión en el periodo t
ϕ_j^p	Ecoeficiencia de proceso en el periodo t

Variables endógenas

Nombre	Descripción
$Y_{j,t}$	Producción del sector j en el periodo t
$Y_{j,t}^A$	Producción del sector j en el periodo t antes del abatimiento en las emisiones de proceso
$Y_{j,j,t}^{ID}$	Demanda intermedia del input jj en el sector j y en el periodo t
$Y_{j,t}^D$	Demanda doméstica del bien j en el periodo t
$Y_{j,t}^{TS}$	Oferta total del bien j en el periodo t
$Y_{j,t}^{TD}$	Demanda total del bien j en el periodo t
$M_{j,t}$	Importaciones del bien j en el periodo t
$X_{j,t}$	Exportaciones del bien j en el periodo t
$K_{j,t}$	Demanda de capital del sector j en el periodo t
$L_{j,t}$	Demanda de trabajo del sector j en el periodo t
U	Utilidad total consumidores

U_t	Utilidad consumidores en el periodo t
U_t^A	Utilidad consumidores en el periodo t antes del abatimiento de las emisiones de proceso
$C_{j,t}$	Consumo privado del bien j en el periodo t
$G_{j,t}$	Consumo público del bien j en el periodo t
S_t	Ahorro en el periodo t
$I_{j,t}$	Inversión en el sector j en el periodo t
K_t	Demanda de capital en el periodo t
$P_{j,t}$	Precio de equilibrio del bien j en el periodo t
$P_{k,t}$	Precio de equilibrio del capital en el periodo t
$P_{L,t}$	Precio de equilibrio del salario en el periodo t
$P_{E,t}$	Precio de equilibrio de los permisos de emisión en el periodo t
$P_{X,t}$	Tasa de intercambio o precio de equilibrio en el comercio internacional en el periodo t
$P_{I,t}$	Precio de equilibrio de la inversión en el periodo t
$E_{k,t}^P$	Emisiones productores en el periodo t
E_t^C	Emisiones consumidores en el periodo t
$E_{j,t}^{PP}$	Emisiones de proceso productores en el periodo t
E_t^{PP}	Emisiones de proceso consumidores en el periodo t

Variables exógenas

Nombre	Descripción
$\bar{X}D_t$	Déficit de comercio en el periodo t
\bar{G}_t	Consumo público total en el periodo t
\bar{K}_0	Oferta de capital en el periodo inicial
\bar{L}_t	Oferta de trabajo en el periodo t
\bar{E}_t	Emisiones totales o permisos de emisión totales

3.1 INTRODUCCIÓN

Un modelo teórico necesita ser calibrado para poder ajustarlo a la realidad de los datos. De una manera más técnica, la calibración es el proceso mediante el cual asignamos valores a los parámetros del modelo de forma que, al ser éste resuelto, las variables que obtenemos coinciden exactamente con los datos del equilibrio inicial. La información necesaria para caracterizar este equilibrio inicial, y poder calibrar el modelo, se puede dividir en tres grandes bloques; economía, medio ambiente y política.

El bloque económico comprende la descripción del equilibrio económico inicial en el año de referencia elegido. Para ello utilizamos una matriz de datos, que tiene una ordenación característica, conocida como Matriz de Contabilidad Social o SAM. Como el modelo es dinámico necesitaremos también datos sobre las variables que guían el crecimiento económico. Por último, es también necesario conocer la reacción de los agentes ante los posibles cambios, es decir, necesitamos conocer los valores de las elasticidades de sustitución.

El bloque medioambiental comprende los datos que nos permiten calcular las emisiones actuales y estimar las emisiones futuras. Para ello, será necesario conocer la evolución de la tecnología en cuanto a la eficiencia en emisiones de GEIS, lo que se recoge en un parámetro exógeno denominado ecoeficiencia.

El último bloque se refiere a los escenarios políticos, que, en este caso, se concretan mediante unos objetivos de reducción de las emisiones y unos plazos de cumplimiento.

3.2 DATOS ECONOMÍA

■ 3.2.1 EQUILIBRIO INICIAL

Los datos económicos del equilibrio inicial provienen de la SAM construida para este propósito. Esta SAM se ha elaborado mediante la integración de la información de la Tabla Input-Output Simétrica o TIOS-1995 (INE 2002) y la información recogida en los Balances

Energéticos Sectoriales (Eurostat 2005), y esta recogida en los apéndices de este capítulo (tabla A3.1).

En la práctica, la integración de los datos energéticos se ha realizado mediante la introducción en la TIO de unas nuevas filas de demanda de los bienes energéticos (crudo, carbón, petróleo, gas natural y electricidad), que provienen de la multiplicación de los datos físicos y los precios de los balances energéticos. Esta integración nos permitirá tener una descripción más precisa sobre el uso de la energía en un contexto económico general. De esta forma evitamos tener bienes energéticos mezclados junto con otros bienes (los productos petrolíferos aparecen en la TIOS mezclados con el tratamiento de combustibles nucleares, y el gas natural con el agua caliente y el vapor de agua), consiguiendo que la estructura de la demanda energética coincida exactamente con la mostrada por los balances energéticos. Además, podremos conocer la demanda energética en unidades físicas, algo muy útil para un cálculo preciso de las emisiones de GEIs y de los coeficientes de emisión.

En los apéndices de este capítulo se ofrece una descripción detallada de las características de las SAM construida y de la metodología utilizada para la integración de los datos energéticos.

■ 3.2.1.1 Análisis descriptivo de la SAM

Los datos económicos de la TIO permiten un nivel de desagregación bastante alto, hasta 84 sectores, pero, en nuestro caso, esto se ve limitado por la menor sectorización existente en los balances energéticos. Algunos sectores son relevantes por su peso económico, mientras que otros lo son por sus emisiones contaminantes; por ello, es necesario alcanzar un grado de compromiso entre ambos factores. Finalmente, hemos acordado para nuestra SAM una desagregación que alcanza 22 sectores económicos.

Lo que sigue es un análisis descriptivo de los datos del equilibrio inicial recogidos en la SAM. La tabla 3.1 recoge la desagregación sectorial del modelo junto con la producción y el consumo en términos absolutos y relativos. La columna de consumo incluye tanto el consumo público, como el privado.

La columna de producción muestra como el sector servicios comerciales y el sector servicios no comerciales tienen un gran peso; en conjunto representan un 43 por ciento de la producción total. También es significativa la aportación a la economía del sector construcción, con un 16 por ciento de la producción, y del sector alimentación y bebidas, con un 6,4 por ciento. Por el contrario, actividad de extracción de crudo (petróleo y gas) es casi nula. La estructura de la columna de consumo es, también, muy similar; destacan los servicios comerciales y no comerciales, que representan un 71 por ciento del consumo total, los alimentos y las bebidas, con un 8,2 por ciento, y los productos textiles, con un 3 por ciento.

TABLA 3.1

DATOS ECONÓMICOS SECTORIALES PARA ESPAÑA 1995 A PARTIR DE LA SAM (MILLONES DE EUROS)

	CÓDIGO TIOS (INE 1995)	PRODUCCIÓN MILLONES € (%)	CONSUMO MILLONES € (%)
1. Agricultura	1, 2, 3	26.758 (3,8%)	4.590 (1,3%)
2. Extracciones carboneras	4	1.542 (0,2%)	46 (0,0%)
3. Extracción crudo y gas	5	130 (0,0%)	0 (0,0%)
4. Extracción otros minerales	6, 7	1.782 (0,3%)	19 (0,0%)
5. Industria alimentos	12, 13, 14, 15, 16	46.260 (6,5%)	29.026 (8,2%)
6. Industria textil y cuero	17, 18, 19	12.554 (1,8%)	10.617 (3,0%)
7. Industria madera y papel	20-22	13.850 (2,0%)	3.797 (1,1%)
8. Industria refino petróleo	8	7.563 (1,1%)	4.483 (1,3%)
9. Industria química	23, 24	21.065 (3,0%)	6.055 (1,7%)
10. Industria metálica	29-30	22.913 (3,2%)	42 (0,0%)
11. Industria maquinaria	31-35	31.104 (4,4%)	4.429 (1,2%)
12. Otras industrias	25-28, 36-39	48.981 (6,9%)	12.683 (3,6%)
13. Electricidad	9	11.335 (1,6%)	4.832 (1,4%)
14. Gas natural	10	861 (0,1%)	455 (0,1%)
15. Distribución agua	11	2.457 (0,3%)	1.132 (0,3%)
16. Construcción	40	100.059 (14,1%)	8.433 (2,4%)
17. Transporte terrestre	45, 46	21.818 (3,1%)	5.913 (1,7%)
18. Transporte marítimo	47	1.583 (0,2%)	173 (0,0%)
19. Transporte aéreo	48	3.320 (0,5%)	782 (0,2%)
20. Anexos del transporte	49, 50	20.395 (2,9%)	6.214 (1,7%)
21. Servicios comerciales	41-44, 51-56, 58, 62, 68-71	219.791 (31,1%)	162.882 (45,9%)
22. Servicios no comerciales	57, 59-61, 63-67	91.005 (12,9%)	88.644 (25,0%)

La SAM permite mostrar los flujos económicos existentes en un periodo de un año. A partir de ella se pueden calcular algunos de los agregados económicos habituales en la contabilidad nacional. En la Tabla 3.2 presentamos, directamente, y a partir de la SAM, el cálculo del PIB por las tres vías usuales; demanda, renta y producción. Esto nos permitirá conocer la estructura económica de España en el año de referencia. La correspondencia con

los datos oficiales no es exacta debido a los cambios requeridos en la elaboración de la SAM energética (ver apéndice 2).

TABLA 3.2

AGREGADOS MACROECONÓMICOS ESPAÑA 1995 A PARTIR DE LA SAM (MILLONES DE EUROS)

	1995
Gasto Consumo Privado	273.360
Gasto Consumo AAPP	81.887
Formación Bruta de Capital	140.567
Importaciones	-96.123
Exportaciones	94.817
PIB -vía Demanda-	494.508
Sueldos y Salarios	234.272
Excedente de Explotación / Renta Mixta	181.910
Impuestos al trabajo	44.445
Impuestos al capital	10.759
Impuestos sobre los productos	23.122
PIB -vía Oferta-	494.508
Valor añadido Agricultura	17.308
Valor añadido Energía	11.424
Valor añadido Industria	95.033
Valor añadido Construcción	66.782
Valor añadido Servicios de mercado	208.209
Valor añadido Servicios de no mercado	72.630
Impuestos sobre los productos	23.122
PIB -vía Producción-	494.508

El PIB calculado por las tres vías para el año de referencia 1995 asciende a 494 millones de euros. La tabla nos muestra que el peso del sector público en el consumo total es de un 23%, y que el déficit comercial para ese año alcanzó los 1.300 millones. La contribución al valor añadido se divide en un 56% para sueldos y salarios y en un 44% para exce-

dentes de explotación y rentas mixtas. Además, los impuestos indirectos sobre el trabajo, el capital y productos suponen un 15% sobre el PIB total. La estructura sectorial de la economía española es la habitual en una economía moderna; una mayor y creciente participación del sector servicios (60%), una menor y decreciente de la industria (20%) y, sobre todo, una pérdida de peso de la agricultura (4%). La rama de la construcción tiene un peso considerable (14%) comparada con otras economías, y también destaca sensiblemente el sector energético (2%).

■ 3.2.2 CRECIMIENTO ECONÓMICO

Para calibrar un modelo dinámico es necesario conocer el valor de los parámetros que van a guiar el crecimiento económico. Los más importantes son la tasa de crecimiento (g), el tipo de interés (r) y la tasa de depreciación del capital (δ). En la tabla 3.3 recogemos las tasas de crecimiento de éstas y otras variables económicas claves en el periodo 1990-2005.

TABLA 3.3

TASAS DE CRECIMIENTO MEDIO ANUAL PERIODO 1990-2005

	1990-1995	1995-2000	2000-2005	1990-2005
PIB	1,7	3,3	2,9	2,6
Stock trabajo	-0,3	3,9	3,6	2,4
Stock capital	4,1	3,1	2,7	3,3
Consumo de capital	4,1	5,9	8,4	6,1
Consumo privado	1,5	2,8	3,6	2,6
Consumo público	3,7	2,1	3,0	2,9
Tipo de interés l/plazo	6,4	4,8	3,1	4,7

Fuente: INE 2002a.

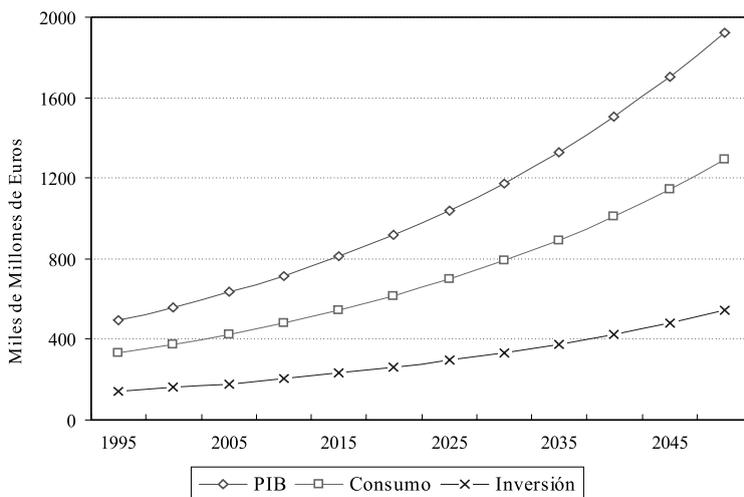
La literatura empírica sugiere (Jones 1995) que la tasa media de crecimiento económico en el largo plazo puede considerarse suficientemente estable en el tiempo. En la tabla 3.3 observamos que el crecimiento anual medio del PIB durante el periodo 1990-2005 fue un 2.6 por ciento. Parece, por lo tanto, razonable aproximar el crecimiento anual (g) para nuestro modelo en un 2.5 por ciento anual. En un MEGA el crecimiento se explica por el crecimiento de la oferta efectiva de trabajo; por ello, el parámetro g lo que realmente va a reflejar es una combinación entre el aumento del número de trabajadores y el aumento de la productividad.

El tipo de interés (r) suele calibrarse con respecto al tipo de interés a largo plazo, ya que en éste apenas existe prima de riesgo. La tabla 3.3 muestra una tasa media anual del 4.7 en el periodo 1990-2005, que aproximaremos a un 5 por ciento anual. Por último, la tasa de depreciación del capital (δ) muestra un valor de 6.1 por ciento anual que, siguiendo el mismo criterio, lo aproximamos a un 6 por ciento anual.

Según los valores asignados a estos parámetros, las proyecciones para el PIB, el consumo y la inversión son las recogidas en la figura 3.1. El PIB alcanzará un valor, en el año 2050, cercano a los 192.000 millones de euros.

FIGURA 3.1

PROYECCIONES DEL PIB, CONSUMO E INVERSIÓN



3.2.3 ELASTICIDADES

La reacción de los agentes ante los cambios depende de las elasticidades de sustitución. Las elasticidades van necesariamente unidas a la estructura de las funciones utilizadas en el modelo, y para su estimación son necesarios análisis econométricos. En nuestro caso, la estructura de las funciones de producción, intercambio y utilidad provienen del modelo MIT-EPPA (ver capítulo 2), y también los valores asignados a las elasticidades. La tabla 3.4 recoge el valor de cada una de las elasticidades de sustitución del modelo.

TABLA 3.4

VALOR ELASTICIDADES DE SUSTITUCIÓN EN LAS FUNCIONES DE PRODUCCIÓN, COMERCIO Y UTILIDAD

σ^Y	Elasticidad de sustitución entre Inputs materiales y Energía-Capital-Trabajo	0
σ^{KEI}	Elasticidad de sustitución entre Energía y Capital-Trabajo	0,5
σ^{KI}	Elasticidad de sustitución entre Capital-Trabajo	1
σ^E	Elasticidad de sustitución entre Electricidad y Combustibles Fósiles	0,5
σ^{E1}	Elasticidad de sustitución entre Carbón, Petróleo y Gas Natural	1
σ^{E2}	Elasticidad de sustitución entre Gas Natural y Carbón-Petróleo (Sector Electricidad)	0,3
σ^A	Elasticidad de sustitución entre bienes domésticos e importados	3
σ^T	Elasticidad de transformación entre bienes domésticos y exportaciones	2
σ^U	Elasticidad de sustitución entre utilidades intertemporales	0,5
σ^C	Elasticidad de sustitución entre consumo de bienes energéticos y no energéticos	0,5
σ^F	Elasticidad de sustitución en el consumo entre bienes energéticos	
σ^G	Elasticidad de sustitución en el consumo entre bienes no energéticos	1
σ^P	Elasticidad de sustitución entre producción/consumo total y emisiones de proceso	0,08

Fuente: Modelo MIT-EPPA (Babiker *et al.* 2001).

3.3 DATOS MEDIO AMBIENTE

3.3.1 EMISIONES ACTUALES

Las gases de efecto invernadero considerados en el modelo son las emisiones sujetas a control por el Protocolo de Kyoto: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), monóxido de nitrógeno (N_2O), hexafluoro de azufre (SF_6), y los compuestos hidrogenofluorcarbonados (HFC) y polifluorcarbonados (PFC).

Por razones de simplificación, hemos agrupado las emisiones en dos bloques; emisiones de combustión y emisiones de proceso. Las emisiones de combustión comprenden aquellas emisiones originadas por la quema de combustibles fósiles y las de proceso agrupan a todas las restantes. Para poder agregarlas hemos convertido todas las emisiones a CO_2 equivalente según su grado de contribución al cambio climático¹.

¹ Índices de Contribución al Cambio Climático (GWP): CO_4 (1), CH_4 (21), NO_2 (310), SF_4 (23.900), HFC (3.400), PF_6 (6.200); IPCC (2001).

Las emisiones combustión se forman mediante la quema de carbón, petróleo y gas natural. En este proceso químico, las moléculas de carbono se unen al oxígeno formando CO₂ y liberando energía. Las emisiones de estos combustibles son directamente proporcionales a su contenido de carbono, y pueden ser representadas a través de unos coeficientes de emisión específicos para cada combustible e iguales para todos los sectores (ver tabla A3.4). Estos coeficientes necesitan sin embargo ser ajustados para tener en cuenta que, en algunos sectores, el uso de combustibles fósiles no está destinado íntegramente a la combustión (i.e. sector químico, plástico, caucho, etc.). En los apéndices se explica de forma detallada el método utilizado para el cálculo de los coeficientes de emisión utilizados en el modelo.

Las emisiones de proceso comprenden las emisiones originadas en procesos diversos, siendo difícil establecer una unión directa a un input, por lo que es necesario asociarlas al output. Las emisiones de proceso se calculan como la diferencia entre las emisiones sectoriales de combustión y las emisiones sectoriales totales. Los datos sobre emisiones totales provienen de las Cuentas Ambientales del Instituto Nacional de Estadística (INE 2002b). Para calcular, finalmente, los coeficientes de emisión de proceso dividiremos las emisiones de proceso por la producción de cada sector.

La tabla 3.6 recoge, expresadas en términos absolutos y relativos, las emisiones desagregadas sectorialmente. Las emisiones totales en el año 1995 alcanzan las 325 miles de toneladas de CO₂ equivalente, de las cuales 232 provienen de la combustión y 93 de proceso. Estas emisiones suponen un aumento del 12 por ciento respecto a las emisiones del año de referencia 1990.

Entre las emisiones de combustión, los sectores más representativos son el sector Eléctrico, con un 22 por ciento del total, y el sector Otras industrias, con un 20 por ciento sobre el total. Este último sector agrupa todos los sectores industriales no desagregados, entre los cuales destacan por sus emisiones el sector del cemento y del vidrio. Es considerable también la contribución del sector privado o residencial, con un 15 por ciento de las emisiones, y de la Industria metálica y química, con un 8 y un 7 por ciento, respectivamente.

Entre las emisiones de proceso la mayor aportación la realiza el sector Agrícola, en su mayoría emisiones procedentes del metano, con un 51 por ciento del total. También un importante peso recae sobre la Industria del refino de petróleo, con un 11 por ciento y, por último, sobre el sector Eléctrico y el sector Servicios comerciales, ambos con un 8 por ciento sobre el total.

TABLA 3.5

EMISIONES COMBUSTIÓN Y PROCESO 1995 A PARTIR DE LA SAM Y LOS COEFICIENTES

	COMBUSTIÓN	(%)	PROCESO	(%)
1. Agricultura	12.727	(5,5%)	47.817	(1,3%)
2. Extracciones carboneras	315	(0,1%)	1.103	(1,2%)
3. Extracción crudo y gas	165	(0,1%)	15	(0,0%)
4. Extracción otros minerales	364	(0,2%)	18	(0,0%)
5. Industria alimentos	5.602	(2,4%)	416	(0,4%)
6. Industria textil y cuero	1.683	(0,7%)	565	(11,2%)
7. Industria madera y papel	3.828	(1,6%)	845	(0,9%)
8. Industria refino petróleo	655	(0,3%)	10.460	(11,2%)
9. Industria química	16.089	(6,9%)	3.792	(4,1%)
10. Industria metálica	19.104	(8,2%)	4.353	(4,7%)
11. Industria maquinaria	2.494	(1,1%)	622	(0,7%)
12. Otras industrias	48.487	(20,9%)	392	(0,4%)
13. Electricidad	52.732	(22,7%)	7.787	(8,4%)
14. Gas natural	722	(0,3%)	557	(0,6%)
15. Distribución agua	378	(0,2%)	111	(0,1%)
16. Construcción	3.199	(1,4%)	500	(0,5%)
17. Transporte terrestre	11.629	(5,0%)	6	(0,0%)
18. Transporte marítimo	3.166	(1,4%)	85	(0,1%)
19. Transporte aéreo	4.019	(1,7%)	73	(0,1%)
20. Anexos del transporte	1.035	(0,4%)	61	(0,1%)
21. Servicios comerciales	5.780	(2,5%)	1.758	(1,9%)
22. Servicios no comerciales	2.334	(1,0%)	7.462	(8,0%)
Privado	35.678	(15,4%)	4.254	(4,6%)
Total	23.181	(100%)	93.053	(100%)

Unidades: miles de toneladas de CO₂ equivalente.

■ 3.3.2 EMISIONES FUTURAS

La estimación de las emisiones futuras es un aspecto clave. En nuestro caso, éstas dependen del grado de crecimiento económico y del nivel de desarrollo tecnológico futuro. Para capturar el progreso tecnológico utilizamos un parámetro exógeno, que aquí hemos

llamado «eficiencia» (φ), y que sirve para estimar los cambios futuros en la intensidad contaminadora de GEI. Este parámetro exógeno ajustará a través de los coeficientes de emisión las emisiones en cada uno de los periodos.

La evolución de las emisiones de GEI en España para el periodo 1990-2005 queda recogida en la tabla 3.6. El crecimiento anual medio de las emisiones de combustión y de proceso es de un 3,1 y 1,9 por ciento, respectivamente. El crecimiento anual medio del PIB, para este mismo periodo, fue de un 2,6 por ciento (ver tabla 3.3); lo que supone que la eficiencia media anual, en combustión y proceso, fue -0,5 y +0,7, respectivamente. Esto ilustra un desacople relativo entre actividad económica y emisiones de proceso, pero no entre actividad económica y emisiones de combustión. La diferencia entre en ambos tipos de emisiones, es la razón que nos ha llevado a separar el parámetro de eficiencia en dos partes.

TABLA 3.6

TASAS DE CRECIMIENTO MEDIO ANUAL DE LAS EMISIONES PERIODO 1990-2005

	1990-1995	1995-2000	2000-2005	1990-2005
Emisiones combustión	2,4	4,1	2,9	3,1
Emisiones proceso	1,7	3,9	0,0	1,9

Fuente: INE 2002b.

La literatura (Grubb et al. 1993) asigna generalmente al parámetro eficiencia (AEEI) un valor que oscila entre 1-1,5%, según estudios y regiones. Suponemos que la eficiencia en España también convergerá gradualmente hacia estas magnitudes. La eficiencia de combustión (φ^c) y de proceso (φ^p) aumentará gradualmente, y siguiendo una función logística (ecuación 3.1), desde -0,5 y 0,7 en el periodo 1995-2005, hasta converger a 1 y 1,5 en 2030-2050. La figura 3.2 muestra los cambios en los valores de los parámetros de eficiencia según este supuesto *ad-hoc*.

$$\varphi = \varphi_{2030} \cdot \frac{1}{1 + (\varphi_{2030} / \varphi_{1995} - 1) \cdot e^{-t}} \quad [1]$$

La figura 3.3 muestra las emisiones futuras según las estimaciones hechas para el crecimiento económico y la eficiencia. Las emisiones de combustión muestran un crecimiento más intenso que las de proceso, y alcanzan ambas sumadas un valor cercano a las 719 mil toneladas de CO₂ equivalente para el año 2050.

FIGURA 3.2

PROYECCIONES ECOEFICIENCIA

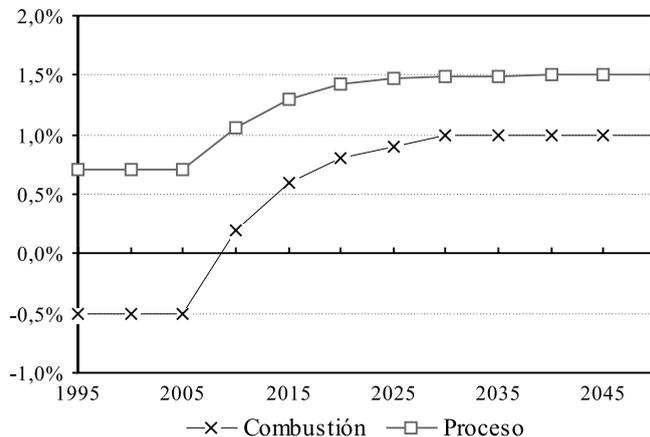
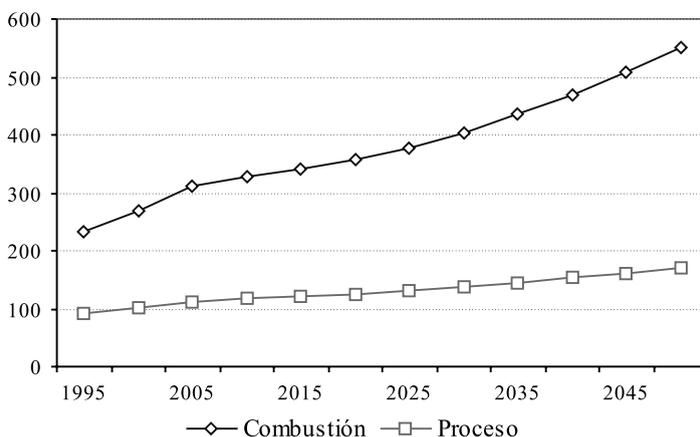


FIGURA 3.3

PROYECCIÓN EMISIONES GEIs

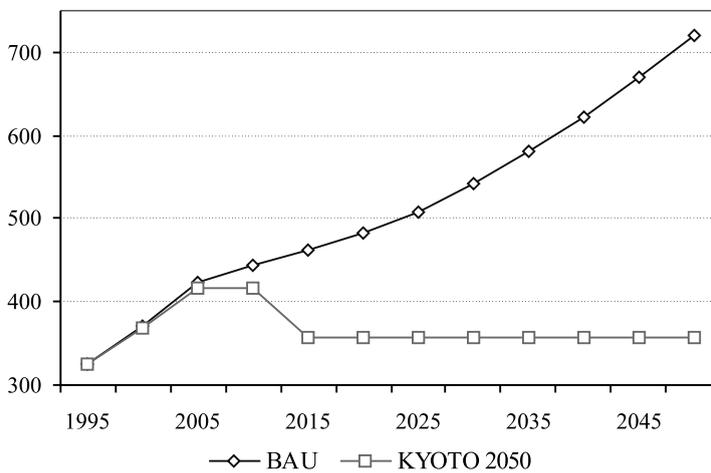


3.4 DATOS POLÍTICA

Una política o escenario queda definida mediante la especificación del i) nivel de reducción de las emisiones y ii) los plazos de cumplimiento. El escenario político básico que analizaremos se basará en una extensión de los acuerdos adquiridos por España en el Protocolo de Kyoto hasta el año 2050 o escenario «*Kyoto 2050*».

El escenario *Kyoto 2050* supone realmente dos objetivos 1) reducir las emisiones hasta los niveles acordados en Kyoto para el año 2008-2012 y, posteriormente, 2) mantener estas emisiones en esos niveles hasta el año 2050. La figura 3.4 muestra el desarrollo de las emisiones totales en las proyecciones o *escenario BAU* y en el escenario *Kyoto 2050*.

FIGURA 3.4

EMISIONES TOTALES *ESCENARIO BAU* VS. *KYOTO 2050*

Apéndice 2

LAS MATRICES DE CONTABILIDAD SOCIAL

Una Matriz de Contabilidad Social recoge en un único cuadro y para un determinado periodo de referencia los flujos de bienes, servicios y renta que se producen entre los diferentes agentes de una economía. Una SAM puede entenderse como una extensión de la Tablas Input-Output en la que se cierra el flujo circular de la renta. En la tabla A3.2 se presenta el esquema simplificado de una SAM.

TABLA A3.2

UNA MATRIZ DE CONTABILIDAD SOCIAL O SAM ESQUEMÁTICA

	BIENES	PRODUCTORES	CONSUMIDORES	TOTAL
Bienes		<i>Inputs</i>	<i>Consumo</i>	<i>Demanda</i>
Productores	<i>Outputs</i>			<i>Ingreso</i>
Consumidores	<i>Dotaciones</i>		<i>Transferencias</i>	<i>Renta</i>
Total	<i>Oferta</i>	<i>Gasto</i>	<i>Gasto</i>	

Fuente: Dellink (2005).

Generalmente estas matrices se construyen para ser utilizadas en aplicaciones concretas por lo que suelen existir variaciones en su formato y en el nivel de desagregación entre sectores, consumidores, impuestos, etc. La SAM construida en esta tesis se ajusta a las necesidades propias de calibración del modelo y presenta las siguientes características:

1) Los sectores y los productos son homogéneos; cada sector produce un único producto y cada producto es producido por un único sector.

2) Por motivos de simplificación no se incluyen los autoconsumos intermedios. Las importaciones, habitualmente representadas en filas, aparecen en forma de columnas al lado de las exportaciones. De esta forma, las filas y las columnas de la SAM suman cero en el equilibrio. Esta forma de presentar los datos es cómoda ya que a) permite identificar los inputs y outputs en función del signo y, además, b) refleja las 3 condiciones básicas que debe cumplir un MEGA: cada columna de los productores debe sumar cero (condición de beneficio cero), cada fila de los productores de sumar cero (condición de vaciado de mercado) y la columna para los consumidores y el gobierno también debe sumar cero (condición de balance de presupuesto).

3) Se consideran tres tipos de impuestos: impuestos sobre el capital (taxk), sobre el trabajo (taxl) y sobre el consumo (taxc). En la SAM, los impuestos sobre el trabajo com-

prenden las cotizaciones a la seguridad social; los del capital comprenden los impuestos netos sobre la producción; y, por último, los del consumo comprenden los impuestos netos sobre los productos, que incluyen las recaudaciones por el IVA.

4) El flujo de la renta se cierra suponiendo que el déficit del gobierno es cero: para ello se realizan transferencias (taxls) entre los consumidores y el gobierno, por el valor de la diferencia existente entre el ingreso de los impuestos y el gasto público. La inversión y el déficit/superávit en el comercio con el Resto del Mundo son financiadas mediante el ahorro de los consumidores.

5) Una hipótesis habitual en la calibración de un MEGA dinámico es suponer que la economía se encuentra inicialmente en el estado estacionario. Para ello es necesario recalcular el total de las inversiones de la SAM siguiendo la ecuación 2 (Dellink 2005). La columna de inversión mantiene las mismas proporciones de la SAM original y los desajustes se corrigen a través de la columna de los consumidores.

$$I = \left(\frac{g + \delta}{r + \delta} \right) \cdot K_{SAM} \quad [2]$$

6) El estudio no contempla un análisis de distribución de los impactos económicos por lo que mantenemos un único consumidor representativo sin desagregar.

La Tabla A3.3a presenta un esquema de la SAM según las características arriba mencionadas. Este esquema se puede desagregar para el número de sectores que fuese necesario. Para simplificar hemos unido todos los impuestos en una única fila. La Tabla A3.3b presenta el mismo esquema pero incluye la notación utilizada en el modelo.

TABLA A3.3b

SAM CON LA NOTACIÓN DEL MODELO

	Y1	Yj	M	X	PRIVADO	GOBIERNO	INVERSIÓN	SUMA FILAS
Y1	$-Y_1$	$-Y_{1,j}^{ID}$	$-M_1$	$-X_1$	$-C_1$	$-G_1$	$-I_1$	0
Yj	$-Y_{j,1}^{ID}$	Y_j	$-M_j$	$-X_j$	$-C_j$	$-G_j$	$-I_j$	0
L	$-L_1$	$-L_j$			\bar{L}			0
K	$-K_1$	$-K_j$			K			0
Taxl	$-\tau_1^L \cdot L_1$	$-\tau_j^L \cdot L_j$				$\sum_{j=1}^J \tau_j^L \cdot L_j$		0
Taxk	$-\tau_1^K \cdot K_1$	$-\tau_j^K \cdot K_j$				$\sum_{j=1}^J \tau_j^K \cdot K_j$		0
Taxc						$-\sum_{j=1}^J \tau_j^C \cdot C_j$	$\sum_{j=1}^J \tau_j^C \cdot C_j$	0
Taxlst					$-T$	T		0
Ahorro					$-S$		$\sum_{j=1}^J I_j$	0
Balance			$-\sum_{j=1}^J M_j$	$\sum_{j=1}^J X_j$	XD			0
Suma	0	0	0	0	0	0	0	

Apéndice 3

INTEGRACIÓN DE DATOS ENERGÉTICOS EN LA TABLA INPUT-OUTPUT

La calibración de los sectores/bienes energéticos es importante en este análisis. La estructura de la demanda de los bienes energéticos debe reflejar fielmente la realidad, y para ello nos encontramos con dos problemas;

- Las tablas Input-Output se publican generalmente en valores monetarios, sin la información necesaria para poder separar entre unidades físicas y precios. Esto, que es frecuente en las cuentas económicas con un gran nivel de agregación, nos impide conocer el consumo energético subyacente en la TIO.

- b) Algunos sectores aparecen mezclados junto con otros. Dos sectores fundamentales, el sector Refino de petróleo y el sector Gas natural, están mezclados con otros productos. Los productos petrolíferos aparecen junto con el tratamiento de combustibles nucleares, y el Gas Natural con el suministro de agua caliente y de vapor de agua.

Para solucionar estos problemas, y mejorar la calibración, hemos elegido la siguiente opción: hemos integrado en la TIO unas nuevas filas de demanda de los productos energéticos que han sido calculadas a partir de los datos físicos y los precios provenientes de los balances energéticos. De esta manera mantenemos, básicamente, la estructura general de la economía de la Tabla Input-Output y además obtenemos una información más precisa sobre los usos energéticos. Esta integración de datos se ha realizado para el crudo, el carbón, el petróleo, el gas natural y la electricidad. El método seguido es el utilizado en Rutherford y Paltsev (2000) para ampliar la base de datos GTAP con productos energéticos, y que a continuación describimos en tres sencillos pasos:

1. En primer lugar, multiplicamos los valores físicos de consumo intermedio, consumo final, importaciones y exportaciones obtenidos de los balances energéticos (Eurostat 2005) por los precios para cada energía, para así obtener unas nuevas filas de demanda energética para el crudo, carbón, gas natural y electricidad.
2. Sustituimos las filas de demanda antiguas por las nuevas en la TIO.
3. Finalmente, eliminamos los desajustes introducidos entre oferta y demanda sectorial mediante un método de minimización de errores. En nuestro caso minimizamos la suma total del cuadro de la diferencia (MCO) entre los coeficientes técnicos de la antigua tabla y la nueva, manteniendo fijos los ceros iniciales de la tabla input-output y los valores de las nuevas filas de demanda energética.

El resultado es una nueva TIO energética en donde las filas de los sectores energéticos han sido recalculadas con los datos físicos sobre consumo y precios, sin productos mezclados, y donde la oferta y la demanda de cada sector está en equilibrio.

Apéndice 4

METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE EMISIÓN

En este apartado recogemos el método utilizado para el cálculo de los coeficientes de emisiones de combustión y proceso.

- a) Los coeficientes de combustión utilizados son los habituales (Eurostat 1991), y quedan recogidos en la tabla A3.4. Aunque estos coeficientes son idénticos para todos los sectores, necesitan de alguna transformación previa para poder ser utilizados en el modelo;

1. Algunos sectores usan combustibles fósiles con fines distintos a la combustión, información que está disponible junto con los balances energéticos (Eurostat 2005). La industria química, por ejemplo, quema únicamente un 65% del petróleo total que consume (ver tabla A3.4), el resto lo utiliza para otros fines.
2. Los coeficientes están expresados en unidades físicas (tCO₂ eq. / Ktep) siendo necesario transformarlos a unidades monetarias (tCO₂ eq. / M.€). Para hacer esta transformación basta con multiplicar los coeficientes en unidades físicas por los precios de cada combustibles (tabla A3.5)
3. Los coeficientes así calculados estiman unas emisiones de combustión para el año base de 232 mil toneladas. Los datos oficiales (INE 2002a) para ese año son de 248; esta diferencia (6%) es normal teniendo en cuenta las simplificaciones hechas por este método de cálculo.

b) Una vez que conocemos las emisiones de combustión por sectores, y que conocemos las emisiones totales por sectores a partir de los inventarios oficiales (INE 2002b), podemos calcular las emisiones de proceso como la diferencia entre ambas. Los coeficientes de proceso, recogidos en la tabla A3.6, se obtienen dividiendo las emisiones de proceso (CO₂ equivalente) por la producción de cada sector.

TABLA A3.4

COEFICIENTES DE EMISIÓN EN LA COMBUSTIÓN

	CARBÓN	PETRÓLEO	GAS
(Ton Co ₂ Eq. / Ktep) ¹	4,104	2,851	2,187
Industria Química ²	69%	65%	38%
Industria ²	-	75%	-

Fuentes: (Eurostat 1991)¹, (Eurostat 2005)².

TABLA A3.5

PRECIO DE LA ENERGÍA EN ESPAÑA 1995 (Millones Euro/Ktep)

	CRUDO ¹	CARBÓN ²	PETRÓLEO ¹	GAS ³	ELECTRICIDAD ³
Productores	0,108	0,105	0,265	0,219	0,763
Consumidores	-	-	0,662	0,472	1,135

Fuentes: (IEA 1998)¹, (MITYC 2001)² y (Eurostat 2005)³; valor medio productos representativos.

TABLA A3.1 (continuación)

SAM ENERGÉTICA PARA ESPAÑA 1995 (millones de euros)

	Y15	Y16	Y17	Y18	Y19	Y20	Y21	Y22	Import.	Export.	Privado	Gobierno	Inversión	Total
Y1	-1	-182	0	-4	0	0	-1.159	-142	5.563	-5.973	-4.358	0	-241	0
Y2	0	-3	0	0	0	0	-4	-5	213	-706	-40	0	0	0
Y3	0	-1	-85	0	0	-5	0	4.809	-8	0	0	0	0	0
Y4	0	-575	0	0	0	0	-8	-15	971	-319	-18	0	0	0
Y5	0	0	0	-29	0	0	-13.439	-456	6.481	-6.050	-27.438	0	0	0
Y6	-8	-51	-9	-9	-17	-23	-653	-386	4.694	-4.781	-9.684	0	-129	0
Y7	-28	-1.562	-43	-3	-17	-305	-3.573	-1.107	4.056	-2.877	-3.415	0	-51	0
Y8	-11	-92	-353	-96	-122	-30	-152	-53	1.715	-1.787	-2.991	0	0	0
Y9	-104	-1.972	-62	-7	-1	-248	-1.677	-2.466	13.493	-10.081	-2.935	-2.612	-75	0
Y10	-46	-5.330	-21	0	-3	-131	-408	-175	7.611	-6.739	-41	0	-3.169	0
Y11	-63	-2.945	-77	-3	-9	-242	-1.370	-1.832	19.000	-11.811	-3.744	-69	-21.143	0
Y12	-22	-9.275	-701	-117	-57	-248	-3.083	-941	16.584	-25.791	-10.236	-23	-12.995	0
Y13	-199	-218	-261	-4	-5	-174	-1.583	-771	130	-23	-4.287	0	0	0
Y14	-1	-1	-3	-1	-1	-3	-34	-19	855	0	-413	0	0	0
Y15	-2.457	-14	-8	0	0	-10	-469	-210	0	0	-1.096	0	0	0
Y16	-82	100.059	-152	-8	-14	-108	-8.408	-1.353	1	-11	-8.186	0	-80.889	0
Y17	-10	-1.438	21.818	-16	-53	-882	-2.567	-489	189	-2.001	-5.394	-206	-267	0
Y18	-8	-17	-19	1.583	-1	-17	-103	-32	21	-926	-139	-14	-15	0
Y19	-4	-96	-5	0	3.320	-350	-619	-180	998	-1.863	-646	-95	0	0
Y20	-50	-546	-1.160	-417	-923	20.395	-5.092	-1.314	1.502	-1.934	-5.752	-71	0	0
Y21	-247	-8.794	-2.988	-101	-417	-2.049	219.791	-6.429	7.128	-11.010	-145.537	-4.117	-21.593	0
Y22	-20	-165	-39	0	-6	-235	-790	91.005	109	-126	-13.888	-74.680	0	0
K	-617	-11.181	-7.909	-78	-469	-8.494	-87.231	-12.501	0	0	181.910	0	0	0
L	-764	-50.667	-5.348	-571	-930	-4.992	-68.851	-44.308	0	0	234.272	0	0	0
Taxk	2	-1.132	-1.085	-2	-6	-231	-6.109	-2.783	0	0	0	10.759	0	0
Taxl	-174	-3.802	-1.490	-117	-269	-1.618	-12.409	-13.038	0	0	0	44.445	0	0
Taxc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-23.123	23.123	0	0
Taxls	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3.560	3.560	0	0
Ahorro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-140.567	0	140.567	0
Balance	0	0	0	0	0	0	0	0	-96.123	94.817	1.306	0	0	0

4.1 INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los problemas ambientales que más preocupan a la comunidad científica. Los modelos climáticos muestran que, si continúa la tendencia, la temperatura media del planeta aumentará para finales del siglo XXI entre 1,8 y 4 grados centígrados, y aunque algunas partes del planeta puedan beneficiarse de pequeños aumentos, los incrementos esperados provocarían efectos ambientales y económicos adversos en casi todas las partes del planeta (IPCC 2007). Una de las medidas principales para controlar el cambio climático es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs).

El Protocolo de Kyoto (UN 1997) es un compromiso internacional ratificado en 2002 que pretende reducir las emisiones de GEIs. En este acuerdo los países industrializados acordaron estabilizar sus emisiones conjuntas en un 5,2% (respecto a las emisiones de 1990) para el periodo 2008-2012.

España se comprometió a no aumentar sus emisiones en más de un 15% respecto a 1990, pero en el año 2005 éstas ya habían crecido un 55%, convirtiéndose así en el país europeo que más lejos se encuentra de alcanzar sus objetivos. Esta situación hace difícil el que España pueda cumplir el Protocolo en España y también nos plantea la importante pregunta sobre cuál será el coste económico de alcanzar los objetivos.

Los estudios sobre el impacto económico de la reducción de GEIs son abundantes en la literatura internacional y han sido aplicados a diferentes regiones y países utilizando diferentes tipos de modelos. En el caso de España las investigaciones son hasta la fecha bastante limitadas.

Ocaña (2004) realizó una primera aproximación a la estimación de los costes de mitigación mediante un estudio que utilizaba los precios estimados por modelos globales para valorar el déficit en España entre las emisiones futuras previstas y los objetivos de Kyoto. Labandeira y Rodríguez (2004) analizaron los efectos de una reducción rápida del CO₂ utilizando un modelo de equilibrio general estático en el que los precios son considerados endógenamente, donde existen posibilidades de sustitución tecnológica y donde, por primera vez, se han tenido en cuenta los importantes efectos indirectos intersectoriales que generan este tipo de políticas. Sus autores estiman que en el corto plazo y por cada reducción de un 2% en las emisiones de CO₂ el PIB podría contraerse un 0.2%. También existen otros trabajos como Manresa y Sancho (2004) o Gómez et al (2004) que, aunque están

centrados en el análisis de reformas fiscales y en la hipótesis del doble dividendo, también permiten una aproximación a los impactos económicos ya que en ambos casos se analizan los efectos de la introducción de un impuesto sobre el CO₂.

Este capítulo nos va a permitir contribuir en esta línea investigación mediante un análisis del coste de reducción de las emisiones en largo plazo. La política sobre cambio climático se extenderá durante muchas décadas por lo que tener una óptica de largo plazo es importante. Además este tipo de análisis podrá contrastarse con otros estudios sobre los beneficios económicos de reducir las emisiones (evitar los daños del cambio climático) que lógicamente también se producirán en el largo plazo. Esto nos permitirá avanzar hacia un análisis coste-beneficio de las políticas de cambio climático.

El escenario político básico analizado está basado en una extensión de los acuerdos adquiridos por España en el *Protocolo de Kyoto* hasta el año 2050; es decir planteamos un escenario, que llamamos «*Kyoto 2050*», que supone reducir y estabilizar las emisiones para el periodo 2008-2012 y hasta 2050 de forma que éstas no superen en un 15% las emisiones del año de referencia 1990.

Para ello se utilizará el modelo presentado en el Capítulo 2 y los datos descritos en el Capítulo 3. El modelo DANTE es un MEGA dinámico tipo Ramsey, que considera todas las emisiones de GEIs y en el que los flujos energéticos están considerados de una manera detallada. La política es introducida a través de un mercado de permisos perfecto que permite obtener soluciones eficientes y que, por lo tanto, nos va permitir aproximarnos a los costes de mitigación mínimos.

El capítulo se ordena de la siguiente manera: en la sección 4.1 describimos las proyecciones del modelo a 2050, *escenario BAU*, y lo comparamos, en la sección 4.2, con los resultados del *escenario Kyoto 2050*; la diferencia entre ambos será atribuible al efecto ocasionado por el control de las emisiones. En la sección 4.3, hacemos un análisis de la robustez de los resultados mediante un análisis de sensibilidad de los parámetros claves. Por último, presentamos las conclusiones obtenidas a lo largo de todo el análisis.

4.2 PROYECCIONES *ESCENARIO BAU*

El *escenario BAU* o «Business as Usual» representa una situación en donde no existe un control sobre las emisiones (*laissez faire*). En este escenario las emisiones evolucionan al ritmo marcado por el crecimiento económico.

En la tabla 4.1 recogemos las proyecciones del modelo para en este escenario y hasta el año 2050. Los datos obtenidos para el año base (1995) a través del modelo coinciden con los datos extraídos de la SAM (capítulo 3); si esto no fuera así significaría que el

TABLA 4.1

PROYECCIONES DEL MODELO PARA EL ESCENARIO BAU

	1995	2010	2030	2050
<i>Macroeconomía (miles de millones de Euros)</i>				
PIB	495	716	1.174	1.923
Producción	707	1.024	1.678	2.750
Consumo Privado	250	362	594	973
Inversión	141	204	334	547
<i>Comercio Internacional (miles de millones de Euros)</i>				
Importaciones	96	139	228	374
Exportaciones	95	137	225	369
<i>Sectores (miles de millones de Euros)</i>				
Producción sector Agricultura ¹	27	39	64	104
Producción sector Industria	322	467	765	1.254
Producción sector Servicios	358	518	849	1.392
Consumo bienes Agricultura	4	6	10	17
Consumo bienes Industria	75	108	177	290
Consumo bienes Servicios	171	248	407	666
<i>Consumo Energético² (Mtep: millones de toneladas equivalentes de petróleo)</i>				
Consumo energía Total	66	96	157	256
Consumo energía Productores	55	79	130	212
Consumo energía Consumidores	11	16	27	44
<i>Emisiones de Efecto Invernadero (miles de toneladas de CO₂ equivalente)</i>				
Emisiones Totales	325	445	542	719
Emisiones Combustión	232	328	405	549
Emisiones Proceso	93	117	137	170
Precio Permisos (euro/ton. CO ₂ eq.)	0	0	0	0
<i>Precios (precios índice 1995 = 1)</i>				
Índice general de precios	1,00	1,00	1,00	1,00
Precio del Capital	1,00	1,00	1,00	1,00
Precio del Trabajo	1,00	1,00	1,00	1,00
Precio Tipo de cambio	1,00	1,00	1,00	1,00
<i>Variables de cierre modelo (miles de millones de Euros)</i>				
Consumo del gobierno	82	119	194	318
Balance Comercio Internacional	-1	-2	-3	-5

¹ Los 22 sectores están agrupados en tres: Agricultura (1), Industria (2 a 16) y Servicios (17 a 22).

² El consumo de Energía comprende el consumo de carbón, petróleo, gas natural y electricidad.

proceso de calibración no es correcto. Las variables en este escenario crecen a un ritmo constante marcado por una tasa de crecimiento económico de un 2,5%.

Las emisiones, sin embargo, crecen a una tasa menor. Esto se debe a las mejoras tecnológicas en eficiencia de GEIs consideradas en el modelo a través de los parámetros de ecoeficiencia de combustión y proceso (ver capítulo 3). Las emisiones totales crecen a una media anual de 1,8%, siendo las emisiones totales en el año 2050 de 719 kT de CO₂ equivalente.

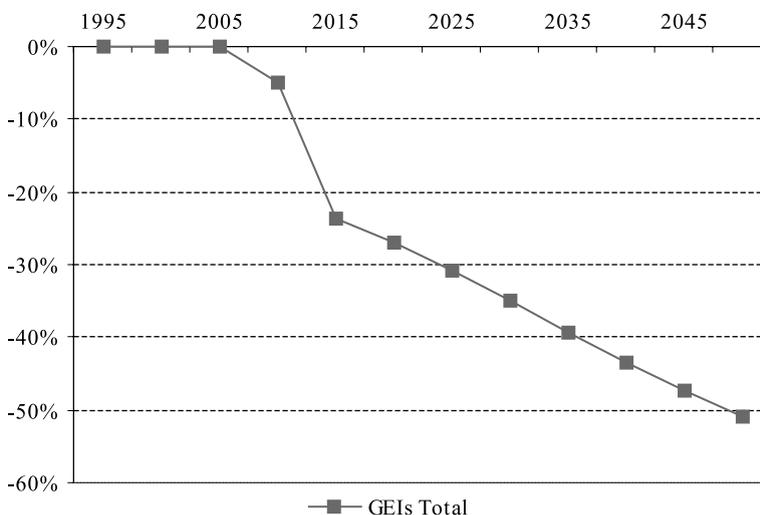
Una SAM no suele distinguir entre precios y cantidades. Lo más habitual, por ello, es que todos los precios inicialmente sean considerados iguales a la unidad (convención Harberger), y establecer posteriormente un bien numerario para poder calcular precios relativos. El índice general de precios de los bienes de consumo nos va a servir como referencia. La excepción a esta norma es el precio de los permisos de emisiones; como las emisiones no están restringidas en el *escenario BAU* su precio inicial será cero, ya que al no haber escasez en los permisos tampoco hay precio de mercado.

4.3 RESULTADOS *ESCENARIO KYOTO 2050*

La figura 4.1 muestra los objetivos y los plazos de reducción del *escenario Kyoto 2050* respecto a las proyecciones del *escenario BAU*.

FIGURA 4.1

VARIACIÓN EMISIONES *ESCENARIO KYOTO 2050* RESPECTO AL *ESCENARIO BAU*



En el periodo 1995-2005 no existía todavía un control sobre las emisiones y, por lo tanto, tampoco existe diferencia entre escenarios. En el periodo 2005-2010 el objetivo establecido por el Plan de Nacional de Asignación del Ministerio de Medio Ambiente (PNA 2005) era no superar las emisiones del año 2005 y, como las emisiones en el *escenario BAU* siguen creciendo, estabilizarlas supone un esfuerzo de reducción total aproximado de un 9%.

El mayor esfuerzo de reducción se dará en el periodo 2010-2015. En este periodo el objetivo es reducir las emisiones hasta los niveles de Kyoto, lo que supone una reducción efectiva cercana al 20%. Una vez alcanzado el límite de Kyoto, el objetivo será mantener el nivel, por lo que únicamente será necesario reducir las emisiones derivadas del crecimiento económico. Esto supone que en el periodo 2015-2050 la reducción será constante y se situará entre un 4 y un 5% por quinquenio.

Los resultados se presentarán generalmente de forma relativa respecto a las proyecciones del *escenario BAU*. Esta es una forma usual de hacer experimentos controlados en economía; el *escenario BAU* representa la trayectoria del sistema, y el *escenario Kyoto 2050* la trayectoria con una restricción en las emisiones; la diferencia entre ambos será atribuible, *caeteris paribus*, al efecto inducido por el control de la contaminación.

Los ingresos obtenidos por el gobierno, procedentes de la venta de los permisos de emisión, son canalizados mediante transferencias a los consumidores. Estas transferencias permiten que el gasto público del escenario Kyoto sea en todo momento idéntico al *escenario BAU*, y que la política sea neutral en cuanto a la recaudación fiscal facilitando así la comparación. Esto no quiere decir que el gasto público deba ser constante, únicamente quiere decir que variará en función del nivel de crecimiento económico. Por último, para cerrar el modelo con el exterior, hemos supuesto que el déficit comercial crecerá al ritmo del crecimiento económico.

El análisis de resultados se va a dividir en varios bloques. En primer lugar, se presenta una visión general de los resultados agregados en variables macroeconómicas. Después, estos resultados se presentan desagregados por sectores económicos, para mostrar así los impactos en la producción, el consumo, los precios y el comercio internacional. También se presta una especial atención a los impactos sobre el consumo energético y sobre la evolución de las emisiones de combustión y proceso.

■ 4.3.1 RESULTADOS GENERALES

Los resultados generales del escenario Kyoto están recogidos en la tabla 4.2. Todas las variables macroeconómicas acaban finalmente siendo inferiores a las del *escenario BAU*, lo que sugiere algo trivial pero importante: reducir las emisiones supone finalmente un coste económico.

Un buen indicador del coste económico es conocer los cambios en términos de utilidad, siendo la utilidad total una agregación de la utilidad descontada para cada uno de los periodos. La utilidad por periodo muestra un crecimiento al inicio que disminuye progresivamente, alcanzando en los últimos periodos una reducción de un 0,99%. La utilidad total (variación equivalente hickisiana) supone una reducción de un 0,31% para el periodo 1995-2050.

El Producto Interior Bruto (PIB) disminuye también ligeramente en los primeros periodos y más intensamente los últimos. Los niveles de PIB en el largo plazo serán aproximadamente un 1,2% inferiores a los mostrados por las proyecciones. La explicación a esta trayectoria hay que buscarla en el comportamiento conjunto del consumo y la inversión. El consumo aumenta inicialmente y es superior que en el *escenario BAU* hasta el año 2025, pero a partir de aquí disminuye a una tasa mayor cuanto más se aleja en el tiempo, alcanzando en 2050 una reducción del 0,77%. La inversión, por su parte, sigue una senda más lineal pero también decreciente en todos los periodos y alcanzando una reducción final del 2,55%.

Este comportamiento nos indica que los consumidores están anticipando la política ambiental. Los consumidores son racionales y tienen expectativas perfectas, conocen tanto los precios como las asignaciones futuras de los recursos, y ajustan su comportamiento con vistas a maximizar su utilidad total. Una elección óptima entre consumo presente y futuro les lleva a desplazar más consumo a los primeros periodos, donde genera una mayor utilidad, destinándose así menos a la inversión. Este fenómeno se puede observar en la figura 4.2.

FIGURA 4.2

VARIACIÓN CONSUMO, INVERSIÓN Y PIB EN EL *ESCENARIO KYOTO 2050* RESPECTO AL *ESCENARIO BAU*

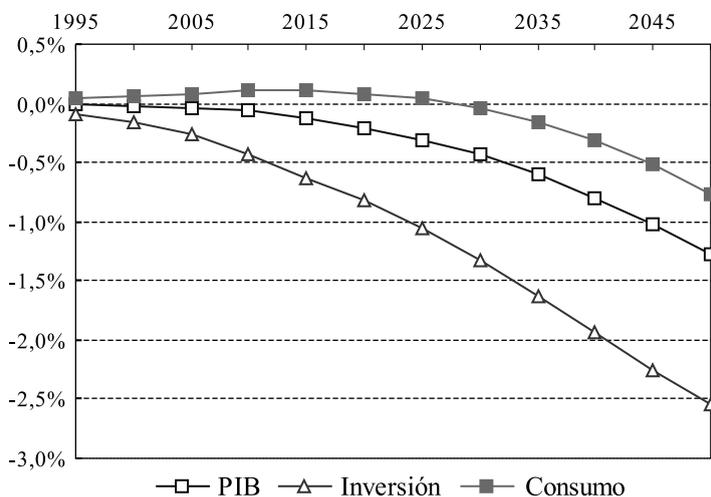


TABLA 4.2

RESULTADOS GENERALES ESCENARIO KYOTO 2050 RESPECTO AL ESCENARIO BAU

	1995	2010	2030	2050
<i>Macroeconomía (% variación cantidades)</i>				
Utilidad	0,04	0,10	-0,10	-0,99
PIB	0,00	-0,06	-0,44	-1,27
Consumo Privado	0,04	0,10	-0,04	-0,77
Inversión	-0,10	-0,43	-1,31	-2,55
<i>Comercio Internacional (% variación cantidades)</i>				
Importaciones	-0,02	-0,15	-4,20	-9,71
Exportaciones	-0,02	-0,15	-4,26	-9,84
<i>Sectores (% variación cantidades)</i>				
Producción sector Agricultura ¹	0,03	0,06	-0,83	-2,61
Producción sector Industria	-0,03	-0,18	-1,75	-3,83
Producción sector Servicios	0,01	0,00	-0,24	-0,83
Consumo bienes Agricultura	0,03	0,03	-1,72	-5,11
Consumo bienes Industria	0,05	0,11	-1,01	-1,01
Consumo bienes Servicios	0,04	0,10	0,42	0,42
<i>Consumo Energético² (% variación cantidades)</i>				
Consumo energía Total	0,00	-0,06	-11,19	-23,47
Consumo energía Productores	-0,02	-0,14	-14,96	-30,35
Consumo energía Consumidores	0,04	0,07	-4,36	-11,03
<i>Emisiones de Efecto Invernadero (% variación cantidades)</i>				
Emisiones Totales	0,00	-5,03	-35,02	-51,06
Emisiones Combustión	0,00	-0,08	-23,83	-45,35
Emisiones Proceso	0,01	-18,92	-68,04	-69,46
Precio Permisos (euro/ton. CO ₂ eq.)	0,00	0,00	24,05	92,01
<i>Precios (precios índice 1995 = 1)</i>				
Índice general de precios	1,00	1,00	1,00	1,00
Precio del Capital	1,00	1,00	0,99	0,98
Precio del Trabajo	1,00	1,00	0,99	0,96
Tasa de cambio	1,00	1,00	1,02	1,04
<i>Cierre del modelo (variación cantidades)</i>				
Gasto Público	0,00	0,00	0,00	0,00
Déficit Comercial	0,00	0,00	0,00	0,00

¹ Los 22 sectores están agrupados en tres: Agricultura (1), Industria (2 a 16) y Servicios (17 a 22).

² El consumo de Energía comprende el consumo de carbón, petróleo, gas natural y electricidad.

El déficit en la balanza de comercio internacional se mantiene, por hipótesis de cierre del modelo, constante en los niveles del *escenario BAU*, siendo la tasa de cambio la variable que sirve para ajustar y vaciar el mercado. Los resultados de la tabla sugieren que una restricción a las emisiones genera; i) una disminución general en el comercio internacional, tanto para las importaciones como para las exportaciones y ii) un ligero empeoramiento de la relación de intercambio y la competitividad. Estos resultados serán explicados con mayor detalle en el apartado 4.3.4.

La tabla 4.2 permite también observar algunos efectos que ocurren en la estructura sectorial, agrupada en tres categorías fundamentales; Agricultura, Industria y Servicios. Los resultados muestran una terciarización importante de la economía tanto en los patrones de producción como en los patrones de consumo. Esto se debe a las posibilidades de sustitución y reestructuración económica que actúan canalizando la actividad hacia sectores con una menor intensidad contaminadora. La agricultura disminuye considerablemente por su carácter intensivo en emisiones de proceso, principalmente metano, mientras que la industria lo hace por su intensidad en emisiones de combustión. El sector servicios, por el contrario, se ve escasamente afectado e incluso llega a aumentar ligeramente su consumo. La importancia del sector servicios en la economía permite, a pesar las reducciones de algunos sectores, que el consumo total disminuya dentro de unos límites razonables.

Otro aspecto importante es el impacto que la política ambiental tiene en el consumo total de energía; más concretamente, en el consumo de carbón, petróleo, gas natural y electricidad. La tabla 4.2 muestra como una reducción de emisiones de un 51%, respecto al *escenario BAU*, es compatible con una reducción del consumo energético de un 23%. Esto no supone que el consumo de energía disminuye en términos absolutos, sino que sigue aumentando pero a un ritmo menor. Según el modelo y los datos utilizados, una reducción del consumo energético del 23% es compatible con una disminución del PIB de un 1,27%; esto ilustra un desacople relativo entre la producción y el consumo energético.

En los primeros periodos las emisiones siguen la senda del *escenario BAU* pero, a partir del 2005, el gobierno comienza a restringir los permisos de contaminación según la política ya fijada. A medida que los permisos son más escasos el precio de los permisos aumenta, y comienza así a ser considerado por el mercado como un factor productivo más. Los agentes tratarán de buscar individualmente aquella combinación, entre el pago de permisos, la sustitución entre inputs o la reducción de sus niveles de actividad, que resulte menos costosa. Finalmente, se alcanzará una situación de equilibrio donde los costes marginales de reducción de emisiones (representados por el precio de los permisos) son idénticos para todos los sectores.

Los resultados de la tabla 4.2 muestran que inicialmente el precio de los permisos es casi cero, pero a medida que los objetivos de reducción se van endureciendo, el precio aumenta más que proporcionalmente. Esto ilustra como las primeras unidades reducidas son menos costosas que las siguientes, y así sucesivamente.

El índice general de precios de los bienes de consumo nos va a servir de referencia para comparar el resto de los precios. En un MEGA los precios son relativos por lo que no existe ni dinero ni efectos monetarios. La oferta de trabajo es una variable exógena en el modelo y el mercado se vacía ajustando los salarios de forma que no haya desempleo. Los resultados muestran una disminución de los salarios respecto al resto de bienes ya que el factor trabajo se vuelven menos escasos que otros, como los permisos de contaminación o la energía. Lo mismo sucede con el precio del factor capital.

■ 4.3.2 RESULTADOS SECTORIALES

Una de las ventajas del modelo utilizado es que nos permite conocer los efectos sectoriales de la política. Estos impactos, por lo general, suelen ser muy diversos y no es posible conocerlos con un análisis puramente macroeconómico. En este tipo de modelos (MEGAs) los factores de producción están dados exógenamente y se utilizan completamente, por lo que los cambios sectoriales deben ser entendidos como un desplazamiento de recursos de unos sectores a otros sectores más rentables.

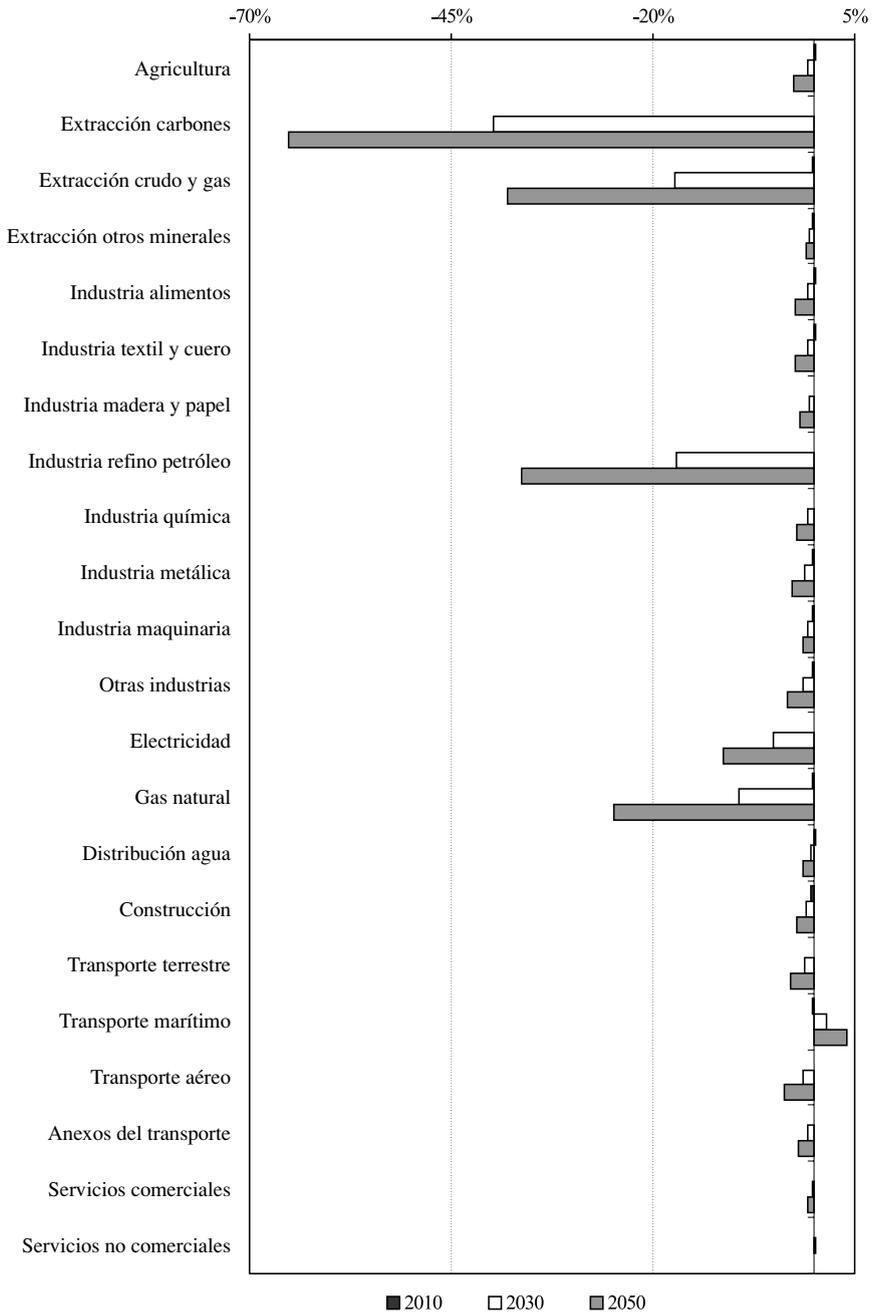
Cada sector combina sus inputs o recursos de la forma más eficiente. Al introducir la política ambiental los sectores necesitan permisos de emisión y comienzan a valorar este factor como un recurso más. Por este motivo, un control de las emisiones, generaría ventajas competitivas en aquellos sectores menos contaminantes o, análogamente, en aquellos que pueden sustituir sus inputs por otros menos contaminantes. En general, puede decirse que los impactos sectoriales son una combinación de efectos por el lado de la oferta; donde los sectores altamente contaminantes sufren un aumento en sus costes de producción, y por el lado de la demanda; donde los precios más altos de los productos más contaminantes hacen disminuir su consumo. El modelo permite considerar también los impactos indirectos, también llamados efectos de «segunda ronda», que se extienden a través de toda la compleja cadena intersectorial económica. Todos estos efectos se van a materializar en un intercambio en la estructura económica de sectores «sucios» hacia sectores «limpios».

La figura 4.3 muestra los efectos en la producción en tres momentos del tiempo. Los sectores más afectados son los encargados de la extracción, la transformación y la distribución de los combustibles fósiles. El sector Extracción de carbón y el sector Extracción de crudo y gas son en primer lugar, seguidos de cerca por el sector Industria del refino de petróleo y el sector Gas natural. La razón fundamental de esta disminución se encuentra en el mayor uso de energía y combustibles fósiles, y también, en que la estructura de producción de estos sectores es más rígida, siendo por tanto más difícil sustituir inputs productivos. La demanda de estos productos también disminuye por un aumento en sus precios. El sector del petróleo y la electricidad son los que mayor peso económico tienen de entre los energéticos.

El sector eléctrico sufre también un recorte considerable por su intensidad tanto en emisiones de combustión como en emisiones de proceso. La producción del sector eléctrico,

FIGURA 4.3

VARIACIÓN DE LA PRODUCCIÓN SECTORIAL PARA EL ESCENARIO KYOTO 2050 RESPECTO AL ESCENARIO BAU



sin embargo, no resulta tan severamente dañada como la de otros sectores energéticos, debido a las alternativas tecnológicas existentes.

Existe un tercer grupo de sectores que tiene una disminución más moderada de su producción. Este es el caso del sector Industria de alimentos, Agricultura, Transporte aéreo, Transporte por carretera e Industria textil. Los motivos para estas disminuciones son variados y, como ya se ha explicado, comprenden limitaciones por el lado de la oferta y por el lado de la demanda.

Los sectores menos afectados serán los sectores servicios. La disminución en estas ramas de actividad es pequeña y en el caso del sector Servicios no comerciales incluso observamos que se puede producir un ligero aumento. Este resultado es importante ya que el peso del sector servicios es grande y pone de manifiesto el «efecto terciarización» que provocaría esta política en la economía española.

El sector Transporte marítimo aumenta de manera importante su producción. Este es un ejemplo de cómo los efectos indirectos influyen en los impactos sectoriales. Aunque el sector transporte marítimo es más intensivo en cuanto a emisiones de GEIs que otro tipo de sectores, lo es menos que sus sustitutos más cercanos y naturales; el sector transporte terrestre y el sector transporte aéreo. Esto hace que se canalice a través de este sector gran parte de la actividad del transporte necesaria para el funcionamiento del sistema económico.

El consumo final sigue un patrón similar al de la producción como puede observarse en los resultados de la figura 4.4. En este caso, es aun más evidente el giro de consumo de productos «sucios» hacia productos «limpios». El consumo final de carbón se reduce extraordinariamente, aunque este sea ya de por sí bajo en España. El consumo de petróleo y de gas para su uso en el transporte privado o la calefacción sufre también un recorte importante. Otro sector en el que se reduce de manera considerable el consumo es en el transporte aéreo. La electricidad, por otra parte, es el único producto energético que no acusa de forma tan negativa el cambio y que disminuye su consumo en niveles similares a la media. El consumo de servicios comerciales y no comerciales incluso aumenta en los últimos periodos.

Existen algunas diferencias entre el consumo y la producción que conviene señalar. El consumo en muchos sectores aumenta los primeros años e incluso se mantiene en el año 2010, mientras que la producción disminuye ya desde el principio. Esto no solo ocurre en sectores directamente relacionados con los servicios, también sucede en otros sectores como la Industria textil, la Industria de la madera o la Industria de maquinaria. El traslado de un mayor consumo a los primeros años tiene un efecto inmediato en el stock de capital que actúa erosionando la producción.

Otro factor a tener en cuenta para un análisis completo de los impactos sectoriales es la evolución de los precios recogidos en la figura 4.5. Estos precios serán las variables que ajustan y vacían el mercado, siendo una pieza importante para comprender cómo se establece la asignación de los recursos.

FIGURA 4.4

VARIACIÓN DEL CONSUMO PRIVADO PARA EL ESCENARIO KYOTO 2050 RESPECTO AL ESCENARIO BAU

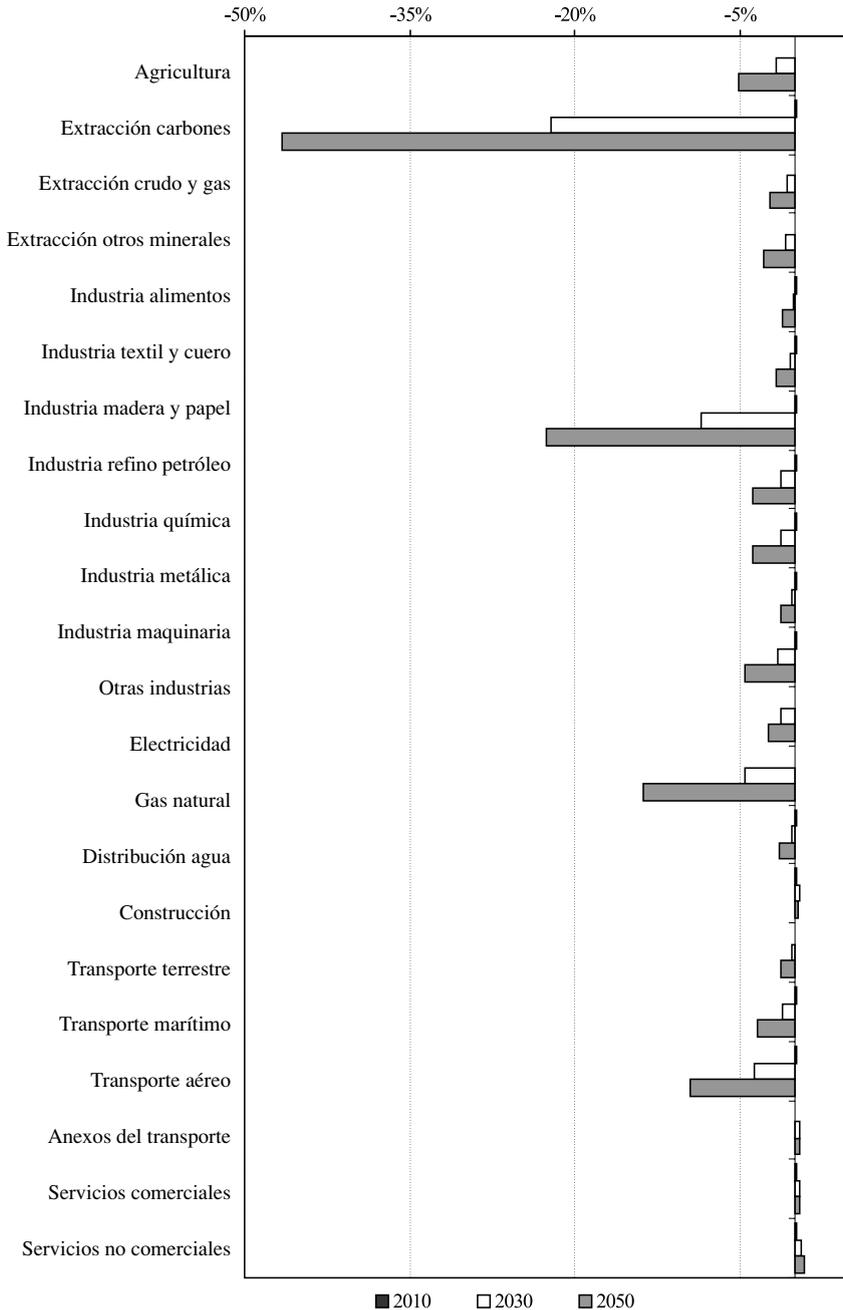
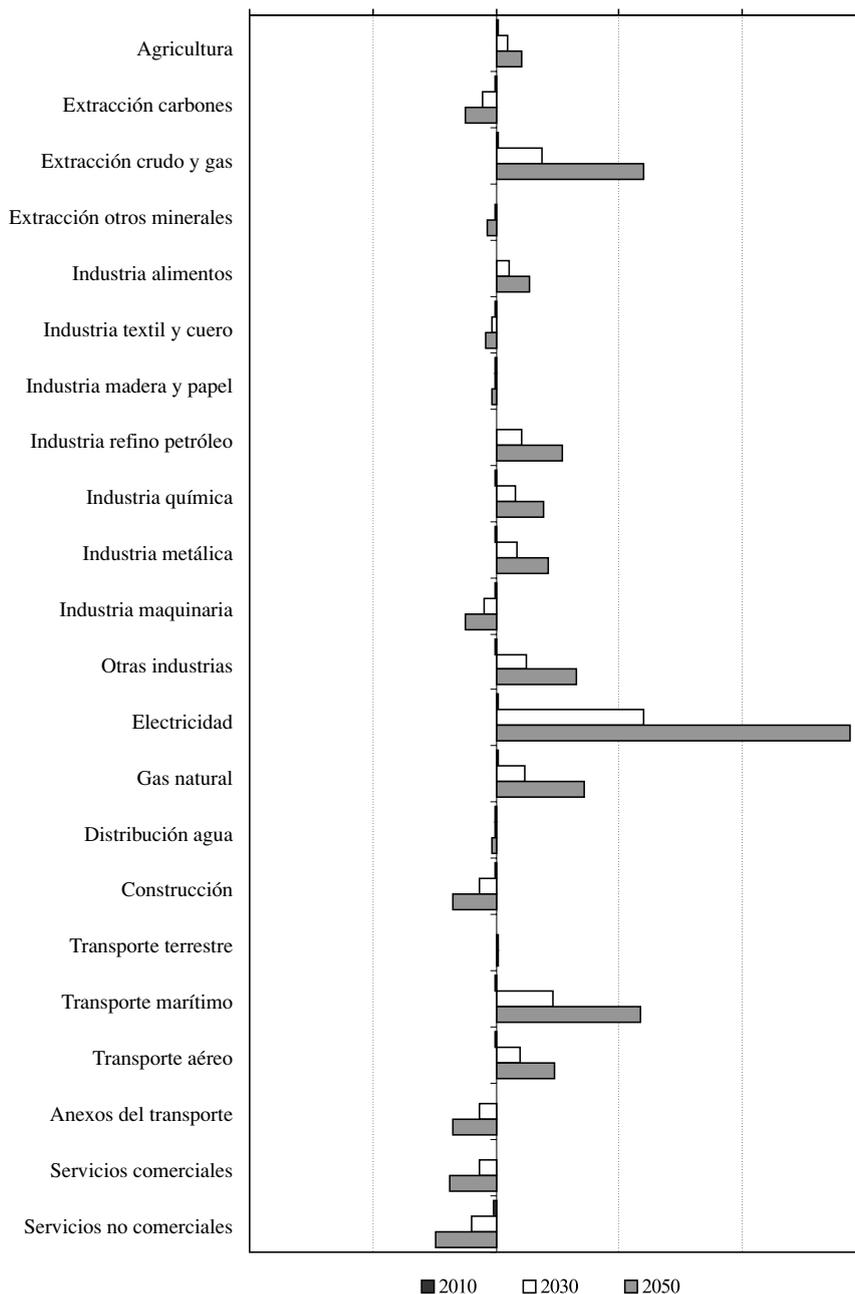


FIGURA 4.5
**VARIACIÓN DE LOS PRECIOS SECTORIALES PARA
 EL ESCENARIO KYOTO 2050 RESPECTO AL ESCENARIO BAU**



El precio relativo de la electricidad aumenta considerablemente, algo que tiene su explicación en la reducción del consumo y la producción de sus productos sustitutos; los combustibles fósiles. Los sectores tienen crecientes necesidades energéticas y la electricidad se encarga, aunque también disminuya, de sostener y ajustar la demanda. Por ello, y siendo la energía un producto ahora relativamente más caro, la electricidad aumenta sustancialmente sus precios. El resto de energías fósiles hacen lo propio pero en menor medida. Los sectores «limpios», en cambio, se vuelven más atractivos y reducen los precios como muestra el sector Servicios, Anexos al transporte u otros como la Construcción.

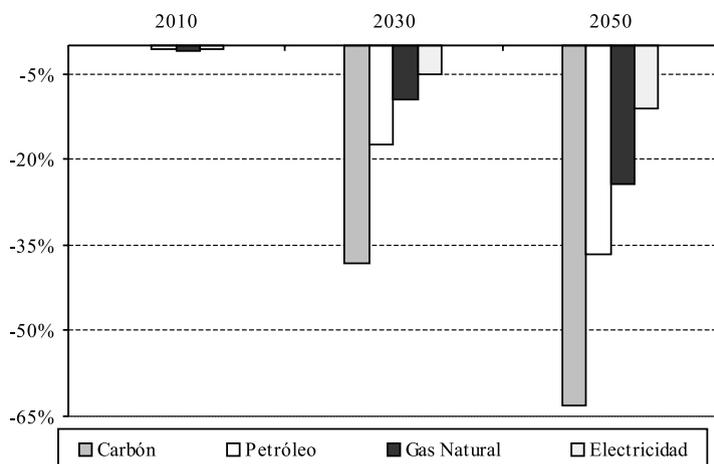
■ 4.3.3 RESULTADOS ENERGÍA

Los resultados de la tabla 4.1 muestran una reducción en el consumo energético final de un 42% respecto al *escenario BAU*; lo que ilustra un desacoplamiento relativo respecto de la producción.

La figura 4.6 nos muestra los resultados desagregados por tipos de energía. Los coeficientes de emisiones utilizados (ver tabla A3.1) muestran una intensidad en las emisiones de 4,1 Ton Co₂ / Ktep para el Carbón, 2,8 para el Petróleo y 2,1 para el Gas Natural. El carbón es el producto más contaminante y, por ello, se reduce notablemente más su uso. El sistema económico induce la sustitución de combustibles más contaminantes, como el carbón, por menos contaminantes, como el petróleo, el gas natural y finalmente electricidad. Aunque la electricidad no contamina *per se*, su producción es intensiva en emisiones por la acción transformadora de la energía que realiza. El resultado es que finalmente el carbón reduce su uso un 63%, el petróleo un 36%, el gas natural un 24% y, por último, la electricidad un 11%.

FIGURA 4.6

VARIACIÓN CONSUMO FINAL TOTAL POR TIPO DE ENERGÍA



■ 4.3.4 RESULTADOS COMERCIO INTERNACIONAL

Los resultados sugieren una disminución del comercio internacional tanto en las importaciones como en las exportaciones. El déficit comercial se mantiene constante por hipótesis de cierre de modelo, pero la apreciación de la tasa de intercambio indica un ligero empeoramiento general de la competitividad con el exterior.

Los resultados sectoriales resultantes son muy variados como recoge la figura 4.7. Aunque el déficit comercial total está limitado, el déficit por sectores puede variar. Existen algunos sectores (i.e. Electricidad; Transporte marítimo) donde las importaciones aumentan y las exportaciones disminuyen, lo que supone una disminución de su déficit comercial sectorial. También mejoran los términos del comercio en aquellos sectores en los que disminuyen las importaciones en mayor medida que las exportaciones (i.e. Gas natural; Industria refino del petróleo). En general los resultados de estos sectores muestran una disminución de la dependencia energética con el exterior. Esta menor dependencia de combustibles fósiles hace que seamos más competitivos en sectores como el eléctrico.

En el resto de los sectores se observa un empeoramiento de las condiciones de comercio. Este es el caso de la mayoría de los sectores de la industria en donde las exportaciones disminuyen más que las importaciones. El efecto en los sectores de la industria es además importante ya que su peso en la balanza total de comercio es considerable. En general puede decirse que las exportaciones tienden a disminuir ya que una política ambiental más estricta que la exterior provoca un aumento de los costes de producción de la actividad doméstica.

■ 4.3.5 RESULTADOS EMISIONES

Los objetivos del *escenario Kyoto 2050* suponen una reducción final de GEIs de un 51% respecto al *escenario BAU*. Este objetivo no impone una restricción particular para las emisiones de combustión o de proceso, únicamente limita la suma total.

La mayor parte de la disminución se realiza primero entre las emisiones de proceso (ver figura 4.8), alcanzando una reducción del 70%. Las emisiones de combustión tienen, sin embargo, una reducción más paulatina y constante. Esto sirve para mostrar que, aunque inicialmente sean más baratas las medidas de «final de tubería», finalmente una gran parte de la reducción sólo podrá ser lograda a través de una reducción de las emisiones de combustión.

Este fenómeno se justifica por el valor de las posibilidades de sustitución para estas emisiones. Existe un punto a partir del cual es costoso sustituir emisiones de proceso por producción y a partir del cual acaba siendo una mejor alternativa hacer la sustitución a través de los inputs.

FIGURA 4.7

VARIACIÓN PRECIOS SECTORIALES AÑO 2030 PARA EL ESCENARIO KYOTO 2050 RESPECTO AL ESCENARIO BAU

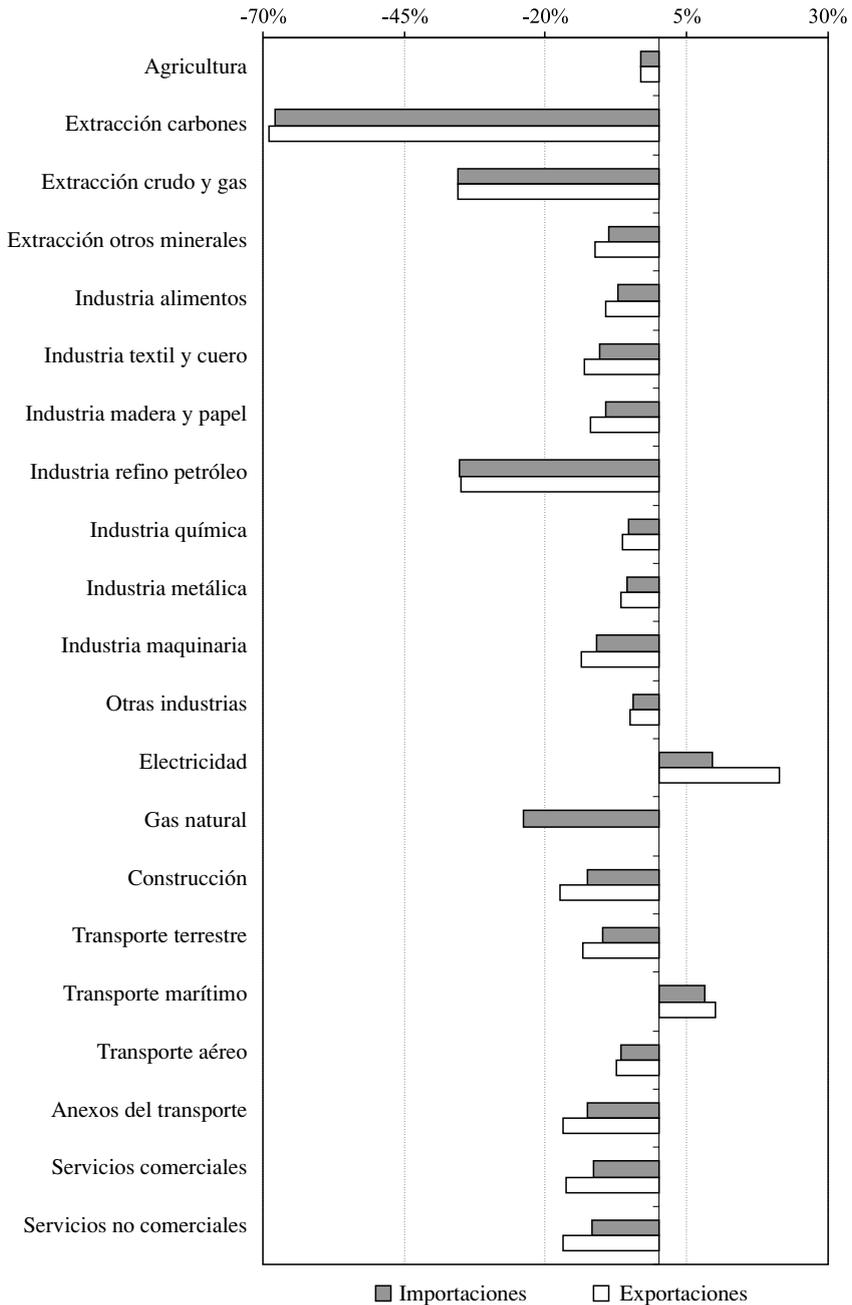
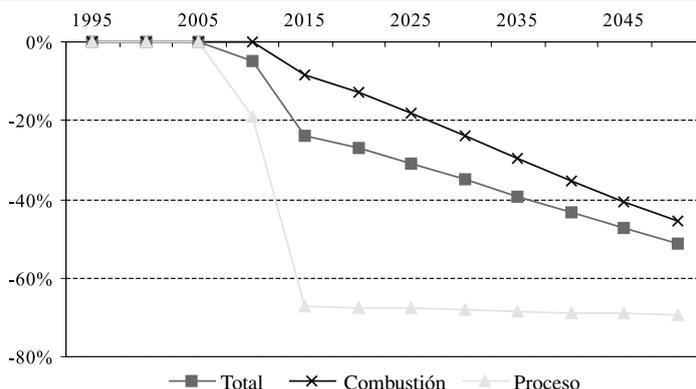


FIGURA 4.8a

VARIACIÓN EMISIONES *ESCENARIO KYOTO 2050* RESPECTO AL *ESCENARIO BAU*



La figura 4.9 muestra como la reducción de las emisiones es muy similar entre todos los sectores ya que elasticidad de sustitución entre producción y emisiones de proceso considerada es igual para todos ellos. La reducción de las emisiones de combustión, por el contrario, es un más variada ya que en estos casos depende fundamentalmente de las posibilidades en de cada sector para sustituir inputs energéticos.

Aunque la reducción de emisiones no el igual en todos los sectores, el coste marginal de reducción si que debe ser idéntico si la solución es coste-eficiente. La figura 4.9 muestra la evolución temporal de estos costes marginales de reducción, que representan los precios de los permisos de emisión. Estos resultados nos sirven para constatar como los costes marginales aumentan de una forma más que proporcional a medida que aumentan los niveles de reducción de emisiones. El precio de los permisos para el año 2015 se situaría entorno a 5,2 €/tCO₂, y aumentaría hasta alcanzar finalmente en 2050 los 92 €/ tCO₂.

Estos precios son el resultado de una política unilateral en España, y no se ha tenido en cuenta la posible existencia de un mercado internacional o europeo de derechos de emisiones más amplio. En general puede decirse que una extensión de este mercado haría reducir los costes, y por tanto los precios de los derechos, al hacer aumentar la frontera de posibilidades de intercambio y reducción.

4.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El coste de reducción de emisiones de efecto invernadero tiene un componente de incertidumbre que es necesario reconocer. El modelo empírico propuesto nos ha permitido

FIGURA 4.8b

VARIACIÓN EMISIONES SECTORIALES AÑO 2030 PARA EL ESCENARIO KYOTO 2050 RESPECTO AL ESCENARIO BAU

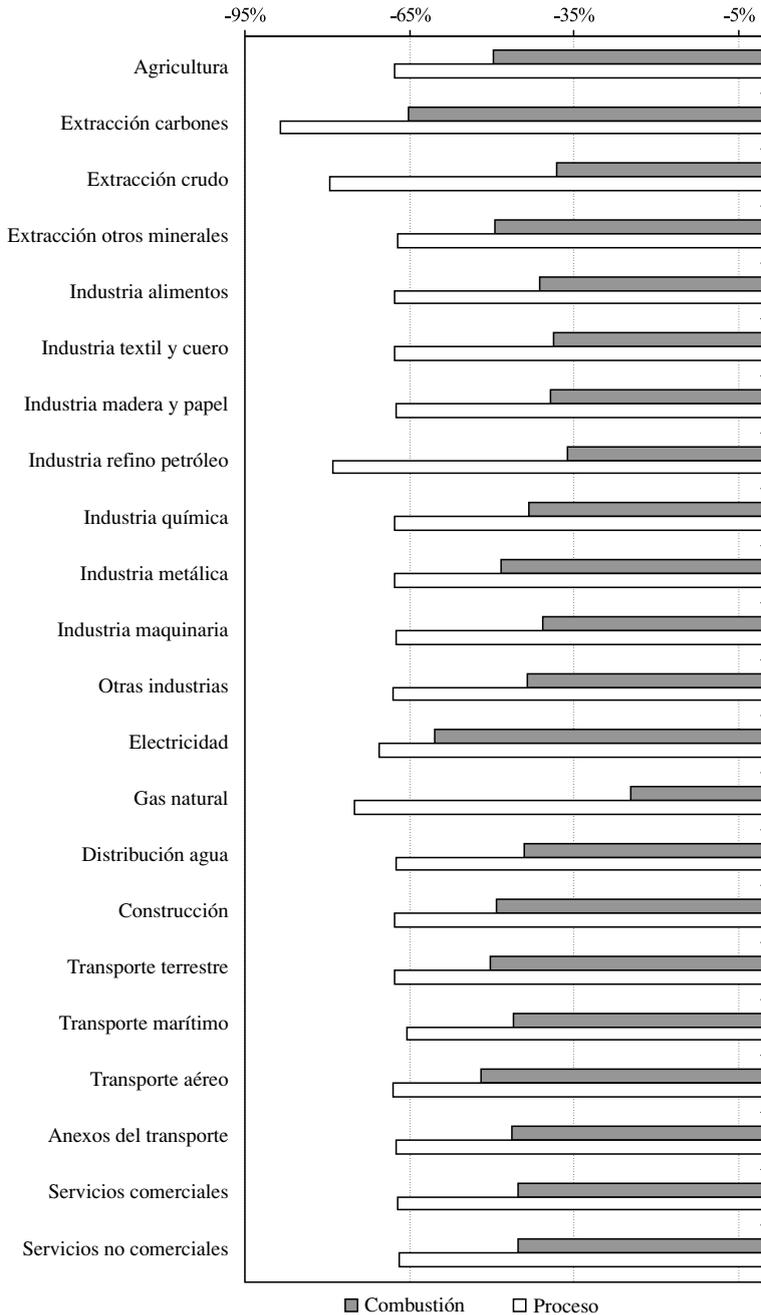
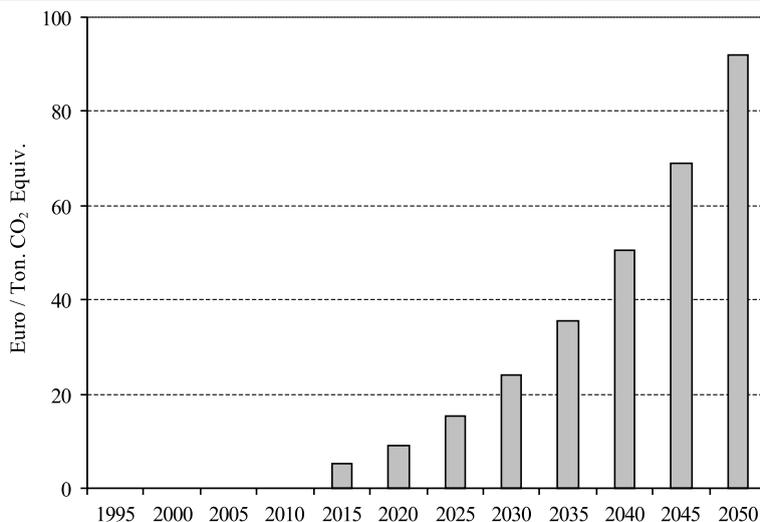


FIGURA 4.9

EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS DE LOS PERMISOS DE EMISIÓN ESCENARIO KYOTO 2050



hacer una estimación de los costes riguroso, y coherente con la teoría económica, pero sería un error pretender que estas estimaciones fueran estrictamente precisas. Algunos parámetros son inherentemente inciertos y su influencia en los resultados considerable. Además, la gran cantidad de datos de un MEGA hace muy difícil su estimación econométrica, siendo lo más habitual optar por una calibración con las limitaciones que ello supone.

Como la incertidumbre en este tipo de análisis es ineludible, la mejor estrategia es hacer un análisis sistemático y profundo de sensibilidad de los parámetros más importantes. Esto nos va a permitir, al menos, investigar los mecanismos y las variables más importantes que guían el impacto económico.

El análisis de sensibilidad consiste en asignar diferentes valores a los parámetros para después compararlos con los resultados obtenidos con los valores originales. El análisis lo haremos repetidamente y para cada uno de los parámetros por separado, de esta forma, podremos aislar el efecto de cada parámetro y su capacidad de influir en los resultados finales.

Los parámetros a analizar se van a dividir en tres bloques. En primer lugar analizaremos el parámetro que dirige el crecimiento del modelo (g), en segundo lugar, estudiamos el efecto de los cambios en los valores de los parámetros de ecoeficiencia de combustión y de proceso (φ) y, por último, analizaremos, una a una, todas y cada una de las elasticidades usadas en las funciones de producción, comercio y utilidad (σ). Algunas de las elasticidades más importantes son analizadas de manera individual mientras que las demás serán tratadas de una manera conjunta.

■ 4.4.1 CRECIMIENTO ECONÓMICO

El nivel de crecimiento de la economía influye de manera importante en los impactos económicos. El parámetro g recoge en un único valor (ver capítulo 3) los incrementos en la fuerza de trabajo y la productividad. El valor original del parámetro es 2,5 y los valores alternativos que vamos a analizar son 2,3 y 2,7, respectivamente. Un valor inferior representa una economía que crece más lentamente y al revés. La figura 4.10 muestra el crecimiento del PIB para cada uno de estos valores.

El resultado para cada valor alternativo se recoge en la tabla 4.3. Un nivel de crecimiento más alto aumenta los costes totales de reducción de la contaminación por dos motivos: 1) una mayor tasa de crecimiento económico supone una mayor contaminación y, si la tecnología progresa como en el *escenario BAU*, el esfuerzo para reducir las emisiones deberá ser mayor, y 2) una mayor tasa de crecimiento hace que los esfuerzos de reducción de emisiones tengan que ser abordados antes, cuando todavía no se han desarrollado ciertos progresos tecnológicos, lo que de nuevo hace que el esfuerzo posterior sea mayor.

Los resultados en cuanto a la estructura sectorial no varían, ya que este parámetro ejerce únicamente un efecto escala en los impactos económicos.

FIGURA 4.10

CRECIMIENTO DEL PIB PARA VALORES DIFERENTES DE G

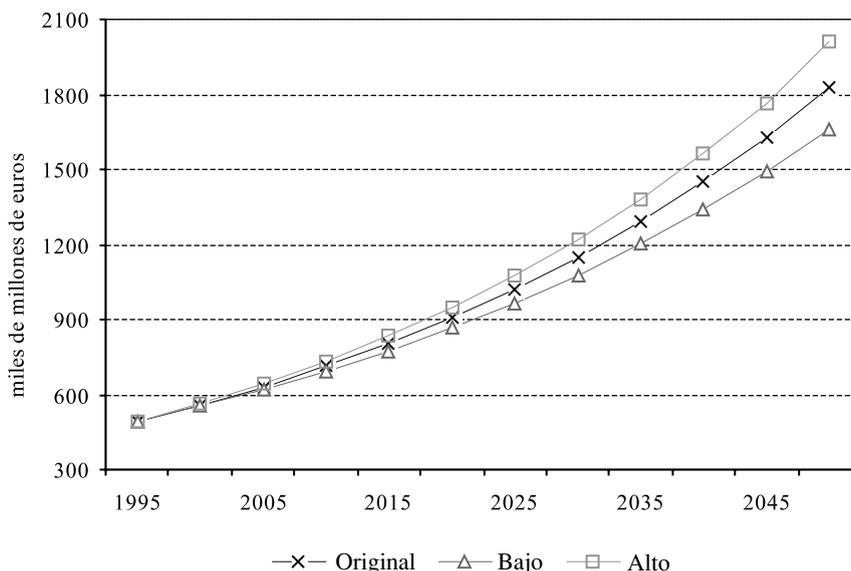


TABLA 4.3

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA VALORES ALTERNATIVOS DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO

	gOriginal	gBajo	gAlto
<i>Macroeconomía (% variación cantidades)</i>			
Utilidad Total	-0,31	-0,21	-0,39
Utilidad (2050)	-0,99	-0,75	-1,23
PIB	-1,27	-0,98	-1,59
Consumo Privado	-0,77	-0,59	-0,97
Inversión	-2,55	-2,09	-3,13
<i>Comercio Internacional (% variación cantidades)</i>			
Importaciones	-9,71	-8,09	-11,41
Exportaciones	-9,84	-8,20	-11,57
<i>Sectores (% variación cantidades)</i>			
Producción sector Agricultura ¹	-2,61	-2,11	-3,16
Producción sector Industria	-3,83	-3,13	-4,62
Producción sector Servicios	-0,83	-0,66	-1,06
Consumo bienes Agricultura	-5,11	-4,01	-6,25
Consumo bienes Industria	-1,01	-0,80	-1,24
Consumo bienes Servicios	0,42	0,55	-0,12
<i>Consumo Energético² (% variación cantidades)</i>			
Consumo energía Total	-23,47	-20,75	-26,18
Consumo energía Productores	-30,35	-27,11	-33,58
Consumo energía Consumidores	-11,03	-9,49	-12,58
<i>Emisiones de Efecto Invernadero (% variación cantidades)</i>			
Emisiones Totales	-51,06	-46,93	-55,18
Emisiones Combustión	-45,35	-41,83	-48,88
Emisiones Proceso	-69,46	-59,59	-79,73
Precio Permisos (euro/ton. CO ₂ eq.)	92,01	65,81	118,22
<i>Precios (variación respecto precios índice 1995 = 1)</i>			
Índice general de precios	1,00	1,00	1,00
Precio del Capital	0,98	1,01	0,95
Precio del Trabajo	0,96	1,00	0,93
Tasa de cambio	1,04	1,01	1,07
<i>Cierre del modelo (variación cantidades)</i>			
Gasto Público	0,00	0,00	0,00
Déficit Comercial	0,00	0,00	0,00

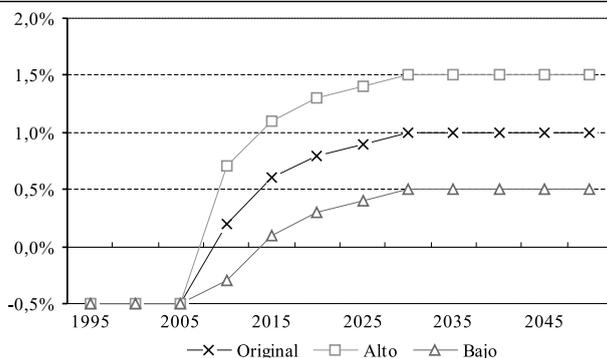
¹ Los 22 sectores están agrupados en tres: Agricultura (1), Industria (2 a 16) y Servicios (17 a 22).

² El consumo de Energía comprende el consumo de carbón, petróleo, gas natural y electricidad.

4.4.2 ECOEFICIENCIA DE COMBUSTIÓN

El parámetro φ^c mide la evolución exógena en la intensidad de emisiones de combustión. Originalmente parte de $-0,5\%$ y converge mediante una función logística a $+0,5\%$. Esto significa que finalmente si el PIB crece a una tasa del $2,5\%$ las emisiones de combustión lo harán al 2% . Los valores alternativos están únicamente desplazados en el eje de ordenadas, parten de una tasa de $-0,5\%$ y convergen hacia 0 y 1% , respectivamente (ver figura 4.11).

FIGURA 4.11
EVOLUCIÓN DE LOS VALORES ALTERNATIVOS PARA LA ECOEFICIENCIA DE COMBUSTIÓN (φ^c)



A mayor valor de φ^c menores emisiones de combustión y, por lo tanto, menores esfuerzos para alcanzar los objetivos. La figura 4.12 recoge las reducciones necesarias para alcanzar los objetivos según los valores de φ^c .

FIGURA 4.12
REDUCCIÓN EMISIONES PARA VALORES ALTERNATIVOS DE LA ECOEFICIENCIA DE COMBUSTIÓN (φ^c)

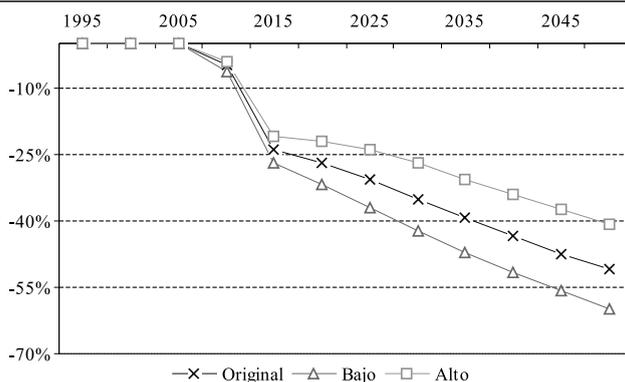


TABLA 4.4

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA VALORES ALTERNATIVOS DEL COEFICIENTE DE COMBUSTIÓN

	$\varphi^C_{Original}$	φ^C_{Bajo}	φ^C_{Alto}
<i>Macroeconomía (% variación cantidades)</i>			
Utilidad Total	-0,31	-0,63	-0,10
Utilidad	-0,99	-1,86	-0,37
PIB	-1,27	-2,11	-0,60
Consumo Privado	-0,77	-1,44	-0,28
Inversión	-2,55	-3,80	-1,39
<i>Comercio Internacional (% variación cantidades)</i>			
Importaciones	-9,71	-13,91	-5,46
Exportaciones	-9,84	-14,10	-5,53
<i>Sectores (% variación cantidades)</i>			
Producción sector Agricultura ¹	-2,61	-4,18	-1,28
Producción sector Industria	-3,83	-5,50	-2,18
Producción sector Servicios	-0,83	-1,37	-0,38
Consumo bienes Agricultura	-5,11	-7,65	-2,76
Consumo bienes Industria	-1,01	-5,12	-1,62
Consumo bienes Servicios	0,42	0,31	-0,37
<i>Consumo Energético² (% variación cantidades)</i>			
Consumo energía Total	-23,47	-31,32	-14,37
Consumo energía Productores	-30,35	-39,78	-18,99
Consumo energía Consumidores	-11,03	-16,05	-6,02
<i>Emisiones de Efecto Invernadero (% variación cantidades)</i>			
Emisiones Totales	-51,06	-59,82	-40,81
Emisiones Combustión	-45,35	-57,26	-29,75
Emisiones Proceso	-69,46	-70,44	-68,41
Precio Permisos (euro/ton. CO ₂ eq.)	92,01	130,86	52,98
<i>Precios (variación respecto precios índice 1995 = 1)</i>			
Índice general de precios	1,00	1,00	1,00
Precio del Capital	0,98	0,97	0,99
Precio del Trabajo	0,96	0,94	0,98
Tasa de cambio	1,04	1,06	1,02
<i>Cierre del modelo (variación cantidades)</i>			
Gasto Público	0,00	0,00	0,00
Déficit Comercial	0,00	0,00	0,00

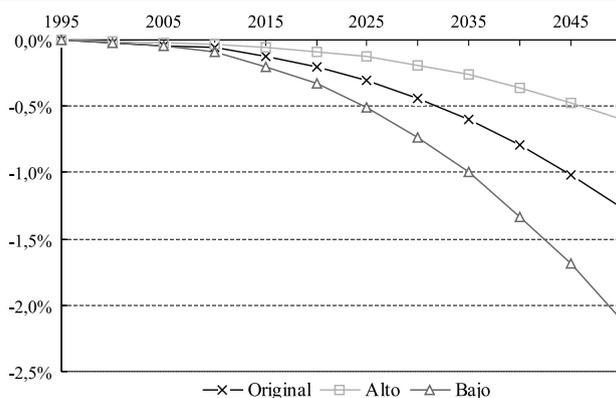
¹ Los 22 sectores están agrupados en tres: Agricultura (1), Industria (2 a 16) y Servicios (17 a 22).

² El consumo de Energía comprende el consumo de carbón, petróleo, gas natural y electricidad.

Los resultados obtenidos para los valores alternativos en la ecoeficiencia de combustión se recogen en la tabla 4.4. Cuanto menor es el valor de la ecoeficiencia mayor es el coste económico de cumplir los objetivos. El impacto que tiene este parámetro sobre los costes es notable ya que el peso de las emisiones de combustión sobre el total es considerable (el 75% del total) e influyen de manera importante en el incremento de las emisiones futuras. La utilidad total en los escenarios alternativos oscila entre un 0,10 y un 0,63%. La disminución del PIB para los tres escenarios, como se recoge en la figura 4.13, sigue una trayectoria similar pero desplazada en el eje de ordenadas. En el caso de un valor de ecoeficiencia bajo el valor del PIB disminuye para el año 2050 hasta un 2,1%, mientras que para un valor alto la reducción se mantiene en un 0,6%.

FIGURA 4.13

VARIACIÓN PIB PARA VALORES ALTERNATIVOS DE LA ECOEFICIENCIA DE COMBUSTIÓN (φ^C)



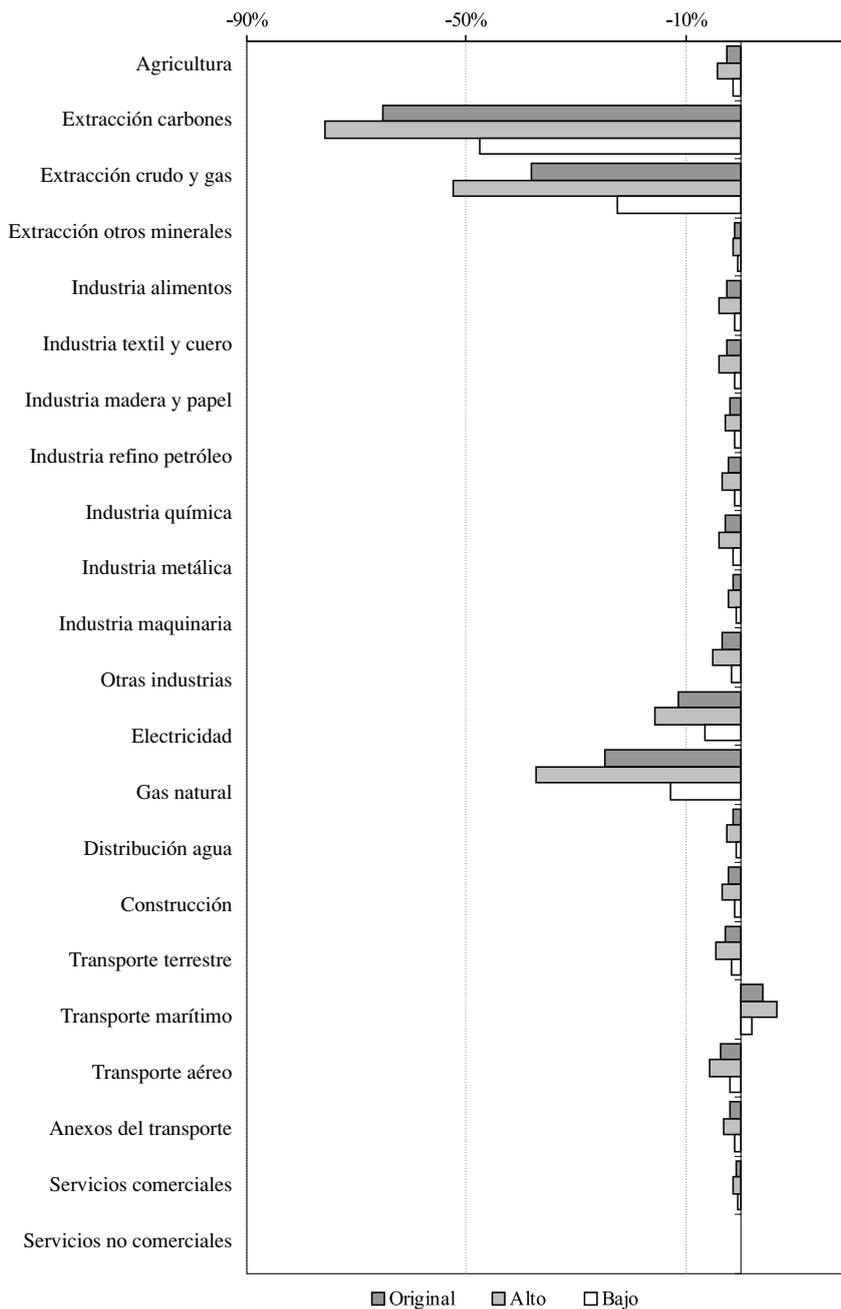
Los valores de la ecoeficiencia de combustión también tienen un efecto en los sectores. En la figura 4.14 se muestran los impactos sobre la producción para los valores alternativos. Observamos que todos los sectores responden en el mismo sentido; a menores valores de la ecoeficiencia mayores reducciones en la producción, aunque siendo la reducción no es proporcional en todos los casos. Algunos como el sector Gas natural reducen su producción en una proporción mayor que otros, como por ejemplo el sector Industria del refino de petróleo. Esto se debe a que el agotamiento de las posibilidades de sustitución es diferente en cada sector.

■ 4.4.3 ECOEFICIENCIA DE PROCESO

El parámetro ecoeficiencia de proceso mide la evolución en la intensidad de las emisiones con origen distinto a la combustión, esto es, las emisiones de proceso. En este apar-

FIGURA 4.14

VARIACIÓN PRODUCCIÓN SECTORIAL PARA VALORES ALTERNATIVOS DE LA ECOEFICIENCIA DE COMBUSTIÓN (φ^C)



tado analizamos la sensibilidad de los resultados ante valores alternativos de este parámetro. El parámetro ecoeficiencia de proceso ϕ^P parte originalmente de un valor de +0,7% y converge hasta +1,5%. Esto significa que finalmente si el PIB aumentara un 2,5% las emisiones de proceso lo harían un 1%. Alternativamente (ver figura 4.15) se proponen unos valores que convergen hacia 1 y 2%, respectivamente.

FIGURA 4.15

VALORES ALTERNATIVOS DE LA ECOEFICIENCIA DE PROCESO (ϕ^P)

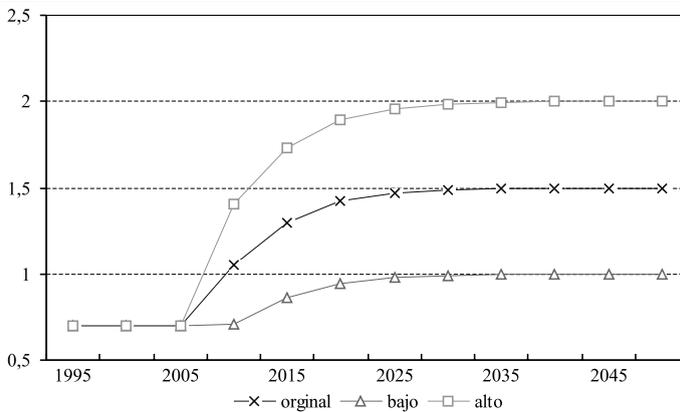
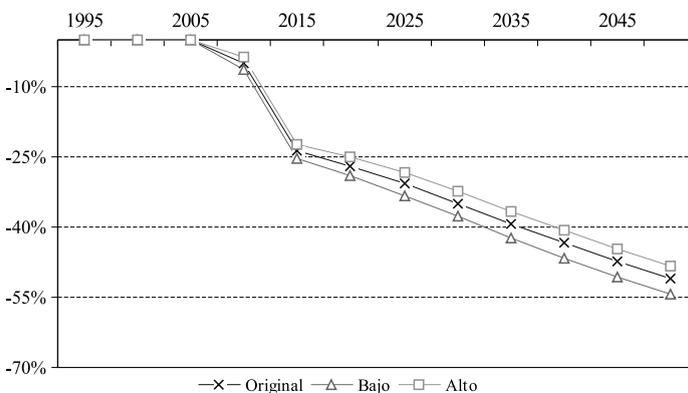


FIGURA 4.16

VARIACIÓN EMISIONES PARA VALORES ALTERNATIVOS DE LA ECOEFICIENCIA DE PROCESO (ϕ^P)



Los valores alternativos generan niveles diferentes de emisiones y, por lo tanto, esfuerzos diferentes para alcanzar los objetivos de Kyoto (ver figura 4.16). La tabla 4.5 muestra los resultados para estos valores en el año 2050. A medida que aumenta el valor de la ecoeficiencia se reduce el coste económico de cumplir los objetivos de Kyoto. Este parámetro no

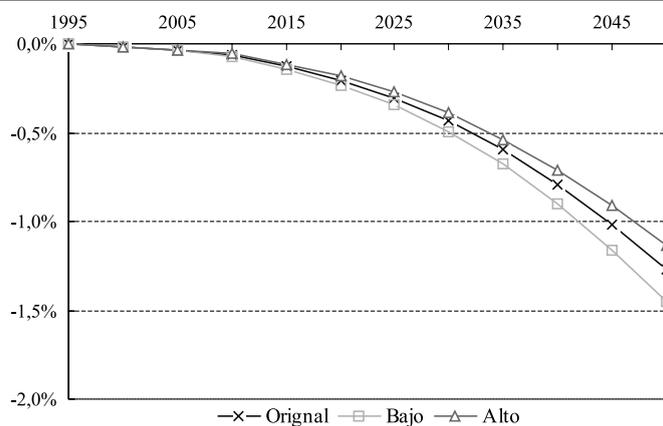
ejerce tanta influencia como tenía la ecoeficiencia de combustión, ya que estas emisiones representan tan solo un 25 del total. Finalmente, la utilidad total varía entre un 0,27 y un 0,36%, mientras que el consumo privado lo hace entre un 0,67 y un 0,89%.

La figura 4.17 permite conocer las variaciones del PIB para los escenarios alternativos propuestos. La trayectoria seguida por el PIB es similar en todos los casos, únicamente varía el nivel o la escala del impacto económico.

Un fenómeno interesante que muestran estos resultados (ver tabla 4.5) es como en todos los escenarios las emisiones de proceso se reducen finalmente de manera parecida, cerca de un 69%. Este hecho ilustra como la reducción de este tipo de emisiones tiene un techo a partir del cuál la mejor opción es la reducción de las emisiones de combustión. A partir de esta frontera la reducción de las emisiones de proceso solo es posible mediante la reducción de la actividad económica, siendo mejor opción reducir las emisiones de combustión a través de un cambio en el mix energético.

FIGURA 4.17

VARIACIÓN DEL PIB PARA VALORES ALTERNATIVOS DE LA ECOEFICIENCIA DE PROCESO (ϕ^P)



■ Análisis de sensibilidad de las elasticidades de sustitución

A continuación haremos un análisis de sensibilidad de todas las elasticidades de sustitución del modelo. Algunas son tratadas individualmente, mientras que otras son analizan de manera conjunta en un apartado final.

Una consideración general es que las elasticidades no ejercen ninguna influencia sobre la trayectoria del *escenario BAU*; su efecto se da a posteriori y como reacción de los agentes ante la política ambiental. Por lo tanto, el esfuerzo de reducción de emisiones será idéntico para cualquier valor de las elasticidades.

TABLA 4.5

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE VALORES ALTERNATIVOS DE LA ECOEFICIENCIA PROCESO φ^P

	φ^P Original	φ^P Bajo	φ^P Alto
<i>Macroeconomía (% variación cantidades)</i>			
Utilidad Total	-0,31	-0,36	-0,27
Utilidad	-0,99	-1,15	-0,87
PIB	-1,27	-1,45	-1,14
Consumo Privado	-0,77	-0,89	-0,67
Inversión	-2,55	-2,88	-2,31
<i>Comercio Internacional (% variación cantidades)</i>			
Importaciones	-9,71	-10,55	-9,06
Exportaciones	-9,84	-10,70	-9,18
<i>Sectores (% variación cantidades)</i>			
Producción sector Agricultura ¹	-2,61	-2,93	-2,37
Producción sector Industria	-3,83	-4,24	-3,53
Producción sector Servicios	-0,83	-0,93	-0,76
Consumo bienes Agricultura	-5,11	-6,56	-4,12
Consumo bienes Industria	-1,01	-3,72	-2,90
Consumo bienes Servicios	0,42	0,48	0,38
<i>Consumo Energético² (% variación cantidades)</i>			
Consumo energía Total	-23,47	-25,24	-22,08
Consumo energía Productores	-30,35	-32,50	-28,66
Consumo energía Consumidores	-11,03	-12,15	-10,19
<i>Emisiones de Efecto Invernadero (% variación cantidades)</i>			
Emisiones Totales	-51,06	-54,23	-48,22
Emisiones Combustión	-45,35	-48,04	-44,30
Emisiones Proceso	-69,46	-64,62	-74,29
Precio Permisos (euro/ton. CO ₂ eq.)	92,01	104,28	83,20
<i>Precios (variación respecto precios índice 1995 = 1)</i>			
Índice general de precios	1,00	1,00	1,00
Precio del Capital	0,98	0,98	0,98
Precio del Trabajo	0,96	0,96	0,97
Tasa de cambio	1,04	1,04	1,04
<i>Cierre del modelo (variación cantidades)</i>			
Gasto Público	0,00	0,00	0,00
Déficit Comercial	0,00	0,00	0,00

¹ Los 22 sectores están agrupados en tres: Agricultura (1), Industria (2 a 16) y Servicios (17 a 22).

² El consumo de Energía comprende el consumo de carbón, petróleo, gas natural y electricidad.

■ 4.4.4 ELASTICIDAD DE SUSTITUCIÓN ENTRE ENERGÍA Y CAPITAL-TRABAJO

La elasticidad de sustitución entre energía y capital/trabajo (σ^{KEL}) ejerce una influencia notable sobre el resultado final. Existen dos importantes razones para ello, primero 1) las dos variables objeto de intercambio son magnitudes considerables y por lo tanto su efecto sustitución es importante, y segundo 2) la restricción impuesta a las emisiones de GEIs hace que la energía sea relativamente más costosa que otros factores productivos como el capital y trabajo, siendo su intercambio beneficioso.

El valor original del parámetro σ^{KEL} es 0,5. En las especificaciones alternativas se investigan los efectos para valores de 0,4 y 0,6, respectivamente. Una elasticidad de sustitución mayor significa mayores posibilidades para intercambiar en la producción inputs energéticos por inputs de capital/trabajo, un valor menor significará lo contrario.

La tabla 4.6 presenta los resultados del escenario para el año 2050. Los objetivos se consiguen de forma menos costosa cuanto mayor es el valor de la elasticidad. Estos valores pueden hacer variar a la utilidad total entre 0,27 a 0,35%. Las condiciones del comercio internacional mejoran a medida que la elasticidad aumenta ya que las importaciones de energías fósiles se reducen. Los costes marginales de abatimiento (precio de los permisos) disminuyen a medida que el valor de la elasticidad aumenta.

La figura 4.18 recoge la evolución del PIB para los tres escenarios alternativos. Estos valores muestran una variación que oscila entre un 1,13% y 1,46% respectivamente.

■ 4.4.5 ELASTICIDAD DE SUSTITUCIÓN ENTRE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLES

Las posibilidades de sustitución entre electricidad y combustibles fósiles (σ^{E}) son también importantes. La electricidad es una energía tan limpia o tan sucia como la tecnología utilizada en su producción. Las posibilidades de las nuevas tecnologías (ciclo combinado, lecho fluido, carbón pulverizado, nuevas energías renovables, etc.) suponen un avance importante. Estas nuevas tecnologías permitirán producir más electricidad con una menor contaminación, e inducir en la economía una mayor sustitución de combustibles fósiles.

El valor original del parámetro σ^{E} es 0,5. En las especificaciones alternativas se investigan los efectos para un valor de 0,4 y 0,6 respectivamente. Una elasticidad de sustitución mayor significa mayores posibilidades para intercambiar en la producción electricidad por combustibles fósiles y una elasticidad menor significará justamente lo contrario.

TABLA 4.6

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA VALORES ALTERNATIVOS DE ELASTICIDAD σ^{KEL}

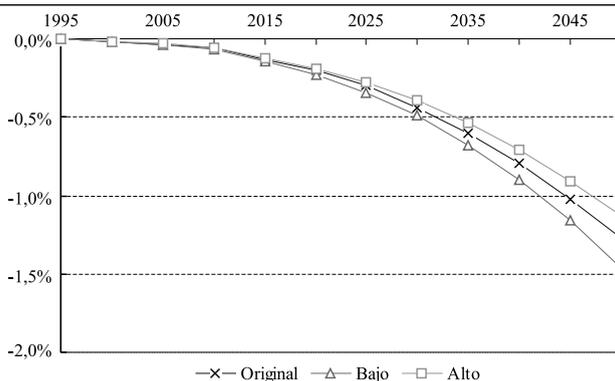
	$\sigma^{KEL}_{Original}$	σ^{KEL}_{Alto}	σ^{KEL}_{Bajo}
<i>Macroeconomía (% variación cantidades)</i>			
Utilidad Total	-0,31	-0,35	-0,27
Utilidad	-0,99	-1,13	-0,87
PIB	-1,27	-1,46	-1,13
Consumo Privado	-0,77	-0,87	-0,69
Inversión	-2,55	-2,92	-2,28
<i>Comercio Internacional (% variación cantidades)</i>			
Importaciones	-9,71	-10,42	-9,19
Exportaciones	-9,84	-10,56	-9,32
<i>Sectores (% variación cantidades)</i>			
Producción sector Agricultura ¹	-2,61	-2,96	-2,36
Producción sector Industria	-3,83	-4,09	-3,65
Producción sector Servicios	-0,83	-0,88	-0,79
Consumo bienes Agricultura	-5,11	-5,99	-4,46
Consumo bienes Industria	-1,01	-3,76	-2,85
Consumo bienes Servicios	0,42	0,53	0,35
<i>Consumo Energético² (% variación cantidades)</i>			
Consumo energía Total	-23,47	-23,33	-23,60
Consumo energía Productores	-30,35	-29,23	-31,25
Consumo energía Consumidores	-11,03	-12,67	-9,78
<i>Emisiones de Efecto Invernadero (% variación cantidades)</i>			
Emisiones Totales	-51,06	-51,06	-51,06
Emisiones Combustión	-45,35	-45,33	-45,38
Emisiones Proceso	-69,46	-69,65	-69,39
Precio Permisos (euro/ton. CO ₂ eq.)	92,01	109,17	79,48
<i>Precios (variación respecto precios índice 1995 = 1)</i>			
Índice general de precios	1,00	1,00	1,00
Precio del Capital	0,98	0,98	0,98
Precio del Trabajo	0,96	0,96	0,97
Tasa de cambio	1,04	1,04	1,04
<i>Cierre del modelo (variación cantidades)</i>			
Gasto Público	0,00	0,00	0,00
Déficit Comercial	0,00	0,00	0,00

¹ Los 22 sectores están agrupados en tres: Agricultura (1), Industria (2 a 16) y Servicios (17 a 22).

² El consumo de Energía comprende el consumo de carbón, petróleo, gas natural y electricidad.

FIGURA 4.18

VARIACIÓN DEL PIB PARA DIFERENTES VALORES DE LA ELASTICIDAD ENERGÍA-CAPITAL / TRABAJO



En la tabla 4.7 se recoge un análisis pormenorizado de estos cambios. Los resultados muestran que los objetivos medioambientales son menos costosos a medida que aumentan los valores de la elasticidad. La utilidad total varía desde 0,30 a 0,32 respectivamente. La variación en los parámetros afecta también al valor del PIB a lo largo del tiempo; los resultados son similares a los de la elasticidad KEL pero, en este caso, los efectos son menos significativos. El consumo energético, por su parte, también muestra una tendencia a la disminución a medida que aumentan las posibilidades de sustitución, lo que en último supone una reducción del coste económico.

Un aspecto interesante es precisamente conocer que ocurre en el consumo energético por tipos de combustible fósiles. Esto nos va a permitir investigar los efectos producidos en el mix energético. Observamos que a mayor valor de la elasticidad entre combustibles y electricidad, mayor disminución del consumo de carbón y electricidad. El petróleo, por su parte, mantiene unos niveles estables y el consumo de gas natural aumenta a medida que aumenta el valor de esta elasticidad. Los resultados, por lo tanto, muestran que una mayor sustituibilidad entre fósiles y electricidad hace disminuir el consumo del carbón y la electricidad a favor del gas natural, que es el combustible fósil menos contaminante.

■ 4.4.6 ELASTICIDAD DE SUSTITUCIÓN INTERTEMPORAL DE UTILIDAD

La utilidad total es el resultado de una agregación de las utilidades de cada periodo. Esta agregación supone que cuanto más alejado en el tiempo, menor es el valor presente descontado de la utilidad. La elasticidad intertemporal de utilidad (σ^U) es el parámetro que controla el grado en el que los agentes intercambian utilidad actual por futura. A mayor valor, mayor flexibilidad de los agentes para este intercambio. El valor original del parámetro σ^U es 0,5. En las especificaciones alternativas se investigan los efectos para un valor de 0,3 y 0,7 respectivamente.

TABLA 4.7

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA VALORES ALTERNATIVOS DE ELASTICIDAD σ^E

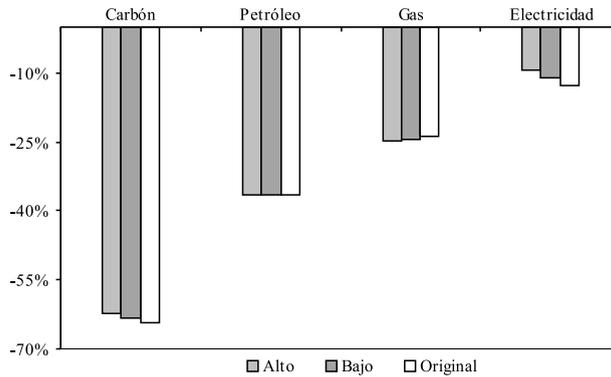
	$\sigma^E_{\text{Original}}$	σ^E_{Alto}	σ^E_{Bajo}
<i>Macroeconomía (% variación cantidades)</i>			
Utilidad Total	-0,31	-0,32	-0,30
Utilidad	-0,99	-1,02	-0,96
PIB	-1,27	-1,33	-1,22
Consumo Privado	-0,77	-0,79	-0,75
Inversión	-2,55	-2,69	-2,42
<i>Comercio Internacional (% variación cantidades)</i>			
Importaciones	-9,71	-9,80	-9,62
Exportaciones	-9,84	-9,94	-9,76
<i>Sectores (% variación cantidades)</i>			
Producción sector Agricultura ¹	-2,61	-2,69	-2,54
Producción sector Industria	-3,83	-3,98	-3,69
Producción sector Servicios	-0,83	-0,85	-0,81
Consumo bienes Agricultura	-5,11	-5,32	-4,92
Consumo bienes Industria	-1,01	-3,35	-3,14
Consumo bienes Servicios	0,42	0,44	0,40
<i>Consumo Energético² (% variación cantidades)</i>			
Consumo energía Total	-23,47	-24,37	-22,60
Consumo energía Productores	-30,35	-31,59	-29,16
Consumo energía Consumidores	-11,03	-11,33	-10,75
<i>Emisiones de Efecto Invernadero (% variación cantidades)</i>			
Emisiones Totales	-51,06	-51,06	-51,06
Emisiones Combustión	-45,35	-44,33	-45,37
Emisiones Proceso	-69,46	-69,52	-69,39
Precio Permisos (euro/ton. CO ₂ eq.)	92,01	95,82	88,40
<i>Precios (variación respecto precios índice 1995 = 1)</i>			
Índice general de precios	1,00	1,00	1,00
Precio del Capital	0,98	0,98	0,98
Precio del Trabajo	0,96	0,96	0,97
Tasa de cambio	1,04	1,04	1,04
<i>Cierre del modelo (variación cantidades)</i>			
Gasto Público	0,00	0,00	0,00
Déficit Comercial	0,00	0,00	0,00

¹ Los 22 sectores están agrupados en tres: Agricultura (1), Industria (2 a 16) y Servicios (17 a 22).

² El consumo de Energía comprende el consumo de carbón, petróleo, gas natural y electricidad.

FIGURA 4.19

VARIACIÓN CONSUMO ENERGÉTICO PARA VALORES ALTERNATIVOS DE LA ELASTICIDAD σ^E 2050



Los resultados para los valores alternativos se recogen en la tabla 4.8. Observamos que los costes aumentan a medida que aumenta el valor de la elasticidad intertemporal, estando la utilidad total entre 0,30 y 0,33. Los aumentos en el valor de la elasticidad hacen que los agentes desplacen mayor consumo a los periodos iniciales ya que de esta forma se obtiene una mayor utilidad. Esta preferencia puede ocasionar que los niveles de inversión se reduzcan y que, por lo tanto, las capacidades de crecimiento económico en el futuro se vean disminuidas. Los consumidores van a elegir, no obstante, aquella relación consumo/inversión óptima que maximiza su utilidad total. La figura 4.20 muestra como inicialmente el consumo para valores altos del parámetro es mayor que el escenario original pero como posteriormente éste se reduce hasta situarse ligeramente por debajo en los últimos periodos.

FIGURA 4.20

VARIACIÓN DE LA UTILIDAD INTERTEMPORAL PARA VALORES ALTERNATIVOS DE LA ELASTICIDAD σ^U

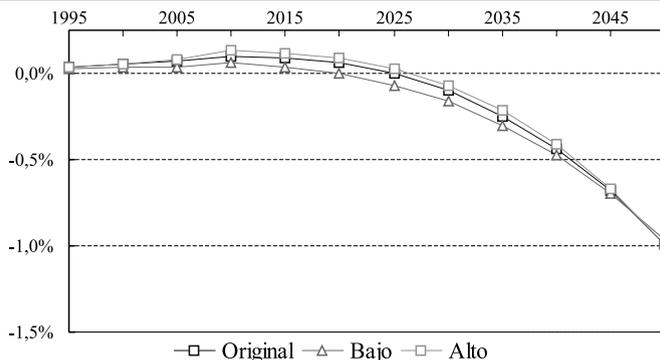


TABLA 4.8

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA VALORES ALTERNATIVOS DE ELASTICIDAD σ^U

	$\sigma^U_{Original}$	σ^U_{Alto}	σ^U_{Bajo}
<i>Macroeconomía (% variación cantidades)</i>			
Utilidad Total	-0,31	-0,30	-0,33
Utilidad	-0,99	-0,99	-0,96
PIB	-1,27	-1,39	-1,03
Consumo Privado	-0,77	-0,78	-0,74
Inversión	-2,55	-2,97	-1,75
<i>Comercio Internacional (% variación cantidades)</i>			
Importaciones	-9,71	-9,87	-9,40
Exportaciones	-9,84	-10,01	-9,53
<i>Sectores (% variación cantidades)</i>			
Producción sector Agricultura ¹	-2,61	-2,65	-2,54
Producción sector Industria	-3,83	-4,05	-3,42
Producción sector Servicios	-0,83	-0,90	-0,70
Consumo bienes Agricultura	-5,11	-5,21	-4,93
Consumo bienes Industria	-1,01	-3,23	-3,26
Consumo bienes Servicios	0,42	0,40	0,46
<i>Consumo Energético² (% variación cantidades)</i>			
Consumo energía Total	-23,47	-25,53	-23,34
Consumo energía Productores	-30,35	-30,44	-30,17
Consumo energía Consumidores	-11,03	-11,05	-10,99
<i>Emisiones de Efecto Invernadero (% variación cantidades)</i>			
Emisiones Totales	-51,06	-51,06	-51,06
Emisiones Combustión	-45,35	-45,35	-45,37
Emisiones Proceso	-69,46	-69,48	-69,42
Precio Permisos (euro/ton. CO ₂ eq.)	92,01	91,59	92,87
<i>Precios (variación respecto precios índice 1995 = 1)</i>			
Índice general de precios	1,00	1,00	1,00
Precio del Capital	0,98	0,98	0,98
Precio del Trabajo	0,96	0,96	0,97
Tasa de cambio	1,04	1,04	1,04
<i>Cierre del modelo (variación cantidades)</i>			
Gasto Público	0,00	0,00	0,00
Déficit Comercial	0,00	0,00	0,00

¹ Los 22 sectores están agrupados en tres: Agricultura (1), Industria (2 a 16) y Servicios (17 a 22).

² El consumo de Energía comprende el consumo de carbón, petróleo, gas natural y electricidad.

■ 4.4.7 ELASTICIDAD DE SUSTITUCIÓN EMISIONES DE PROCESO Y PRODUCCIÓN

Esta elasticidad mide las posibilidades tecnológicas para sustituir emisiones de proceso y producción en cada sector. El valor original del parámetro σ^B es 0,08 y las especificaciones alternativas son 0,06 y 0,1, respectivamente.

Los resultados se recogen en la tabla 4.9. A mayor valor de la elasticidad menores impactos económicos. La utilidad muestra una variación entre 0,26% y 0,38% y del PIB entre 1,1% y 1,48%. La figura 4.22 muestra como aumentar la elasticidad reduce las emisiones de proceso de 60 a 76%.

FIGURA 4.21

VARIACIÓN DEL PIB PARA VALORES ALTERNATIVOS DE LA ELASTICIDAD σ^B

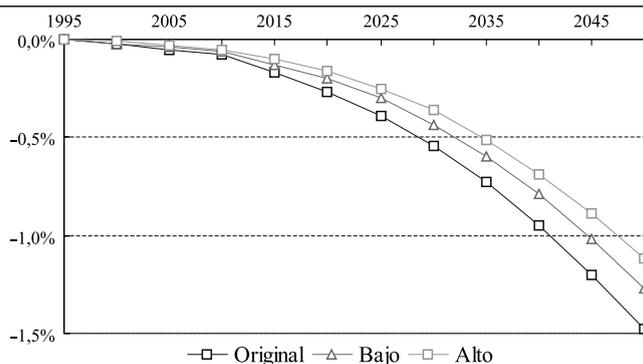


FIGURA 4.22

PORCENTAJE DE VARIACIÓN DEL PIB PARA VALORES ALTERNATIVOS DE LA ELASTICIDAD σ^B

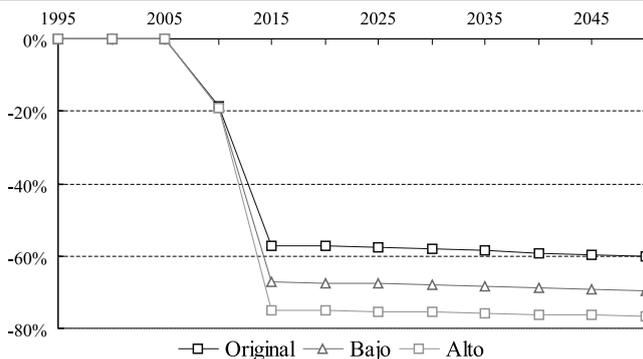


TABLA 4.9

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA VALORES ALTERNATIVOS DE ELASTICIDAD σ^B

	$\sigma^B_{Original}$	σ^B_{Alto}	σ^B_{Bajo}
<i>Macroeconomía (% variación cantidades)</i>			
Utilidad Total	-0,31	-0,26	-0,38
Utilidad	-0,99	-0,86	-1,18
PIB	-1,27	-1,12	-1,48
Consumo Privado	-0,77	-0,42	-0,92
Inversión	-2,55	-2,29	-2,93
<i>Comercio Internacional (% variación cantidades)</i>			
Importaciones	-9,71	-9,02	-10,65
Exportaciones	-9,84	-9,14	-10,80
<i>Sectores (% variación cantidades)</i>			
Producción sector Agricultura ¹	-2,61	-2,33	-3,04
Producción sector Industria	-3,83	-3,50	-4,30
Producción sector Servicios	-0,83	-0,75	-0,95
Consumo bienes Agricultura	-5,11	-4,09	-6,66
Consumo bienes Industria	-1,01	-2,88	-3,76
Consumo bienes Servicios	0,42	0,39	0,47
<i>Consumo Energético² (% variación cantidades)</i>			
Consumo energía Total	-23,47	-22,02	-25,40
Consumo energía Productores	-30,35	-28,59	-32,68
Consumo energía Consumidores	-11,03	-10,15	-12,25
<i>Emisiones de Efecto Invernadero (% variación cantidades)</i>			
Emisiones Totales	-51,06	-51,06	-51,06
Emisiones Combustión	-45,35	-43,11	-48,27
Emisiones Proceso	-69,46	-76,69	-60,06
Precio Permisos (euro/ton. CO ₂ eq.)	92,01	82,86	105,33
<i>Precios (variación respecto precios índice 1995 = 1)</i>			
Índice general de precios	1,00	1,00	1,00
Precio del Capital	0,98	0,98	0,98
Precio del Trabajo	0,96	0,97	0,96
Tasa de cambio	1,04	1,04	1,04
<i>Cierre del modelo (variación cantidades)</i>			
Gasto Público	0,00	0,00	0,00
Déficit Comercial	0,00	0,00	0,00

¹ Los 22 sectores están agrupados en tres: Agricultura (1), Industria (2 a 16) y Servicios (17 a 22).

² El consumo de Energía comprende el consumo de carbón, petróleo, gas natural y electricidad.

■ 4.4.8 RESTO DE ELASTICIDADES

En este apartado se analizan el resto de las elasticidades no consideradas en los apartados anteriores. En la figura 4.21 se presentan las variaciones del PIB en el año 2050 para cada uno de las elasticidades. Los valores alternativos en todas las elasticidades serán los mismos; una décima más para los valores altos y una décima menos para los bajos. Las elasticidades se pueden dividir en tres bloques; las cuatro primeras son utilizadas en funciones de producción, las tres siguientes en la función de utilidad y, las dos restantes en las funciones de comercio internacional.

Dentro de las funciones de producción la elasticidad Capital y Trabajo (σ^{KL}) es la que mayor variabilidad presenta en sus reducciones del PIB. La magnitud de estas variables es importante y, por ello, su capacidad para ser sustituidos en cualquier sector e influir en los resultados es considerable. Un mayor valor en la elasticidad hace que se intercambie una mayor cantidad de trabajo por capital; los resultados de los precios de ambos factores de producción sugieren que el trabajo se deprecia más frente al capital puesto que este es finalmente un recurso más escaso.

Por otra parte, entre las funciones de producción, se encuentra la elasticidad de Materiales y Servicios por Capital/Trabajo/Energía (σ^0). En este caso, como el valor original de la elasticidad es cero, únicamente es posible analizar un aumento de su valor (σ^0_{Alta}). El impacto de esta elasticidad es pequeño ya que la depreciación del capital y el trabajo por la restricción de las emisiones se ve compensada por una apreciación similar de los recursos energéticos.

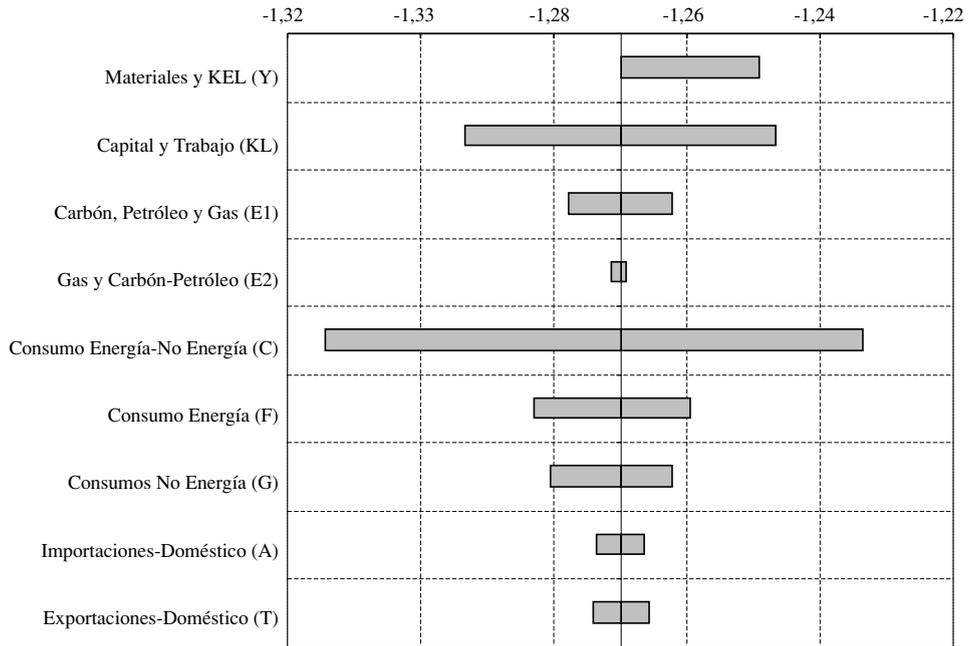
Los parámetros restantes de la función de producción, que son la elasticidad entre combustibles fósiles (σ^{E1}), y la elasticidad entre Gas y Carbón/Petróleo (σ^{E1}) para el sector electricidad, tienen un efecto menor y aunque no afectan a nivel macroeconómico si ejerce una influencia importante en la configuración final del mix energético.

En la función de utilidad la elasticidad entre el consumo de bienes energéticos y otros bienes (σ^C) es un parámetro importante; permite flexibilizar el comportamiento del consumidor y dirigirlo hacia patrones de consumo menos intensivos en energía y en definitiva más baratos. El consumidor responde sustituyendo todo lo posible energía por otros bienes por lo que a mayor elasticidad menores costes económicos. Por otra parte, las elasticidades entre bienes energéticos (σ^{EG}) y otros bienes (σ^{NE}) actúan en la misma dirección pero con un efecto menor.

Por último, las elasticidades de comercio internacional, permiten sustituir importaciones (σ^A) y exportaciones (σ^I) por bienes domésticos, y tienen un efecto pequeño debido a las limitaciones *ad hoc* impuestas en el déficit de comercio.

FIGURA 4.23

PORCENTAJE DE VARIACIÓN DEL PIB PARA DIFERENTES VALORES EN EL RESTO DE LAS ELASTICIDADES



4.5 CONCLUSIONES

En este capítulo hemos analizado el impacto económico de la política contra el cambio climático en España mediante una extensión de los objetivos del Protocolo de Kyoto hasta el año 2050. Para ello hemos utilizado un modelo de equilibrio general dinámico que nos ha permitido investigar los efectos de esta política en las variables macroeconómicas, en la estructura sectorial, en el comercio internacional y en el consumo energético. Estos impactos están basados en un análisis coste-eficiente y son simulados a través de un mercado de permisos de emisión.

El coste económico, en términos de variación equivalente Hickisiana, supone una pérdida total hasta el año 2050 de un 0,30%. La utilidad pasa de unos niveles positivos en los primeros años a reducirse en los últimos hasta un 1%. El coste en términos de PIB y para el año 2050 supone una reducción aproximada de un 1,27% respecto a la proyección del *escenario BAU*. Esto no quiere decir que el PIB disminuya en términos absolutos sino que será menor que el de las proyecciones.

El consumo privado se reduce finalmente un 0,77% pero aumenta en los primeros años (ver figura 4.2) ya que los agentes adelantan los efectos de la política decidiendo consumir más en el presente y menos en el futuro. Este fenómeno ilustra como en los primeros años, y antes de que la política ambiental entre en vigor, las emisiones tienen una tendencia a aumentar, lo que emitiría explicar, aunque solo en parte, el aumento de las emisiones ocurrido en España en los últimos años.

Los resultados ilustran como una reducción de las emisiones de GEIs para el año 2050 de un 51% es compatible con una reducción del PIB de un 1,27%. La razón detrás de este desacople relativo entre polución y crecimiento económico reside en las mejoras en la eficiencia de GEIs, en las posibilidades de sustitución existentes y, en definitiva, en las posibilidades de la tecnología actual y la futura.

Los resultados también muestran un desacople relativo entre las emisiones de GEIs y el consumo energético; una reducción del 51% en las emisiones es compatible con una reducción del consumo de energía de casi un 23%. Esto es posible gracias a la sustitución del mix energético, tanto en la producción como en el consumo, de los combustibles más contaminantes hacia menos contaminantes. El resultado es que finalmente el carbón reduce su uso un 63%, el petróleo un 36%, el gas natural un 24% y, por último, la electricidad un 11%.

Las emisiones de combustión se disminuyen un 45% mientras que las de proceso lo hacen en un 65%. Reducir las emisiones de proceso es, en primer término, más barato que otras alternativas, aunque finalmente estas posibilidades también terminan por agotarse. Es entonces cuando comienzan a reducirse las emisiones de combustión, que están más ligadas al consumo de combustibles fósiles.

Estos hechos permiten mostrar, en términos generales, el funcionamiento de la mitigación. En primer lugar, se reducen las emisiones de proceso mediante cambios en el proceso productivo o medidas correctoras de tipo «final de tubería» y después se reducen las emisiones de combustión, mediante la sustitución entre inputs energéticos o entre energía y otros factores como capital y trabajo. Esto ocurre con diferente intensidad en cada sector ya que las posibilidades de sustitución varían. Al mismo, y por el lado de la demanda, los precios de los bienes que utilizan inputs más contaminantes aumentan modificando los patrones de consumo. Por último, cuando todas las posibilidades han sido explotadas, la única manera de limitar las emisiones es mediante una reducción de la actividad económica.

Los resultados muestran como los costes marginales de reducción aumentan de manera progresiva a medida que los objetivos de reducción son más intensos. Las primeras unidades reducidas son menos costosas que las siguientes, y así sucesivamente, ya que las posibilidades de reducción más baratas se van agotando. El precio de los permisos aumenta desde un valor nulo al principio de la política hasta los 92 euros por tonelada al finalizar el 2050.

En el comercio internacional se produce, en términos generales, una disminución de las importaciones y de las exportaciones, y un ligero deterioro de los términos del intercambio. La competitividad empeora ya que el efecto positivo debido a una reducción de la dependencia energética es menor que las pérdidas en las exportaciones debidas al encarecimiento de los procesos productivos.

Los resultados a nivel sectorial muestran una amplia variabilidad. En un MEGA los factores productivos son empleados completamente por lo que los cambios deben ser entendidos como un transvase de recursos de unos sectores a otros donde su uso es ahora más rentable. A grandes rasgos, se puede observar un cambio en los patrones de producción y de consumo de sectores o productos «sucios» hacia sectores o productos «limpios». La producción de los sectores relacionados con la agricultura, la industria y la energía se reducen mientras que la producción de los sectores relacionados con los servicios aumenta. Los patrones de consumo sufren un proceso similar; los productos de la energía y de sectores intensos en la contaminación como la agricultura son sustituidos por servicios comerciales y no comerciales. Esto se traduce en una mayor profundización de la terciarización económica.

Asimismo, el carácter incierto de algunos parámetros hace necesario un análisis sistemático de su sensibilidad. Entre los parámetros analizados los más importantes son el crecimiento económico, la ecoeficiencia de combustión y proceso, y la elasticidad de sustitución entre Energía y Capital-Trabajo.

La conclusión principal de este capítulo es que el cumplimiento del Protocolo de Kyoto en España tendrá un coste económico que dependerá fundamentalmente de las posibilidades de sustitución, de los cambios en los patrones de consumo y de los desarrollos tecnológicos futuros. Según los datos y el modelo utilizados los impactos del control de las emisiones harán disminuir en el largo plazo la actividad económica aproximadamente un 1,2%. Si tenemos en cuenta la variabilidad de algunos parámetros podríamos ampliar el rango del impacto económico y situarlo en un 0,5 y 1,5% del Producto Interior Bruto.

5.1 INTRODUCCIÓN

El Protocolo de Kyoto (UN 1997), y sus posteriores derivaciones en los Acuerdos de Bonn y Marrakech (UNFCCC, 2001), configuran el primer gran compromiso internacional, en materia de cambio climático, en el que se establecen unos objetivos para la reducción de las emisiones de efecto invernadero (GEIs) y unos plazos de cumplimiento (Barret 1998).

El objetivo global es que los países industrializados establezcan sus emisiones conjuntas en un 5,2% (respecto a las emisiones de 1990) para el periodo 2008-2012. Algunos países como Australia o EE.UU., que representan más del 25% de las emisiones mundiales, no participan, por el momento, en estos acuerdos, mientras se plantea la incorporación de otras potencias emergentes como China o India, con un consumo energético importante y creciente.

Las políticas sobre cambio climático son recientes y están inmersas en un primer proceso de implantación y revisión. Las decisiones en este campo no son sencillas, ya que el coste económico que suponen, y el beneficio futuro que generarán, se reparte de forma desigual entre los países, dificultando la necesaria cooperación internacional. La incertidumbre que rodea la evolución del sistema climático dificulta más aún el análisis y la toma de decisiones. Éstas, y otras razones, explican las dificultades que el Protocolo de Kyoto está encontrando en su camino para generar un apoyo unánime y decidido.

Ante esta incertidumbre política internacional, resulta relevante poder conocer como los posibles cambios en los objetivos y en los plazos de esta política van a influir sobre los costes de mitigación o reducción de las emisiones. Este capítulo pretende, precisamente, analizar el efecto de estos cambios de la política para el caso particular de España.

Para realizar este análisis plantearemos un escenario que recoge el cumplimiento del Protocolo de Kyoto en España (*escenario Kyoto 2050*), y otros escenarios en donde los plazos de cumplimiento son más largos (*escenario Kyoto+10*) o los objetivos de reducción más ambiciosos (*escenario Post-Kyoto*).

Para este análisis utilizaremos el modelo DANTE, explicado en el capítulo 2, y los datos para la calibración presentados en el capítulo 3.

5.2 ESCENARIOS

A continuación presentamos los diferentes escenarios propuestos. La figura 5.1 permite conocer la trayectoria de las emisiones para cada uno de ellos.

- O. *BAU*: Escenario de referencia o escenario «Business as Usual», representa una situación en la que no existe una política de control sobre las emisiones de efecto invernadero.
- A. *KYOTO 2050*: Este escenario representa los objetivos del Protocolo de Kyoto extendidos hasta el 2050. Esto supone la estabilización de las emisiones en un 15% sobre las emisiones de 1990 para el periodo 2008-2012. Las implicaciones de este escenario ha sido ya analizadas extensamente en el anterior capítulo.
- B. *KYOTO+10*: El *escenario Kyoto+10* es idéntico que el *escenario Kyoto 2050*, pero los objetivos de reducción aparecen desplazados 10 años en el tiempo.
- C. *POST-KYOTO*: El *escenario Post-Kyoto* es idéntico al *escenario Kyoto* hasta el año 2030, pero para 2035 las emisiones se reducen hasta alcanzar los niveles del año 1990.

5.3 RESULTADOS

Los resultados obtenidos para cada uno de los escenarios, y para el año 2050, quedan recogidos en la tabla 5.1. Esta tabla nos da una visión general de los cambios futuros en las principales variables económicas y energéticas. Las figuras 5.2 y 5.3, en cambio, nos permiten pasar de la imagen en un año concreto, a una visión sobre la evolución tempo-

FIGURA 5.1

EMISIONES TOTALES PARA LOS DIFERENTES ESCENARIOS

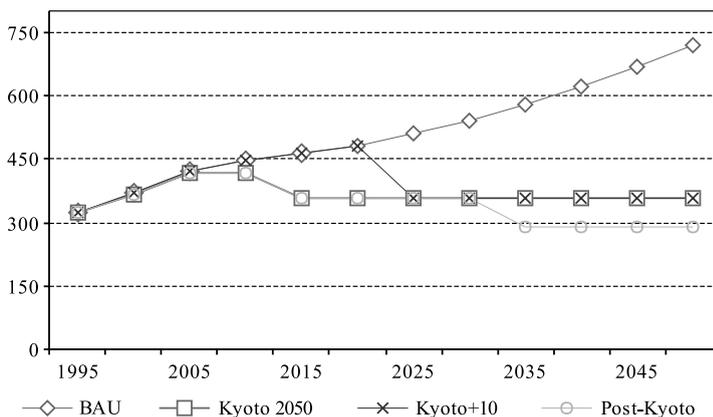


TABLA 5.1

**RESULTADOS GENERALES POR TIPO DE ESCENARIO,
RESPECTO AL ESCENARIO BAU Y EN 2050**

	Kyoto 2050	Kyoto+10	Post-Kyoto
<i>Macroeconomía (% variación cantidades)</i>			
Utilidad Total	-0,31	-0,30	-0,61
Utilidad	-0,99	-0,98	-1,85
PIB	-1,27	-1,26	-2,19
Consumo Privado	-0,77	-0,76	-1,43
Inversión	-2,55	-2,55	-4,19
<i>Comercio Internacional (% variación cantidades)</i>			
Importaciones	-9,71	-9,75	-14,03
Exportaciones	-9,84	-9,84	-14,22
<i>Sectores (% variación cantidades)</i>			
Producción sector Agricultura ¹	-2,61	-2,61	-4,23
Producción sector Industria	-3,83	-3,83	-5,70
Producción sector Servicios	-0,83	-0,83	-1,39
Consumo bienes Agricultura	-5,11	-5,11	-8,67
Consumo bienes Industria	-1,01	-1,00	-0,94
Consumo bienes Servicios	0,42	0,42	0,41
<i>Consumo Energético² (% variación cantidades)</i>			
Consumo energía Total	-23,47	-23,46	-31,55
Consumo energía Productores	-30,35	-11,03	-16,20
Consumo energía Consumidores	-11,03	-30,35	-40,05
<i>Emisiones de Efecto Invernadero (% variación cantidades)</i>			
Emisiones Totales	-51,06	-51,77	-61,10
Emisiones Combustión	-45,35	-45,35	-57,45
Emisiones Proceso	-69,46	-71,25	-72,21
Precio Permisos (euro/ton. CO ₂ eq.)	92,01	92,02	168,46
<i>Precios (variación respecto precios índice 1995 = 1)</i>			
Índice general de precios	1,00	1,00	1,00
Precio del Capital	0,98	0,98	0,97
Precio del Trabajo	0,96	0,96	0,94
Tasa de cambio	1,04	1,04	1,06
<i>Cierre del modelo (variación cantidades)</i>			
Gasto Público	0,00	0,00	0,00
Déficit Comercial	0,00	0,00	0,00

¹ Los 22 sectores están agrupados en tres: Agricultura (1), Industria (2 a 16) y Servicios (17 a 22).

² El consumo de Energía comprende el consumo de carbón, petróleo, gas natural y electricidad.

FIGURA 5.2

PORCENTAJE DE VARIACIÓN DEL PIB PARA LOS DIFERENTES ESCENARIOS RESPECTO DEL *ESCENARIO BAU*

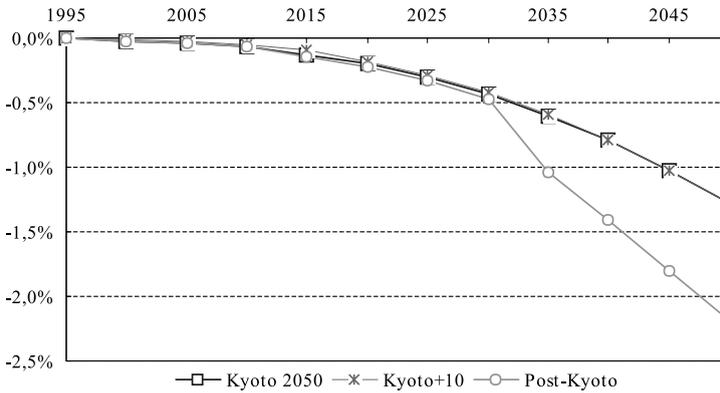
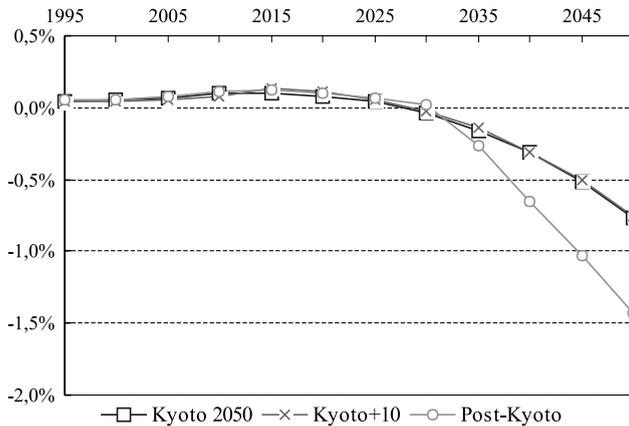


FIGURA 5.3

PORCENTAJE DE VARIACIÓN DEL CONSUMO PRIVADO PARA LOS DIFERENTES ESCENARIOS RESPECTO DEL *ESCENARIO BAU*



ral de dos agregados importantes: el PIB y en el consumo privado. A continuación se recoge una interpretación de estos resultados para los escenarios alternativos planteados.

■ 5.3.1 ESCENARIO KYOTO+10

El *escenario Kyoto+10* difiere respecto del *escenario Kyoto 2050* en que los objetivos de reducción están retrasados 10 años en el tiempo. Los primeros años las emisiones

siguen su senda natural de crecimiento, concentrando el esfuerzo de en el periodo 2015-2020, hasta alcanzar los niveles de Kyoto.

Los resultados, hasta el año 2015, muestran que el consumo privado sigue una senda positiva y ascendente, llegando incluso a aumentar un 0,52% en el año 2010 (ver tabla 5.2). El PIB, en cambio, decrece en todo momento, aunque la disminución es siempre ligeramente inferior a la mostrada por el *escenario Kyoto 2050*.

En el año 2020, cuando el nivel de reducción ha alcanzado los objetivos de Kyoto, la disminución del PIB para el *escenario Kyoto+10* es un 1%, mientras que la reducción para el *escenario Kyoto 2050* era un 1,25%. Esto ilustra un hecho importante; a saber, que retrasar el cumplimiento de los objetivos de Kyoto permite que tecnologías más limpias se desarrollen, haciendo que los costes de mitigación en el corto plazo sean inferiores.

Sin embargo, también observamos que los costes para ambos escenarios convergen con el tiempo. En el año 2030 los costes son muy similares, 2,17% frente a 2,26%, y en el año 2050 apenas existe ya diferencia.

En definitiva, la diferencia en costes entre el *escenario Kyoto+10* y el *escenario Kyoto 2050* es, finalmente, pequeña. Esto ilustra otra importante conclusión: a largo plazo los costes de mitigación están poco influenciados por variaciones en los periodos de cumplimiento (ver análisis de sensibilidad).

■ 5.3.2 ESCENARIO POST-KYOTO

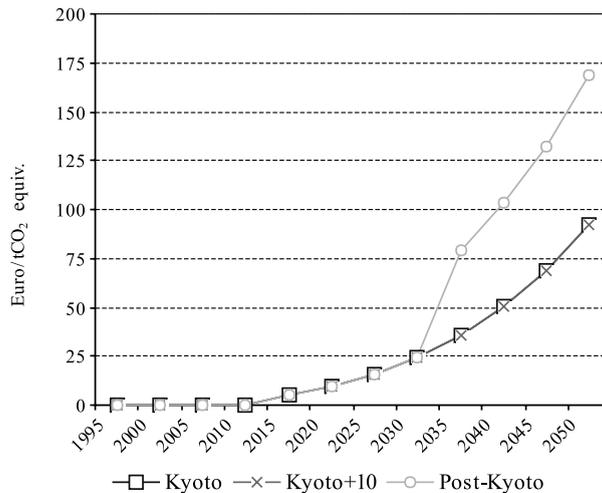
Los objetivos de reducción en el *escenario Post-Kyoto* son idénticos a los del *escenario Kyoto 2050*, pero sólo hasta el año 2030; en este año, las emisiones se reducen hasta alcanzar los niveles de 1990. Esto supone que para el año 2050 la reducción total de las emisiones respecto al escenario BAU será de un 61% (ver tabla 5.3), mientras que las del *escenario Kyoto 2050* son un 51%.

Los impactos económicos durante este tiempo son similares a los del *escenario Kyoto 2050*; el PIB en 2030 disminuye un 0,44% y un 0,42%, respectivamente. Los impactos económicos para ese año en el *escenario Kyoto 2050* y *Post-Kyoto* no son idénticos ya que, los agentes conocen que la política será en el segundo escenario más estricta, y deciden consumir más todavía en los primeros años.

A partir de 2030 el PIB sufre un recorte importante pasando de una reducción del 1,27% (escenario Kyoto) en 2050 hasta una reducción del 2,19%. Esta diferencia se manifiesta también a través de un incremento de los costes marginales de mitigación, es decir, a través del precio de los derechos de emisión. La figura 5.4 recoge la evolución mostrada

FIGURA 5.4

COSTES MARGINALES REDUCCIÓN DE EMISIONES ESCENARIO KYOTO, KYOTO+10, POST-KYOTO



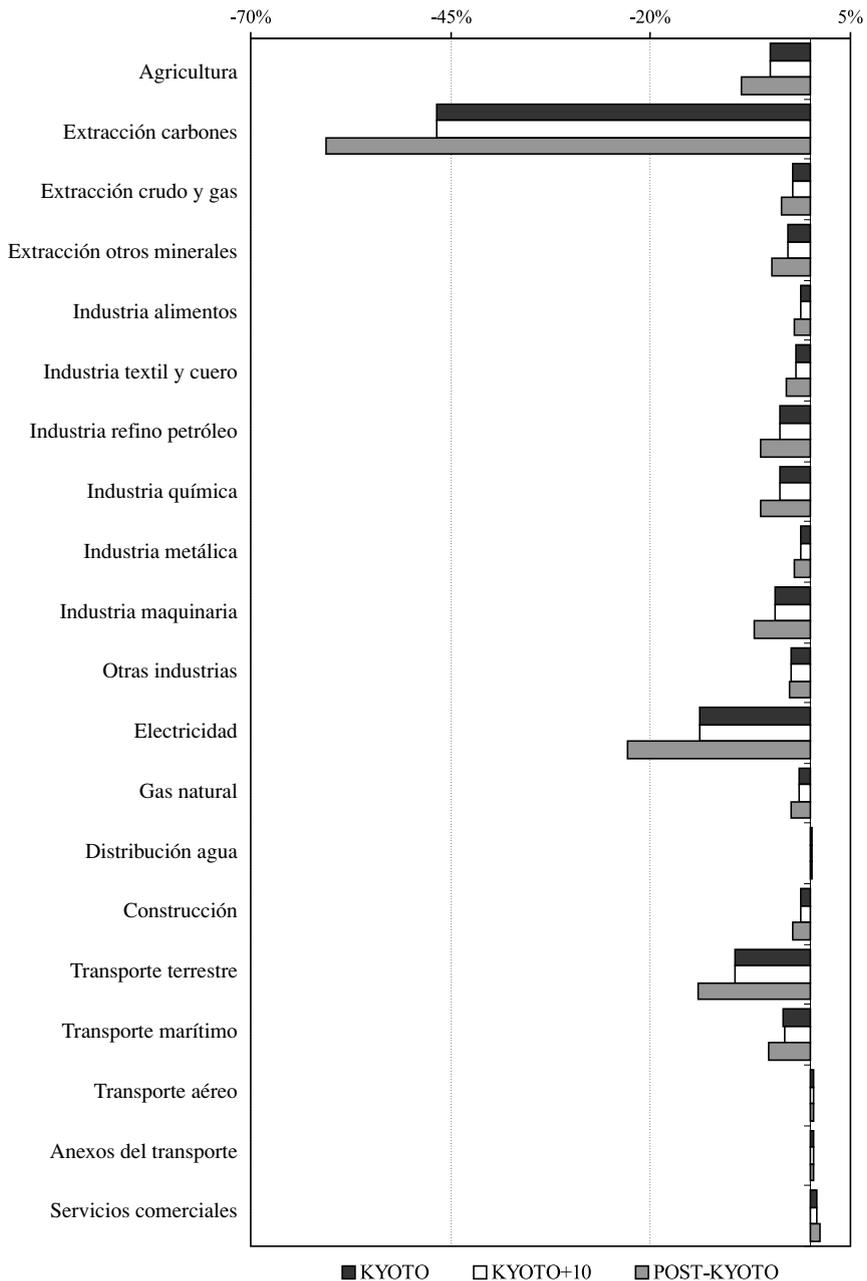
por los precios de los permisos, que pasan de 92€/ tCO₂ en el *escenario Kyoto 2050* a 168 €/tCO₂ en el *escenario Post-Kyoto*.

Estos resultados ilustran que, aunque unos objetivos más ambiciosos para la reducción de emisiones, pueden reducir los riesgos de sufrir efectos climáticos adversos, existe una importante limitación, a saber; que los costes económicos aumentando más que proporcionalmente a medida que las reducciones de las emisiones se hacen más estrictas. Las posibilidades de sustitución más baratas se van agotando gradualmente, siendo necesario recurrir cada vez a medidas más difíciles y caras. Finalmente, y en nuestro caso, una reducción de las emisiones un 20 por ciento mayor, *escenario Post-Kyoto* frente a *escenario Kyoto*, supone un aumento de los costes totales de casi un 40%.

En los tres escenarios analizados la distribución de los impactos macroeconómicos por sectores es similar. Aunque las magnitudes no sean idénticas, el impacto en el *escenario Post-Kyoto* es mayor, el efecto sectorial es básicamente el mismo. En general, el efecto de las políticas es o bien posponer el impacto en los sectores —mediante un efecto temporal— o bien hacerlo más intenso —mediante un efecto escala—, pero, en todo momento, el sentido de la reestructuración económica es similar.

La distribución de los impactos por sectores para los tres escenarios queda representada en la figura 5.5. Esta figura ilustra, concretamente, el efecto sectorial sobre el consumo privado para el año 2050. Las figuras sobre producción y comercio internacional no se recogen en el texto, ya que las conclusiones son idénticas.

FIGURA 5.5
**PORCENTAJE DE VARIACIÓN EN EL CONSUMO PRIVADO SECTORIAL
 SEGÚN ESCENARIOS Y PARA EL AÑO 2050**



5.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad que realizaremos a continuación nos va a permitir profundizar, mediante un abanico de escenarios más amplio, en la influencia de las variaciones en los objetivos y los plazos sobre los impactos de las políticas de cambio climático.

En primer lugar, establecemos las variaciones en los plazos; retrasar los objetivos de Kyoto 5, 10 y 15 años. En segundo lugar, establecemos las variaciones en los objetivos; reducir las emisiones hasta un 15% por encima del nivel de 1990 (Protocolo de Kyoto), hasta un 10%, un 5% y, finalmente, hasta los niveles de 1990.

En la tabla 5.2 recogemos los efectos sobre el PIB de los dos tipos de alternativas. Los resultados para los diferentes plazos muestran que, aunque los impactos económicos disminuyen a medida que retrasamos los plazos, el efecto es poco significativo. Los resultados sobre los cambios en los objetivos muestran, sin embargo, que estas variaciones sí son importantes, y que los costes aumentan más que proporcionalmente. Por lo tanto, la importancia de la elección los objetivos, en términos de impacto económico, es mayor que la de los plazos.

TABLA 5.2

SENSIBILIDAD DEL PIB (%) ANTE VARIACIONES EN LOS OBJETIVOS Y EN LOS PLAZOS

	2010	2020	2030	2040	2050
<i>Plazos de cumplimiento del Protocolo de Kyoto</i>					
2010	-0,06	-0,20	-0,44	-0,79	-1,27
2015	-0,05	-0,18	-0,42	-0,79	-1,27
2020	-0,04	-0,11	-0,40	-0,78	-1,26
2025	-0,03	-0,08	-0,34	-0,75	-1,25
<i>Objetivos de reducción de emisiones (% respecto a las emisiones de 1990)</i>					
Nivel de 1990 + 15%	-0,06	-0,20	-0,44	-0,79	-1,27
Nivel de 1990 + 10%	-0,07	-0,21	-0,45	-0,96	-1,53
Nivel de 1990 + 5%	-0,07	-0,22	-0,47	-1,17	-1,83
Nivel de 1990	-0,07	-0,22	-0,48	-1,41	-2,19

5.5 CONCLUSIONES

Las políticas sobre cambio climático están sujetas a cambios y paulatinas adaptaciones, a medida que avanza la cooperación internacional o que progresa el conocimiento sobre la evolución del clima. Por ello, en este capítulo se ha planteado el analizar cómo varían los costes de mitigación ante cambios en las políticas que actualmente se encuentran en vigor.

Las conclusiones principales que hemos obtenido indican que retrasar la política 10 años, escenario *Kyoto+10*, influye sólo momentáneamente, ya que los costes económicos finales acaban convergiendo en el largo plazo (reducción del PIB 1,2%). Por el contrario, aumentar los objetivos de reducción de emisiones hasta los niveles de 1990, *escenario Post-Kyoto*, sí aumentaría los costes más que proporcionalmente, haciendo que el PIB hasta el 2,19%.

Otra forma interesante de observar estos resultados puede ser fijarnos en los costes de mitigación en términos de pérdida de crecimiento económico. En la tabla 5.3 presentamos el crecimiento anual medio por periodo para cada uno de los escenarios. En el *escenario BAU* el PIB crece a una tasa del 2,5%, ya que no existe ninguna restricción sobre las emisiones, mientras que en el resto de escenarios la tasa media anual de crecimiento es siempre inferior. En el *escenario Kyoto 2050* y en el *escenario Kyoto+10* el crecimiento económico es similar, mientras que en el *escenario Post-Kyoto* el crecimiento resulta más afectado.

Actuar más tarde tiene la ventaja de permitirnos esperar a que la tecnología mejore, aunque este fenómeno está limitado por el agotamiento de las posibilidades de sustitución. Es decir, observamos que a largo plazo el efecto «mejora tecnológica» acaba siendo eliminada por el agotamiento del «efecto sustitución», por lo que, finalmente, retrasar o adelantar los plazos de los objetivos no tiene un impacto muy significativo. Pos-

TABLA 5.3

CRECIMIENTO MEDIO DEL PIB POR PERIODO

	1995-2010	2010-2030	2030-2050	1990-2050
BAU	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%
Kyoto	2,49%	2,47%	2,39%	2,45%
Kyoto+10	2,49%	2,47%	2,39%	2,45%
Post-Kyoto	2,49%	2,45%	2,33%	2,45%

poner la política puede ser una buena opción, si tuviéramos la certeza de que la tecnología va a mejorar sustancialmente en el corto o medio plazo. Pero, si por el contrario, la tecnología siguiese la tendencia mostrada hasta la fecha, sería mejor opción adelantarla, ya que así, reduciríamos con anterioridad nuestra contribución al stock global de GEIs, y permitiríamos poner en marcha nuevos incentivos para que estas nuevas tecnologías realmente se desarrollen.

Actuar más enérgicamente contra el cambio climático tiene la importante desventaja de hacer que los costes aumenten más que proporcionalmente a medida que estas reducciones se hacen más intensas. Sin embargo, si en el largo plazo se diera un cambio energético o tecnológico importante, algunas medidas más estrictas, como las propuestas en la alternativa Post-Kyoto, podrían resultar compatibles con un crecimiento normal de la economía.

Finalmente, se puede concluir que, en lo referente al impacto económico, la importancia de los plazos es poco significativa en comparación con la importancia que tiene la elección de unos objetivos de reducción adecuados.

6.1 INTRODUCCIÓN

La política ambiental puede tener ciertos efectos positivos añadidos. La hipótesis del «doble dividendo» (Pearce 1991; Oates 1993) hace referencia a los dos posibles beneficios, mejorar el medio ambiente y mejorar la economía, que podrían obtenerse utilizando los ingresos de la fiscalidad ambiental para reducir otros impuestos tradicionales. La idea es sustituir impuestos que gravan «bienes», como por ejemplo el trabajo o la inversión, por impuestos que gravan «males» como la contaminación. Esta hipótesis tiene una especial relevancia en el caso del cambio climático, ya que sus costes serán bastante altos comparados con los de otras políticas ambientales y, por lo tanto, la posibilidad de obtener un doble dividendo será mayor.

En Goulder (1994) y Bovenberg (1996) podemos encontrar una revisión de las primeras aportaciones teóricas y aplicadas en este campo de investigación. La literatura ha distinguido generalmente entre doble dividendo «fuerte» y «débil». La versión fuerte establece que una reforma fiscal ambiental –manteniendo una presión fiscal constante– tendrá un coste negativo independientemente de cómo sean devueltos los ingresos de la política ambiental. La versión débil establece que el coste de este tipo reformas será menor, si en vez de devolver los ingresos vía transferencias se devuelven vía reducción de otros impuestos.

Los análisis empíricos tienden en general a rechazar la hipótesis del doble dividendo «fuerte» (Goulder 1994; Bovenberg 1996), aunque los modelos teóricos plantean esa posibilidad en los casos en los que las economías actúan inmersas en unos mercados de factores muy distorsionados (Goulder y Bovenberg 2002). El coste final dependerá de la relación de magnitudes entre el efecto «interacción», al introducir un nuevo impuesto ambiental, y el efecto «reciclaje», al reducir los impuestos tradicionales. Una conclusión importante que se puede extraer de los trabajos realizados hasta la fecha es que, para una estimación correcta del doble dividendo, es esencial analizar economías que recojan todas las distorsiones reales previas existentes. Para ello, es necesario utilizar metodologías que permitan capturar las múltiples interacciones, tanto directas como indirectas, que se producen en una economía con la introducción de un impuesto, para lo que es preciso un análisis de equilibrio general.

La existencia del doble dividendo «débil» es en cambio más discutida. Una revisión empírica de la literatura (Bosquet 2001; Gago *et al* 2004; Partuelli *et al.* 2005) muestra que los resultados dependen de los países analizados, de los modelos utilizados (macroeconómicos, input-

output, equilibrio parcial, equilibrio general, ingenieriles, etc.) y, finalmente, del tipo de reformas simuladas (transferencias, impuestos al trabajo, capital, renta, producción, cotizaciones a la seguridad social, etc.). Se observa que en determinados casos es posible obtener un doble dividendo débil, pero también, como muestra Babiker *et al* (2003), puede ocurrir justamente lo contrario; es decir, que reciclar los ingresos de la política ambiental mediante una reducción de impuestos tradicionales podría ser peor que devolverlos simplemente mediante transferencias directas. Esto puede suceder en aquellos casos en los que una reducción de impuestos intensifique una distorsión previa existente e importante entre bienes de consumo. Por ello, es importante subrayar que la hipótesis del doble dividendo tiene un carácter diverso en su versión «débil», y que sólo puede ser contestada de una manera empírica y concreta.

Dentro de las posibles reformas fiscales, la literatura, especialmente la europea, se ha centrado en una reducción de los impuestos al trabajo, motivada por su persistente problema de desempleo. Se espera que, reduciendo los costes laborales, se pueda conseguir impulsar el mercado de trabajo mediante una mayor sustitución de capital, ocio u otros inputs por trabajo (Carraro et Al 1996, Bye 2000; Bosello et Al 2001). El doble dividendo será más probable, aunque hasta cierto punto, cuanto más directa sea la relación entre salarios reales y desempleo (Holmlund y Kolm 2000).

La mayoría de los estudios se han centrado también en las posibilidades de doble dividendo en un contexto estático y a corto plazo. Los efectos dinámicos pueden ser importantes ya que las políticas ambientales, sobre todo la política contra el cambio climático, se extenderán durante un largo plazo pudiendo afectar en muchos casos al crecimiento económico. Algunas excepciones a esta norma son los trabajos de Wilcoxon (1993) y Goulder (1995), para la economía Norteamericana, y Bye (2000), para la economía Noruega.

En el caso de España diversos autores han abordado la hipótesis del doble dividendo. Manresa y Sancho (2005) analizan diversas posibilidades a través de un MEGA estático con desempleo involuntario. A través del estudio de la relación entre salarios reales y desempleo, concluyen que el doble dividendo será tanto más probable cuanto mayor sea la flexibilidad en el mercado de trabajo. Por otro lado, Gómez *et al* (2004) realizan un análisis similar pero caracterizando el mercado de trabajo mediante un modelo de ajuste o casación entre desempleados y puestos vacantes, y concluyen que un doble dividendo débil en el empleo es posible, siendo mejor opción reducir las contribuciones de los trabajadores más cualificados frente a la de aquellos menos cualificados. Por último Labandeira y Rodríguez (2004) realizan un estudio de doble dividendo en un MEGA en el que integran un modelo micro-económico de demanda con un sector residencial desagregado. Esto les permite mostrar la existencia de un doble dividendo débil y afirmar que una reforma fiscal ambiental en España no tendría efectos regresivos apreciables.

La mayoría de los estudios sobre el doble dividendo son generalmente análisis de tipo estático y están centrados en reformas sobre impuestos al trabajo. En este capítulo analizamos la hipótesis del doble dividendo en un contexto dinámico y bajo diferentes alternativas

como son las reducciones de otros impuestos al consumo y al capital. La política analizada es además basada en una reducción de las emisiones acorde con la política contra el cambio climático en España. Un aspecto destacable del análisis es que la política se introduce simulando un mercado de permisos perfecto, lo que nos permite encontrar soluciones coste-eficientes. Para ello primero fijamos, vía cantidades, el dividendo ambiental, y después obtenemos el dividendo económico a través del cálculo de su coste mínimo.

Para realizar este análisis utilizamos una versión del modelo DANTE presentado en el Capítulo 2 y los datos descritos en el Capítulo 3. El modelo ha sido simplificado eliminando los elementos que no son estrictamente necesarios. En primer lugar, se ha considerado una estructura de producción idéntica en todos los casos (figura 2.3 del capítulo 2.) y, en segundo lugar, consideramos únicamente las emisiones de CO₂ provenientes de la combustión.

El capítulo se ordena como sigue: en la sección 6.2 describimos los escenarios de análisis, en la sección 6.4, presentamos los resultados y, por último, en la 6.5 recogemos las conclusiones principales obtenidas a lo largo de todo el trabajo.

6.2 ESCENARIOS

La política ambiental que analizamos es una reducción de los GEIs en España acorde con los objetivos y los plazos establecidos en el Protocolo de Kyoto a largo plazo. La política se implementa de una manera coste-efectiva; a través de un mercado de permisos perfecto donde el gobierno controla los permisos y los va reduciendo al ritmo que marcan los objetivos. Esto generará unos ingresos que son devueltos al sistema de forma que la presión fiscal se mantenga siempre constante.

Para analizar la hipótesis del doble dividendo de una reforma fiscal es necesario tener en cuenta, por un lado, la introducción de la política ambiental, y por el otro, la forma en la que son reciclados sus ingresos. Las posibilidades de reciclar de estos ingresos quedan recogidas en la tabla 6.1. Dentro de las opciones se contempla la compensación vía transferencias, vía reducción de impuestos al trabajo, al capital y, por último, al consumo.

TABLA 6.1

ESCENARIOS DE RECICLAJE DE LAS RECAUDACIONES AMBIENTALES

RT	Compensación vía transferencias
RL	Compensación vía reducción de impuestos al trabajo
RC	Compensación vía reducción de impuestos al consumo
RK	Compensación vía reducción de impuestos al capital

6.3 RESULTADOS

■ 6.3.1 HIPÓTESIS DEL DOBLE DIVIDENDO «FUERTE»

La tabla 6.2 recoge los resultados obtenidos en el año 2050 para cada uno de los escenarios propuestos, comparados con el escenario BAU. En todos los escenarios el objetivo o dividiendo ambiental es idéntico; siendo en el último periodo una reducción del CO₂ del 45%. Los ingresos de la política ambiental son devueltos a los agentes privados de forma que, en todos los casos, la variación del gasto público con respecto al escenario BAU sea nula.

El coste económico, en términos de Variación Equivalente Hicksiana, supone una pérdida de un 0,35% para el escenario RT, de un 0,33% en el escenario RL, de un 0,32% en el escenario RC y, finalmente, de un 0,42% para el escenario RK. Estos resultados rechazan la existencia de un doble dividendo fuerte para todos los casos aquí planteados, ya que en todos los casos existe una pérdida de utilidad.

Durante los primeros periodos, y en algunos escenarios (RT y RL), observamos que la utilidad aumenta (figura 6.1). Este hecho podría inducirnos a pensar en la existencia de un doble dividendo fuerte transitorio. Sin embargo, estos resultados se deben a una preferencia de los agentes a consumir más en el presente y menos en el futuro, siendo los costes finales en término de utilidad decrecientes y, finalmente, negativos.

FIGURA 6.1

EVOLUCIÓN DE LA UTILIDAD INSTANTÁNEA EN CADA ESCENARIO

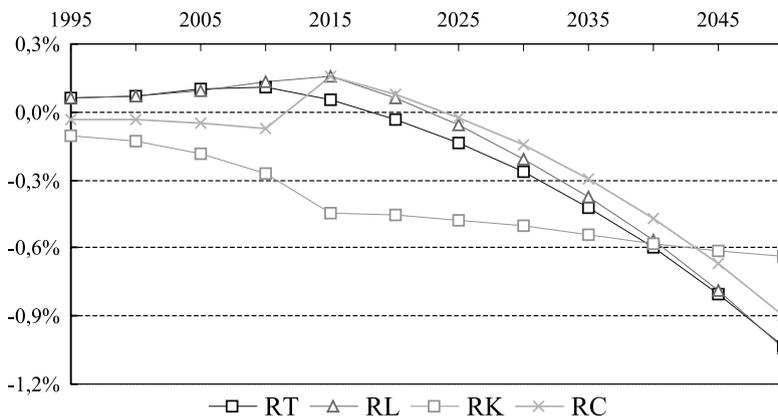


TABLA 6.2

RESULTADOS ESCENARIOS RECICLAJE PARA EL AÑO 2050

	RT	RL	RC	RK
<i>Macroeconomía (% variación cantidades)</i>				
Utilidad Total	-0,35	-0,33	-0,32	-0,42
Utilidad	-1,03	-1,04	-0,90	-0,64
PIB	-1,27	-1,43	-1,06	0,64
Consumo Privado	-0,82	-0,83	-0,75	-0,40
Inversión	-2,46	-3,02	-1,96	-3,48
<i>Comercio Internacional (% variación cantidades)</i>				
Importaciones	-9,81	-9,86	-9,40	-7,64
Exportaciones	-9,94	-9,99	-9,53	-7,75
<i>Sectores (% variación cantidades)</i>				
Producción sector Agricultura ¹	-2,60	-2,58	-2,99	-3,06
Producción sector Industria	-3,72	-4,01	-3,34	-0,96
Producción sector Servicios	-0,91	-0,99	-0,84	0,43
Consumo bienes Agricultura	-2,60	-2,76	-3,27	-6,21
Consumo bienes Industria	-1,34	-1,27	-1,10	-2,54
Consumo bienes Servicios	0,16	0,15	0,13	1,40
<i>Consumo Energético² (% variación cantidades)</i>				
Consumo energía Total	-23,26	-23,33	-23,05	-23,60
Consumo energía Productores	-30,19	-30,31	-30,27	-30,22
Consumo energía Consumidores	-10,75	-10,71	-10,01	-11,63
<i>Emisiones de Efecto Invernadero (% variación cantidades)</i>				
Emisiones Totales	-45,43	-45,43	-45,43	-45,43
Precio Permisos (euro/ton. CO ₂ eq.)	111,72	111,29	118,23	119,01
<i>Precios (variación respecto precios índice 1995 = 1)</i>				
Índice general de precios	1,00	1,00	1,00	1,00
Precio del Capital	0,98	0,99	1,01	0,97
Precio del Trabajo	0,97	0,99	0,99	0,99
Tasa de cambio	1,04	1,04	1,07	1,04
<i>Cierre del modelo (variación cantidades)</i>				
Gasto Público	0,00	0,00	0,00	0,00
Déficit Comercial	0,00	0,00	0,00	0,00

¹ Los 22 sectores están agrupados en tres: Agricultura (1), Industria (2 a 16) y Servicios (17 a 22).

² El consumo de Energía comprende el consumo de carbón, petróleo, gas natural y electricidad.

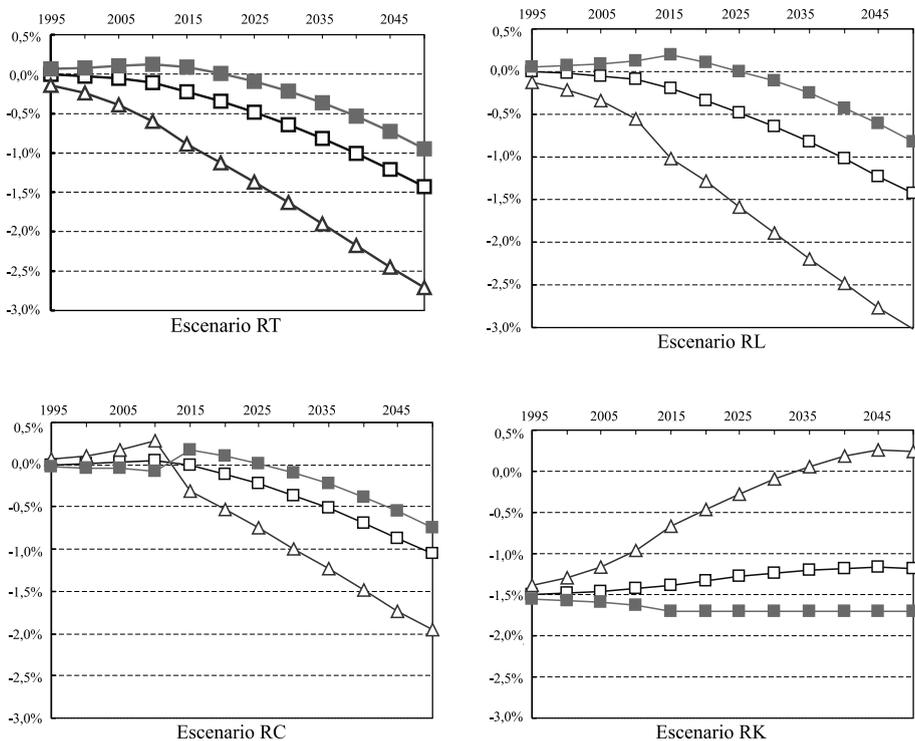
■ 6.3.2 HIPÓTESIS DEL DOBLE DIVIDENDO «DÉBIL»

Para analizar la posibilidad de un doble dividendo débil es necesario explorar también la evolución de las diferentes variables de cada escenario. La variable central, la utilidad, sigue en el escenario RT y RL una trayectoria muy parecida; inicialmente es positiva, aumenta los primeros periodos y disminuye una vez que las emisiones comienzan a estar controladas. El escenario RC es similar también a los anteriores, la utilidad inicial es negativa e incrementa considerablemente antes de la restricción de las emisiones. En el escenario RK, por el contrario, la trayectoria es bien distinta. La utilidad es inicialmente negativa y disminuye progresivamente pero de manera menos intensa a partir de 2012.

En el escenario RT, RL y RC los agentes actúan anticipando la política, y reaccionan trasladando más consumo al presente, mientras que el escenario RK, lo hacen repartiendo esas reducciones de una manera más homogénea a lo largo de todos los periodos.

FIGURA 6.2

EVOLUCIÓN PIB, INVERSIÓN Y CONSUMO PARA LOS DIFERENTES ESCENARIOS

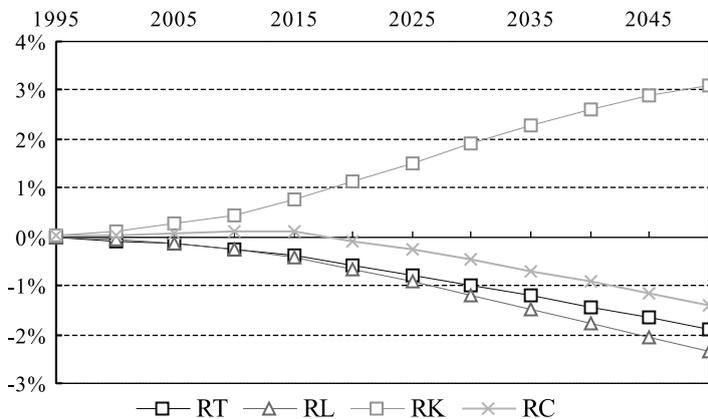


La figura 6.2 recoge la evolución del consumo, la inversión y el PIB en cada uno de los cuatro escenarios. La trayectoria de estas tres variables en los escenarios RT, RL y RC es bastante similar; aunque las magnitudes varían ligeramente debido a un mayor o menor intercambio de consumo por inversión. Como ya hemos visto, la diferencia más notable se encuentra en el escenario RK.

En el escenario RK la reducción de los impuestos al capital estimula el ahorro y la inversión. Los peores resultados en términos de utilidad para este escenario se explican por una mayor dedicación de esfuerzo a la producción y al consumo intermedio, que hacen aumentar el PIB (+0.62%) en 2050, y menos al consumo final. Un mayor peso en la producción hace que la utilidad disminuya más y que los niveles de capital acumulado en este escenario aumentan considerablemente, como muestra la figura 6.3.

FIGURA 6.3

PORCENTAJE DE VARIACIÓN DEL STOCK DE CAPITAL PARA LOS DIFERENTES ESCENARIOS



En cada escenario existen también variaciones en los impactos sectoriales. Algunos impuestos tienen mayor incidencia en ciertos sectores, lo que provoca mayores distorsiones y cambios en la actividad de esos sectores. En la figura 6.4 se recogen estos impactos según tipos de reformas y para la producción. En la mayoría de los casos la diferencia sectorial entre reformas no es notable. Esto pone de manifiesto que el efecto del reciclaje de los impuestos es mucho menos relevante que el verdadero sentido de la política; la restricción de las emisiones. Algunas diferencias apreciables suceden en sectores intensivos en capital en el escenario RK, que aumentan su producción al reducirse la presión sobre este factor. Los resultados sobre el consumo son también variados y se recogen en la figura 6.5.

FIGURA 6.4

PORCENTAJE DE VARIACIÓN PRODUCCIÓN EN 2050 SEGÚN ESCENARIOS DE RECICLAJE RESPECTO AL *ESCENARIO BAU*

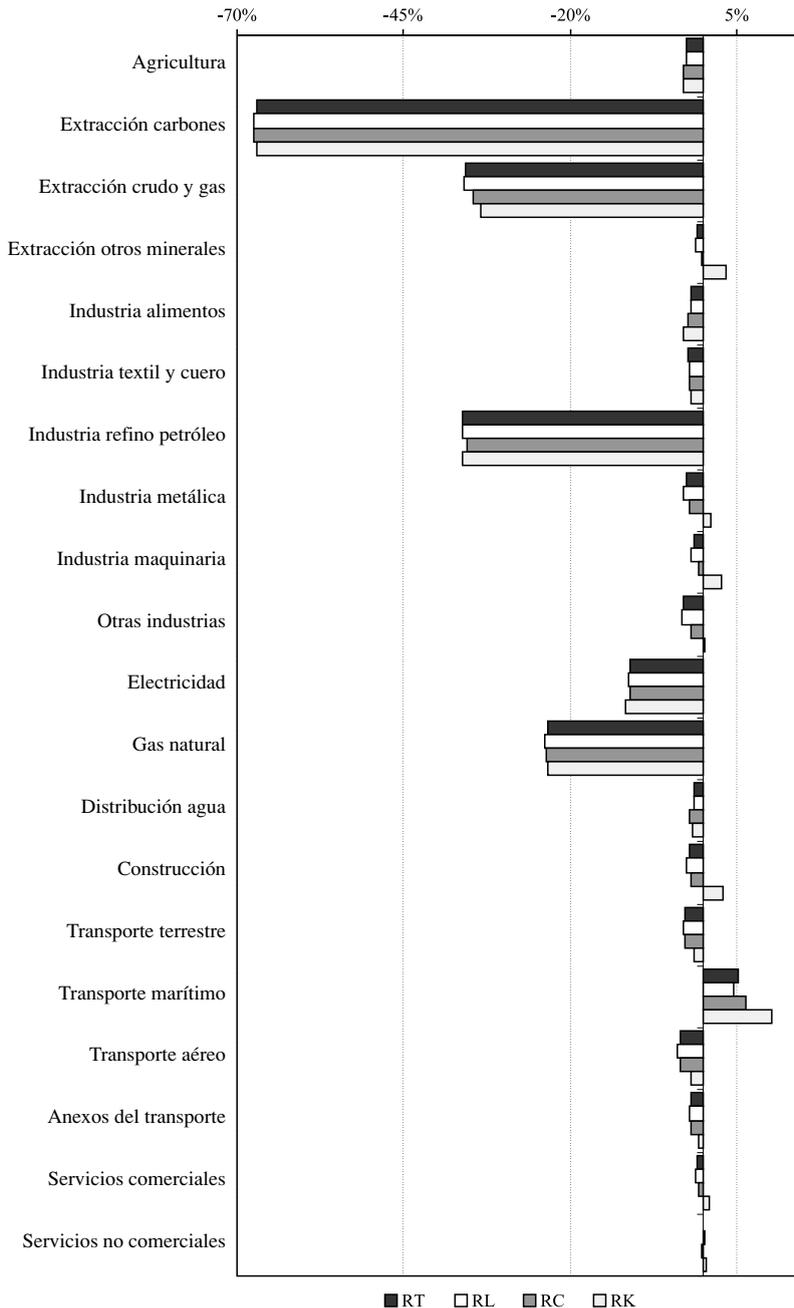
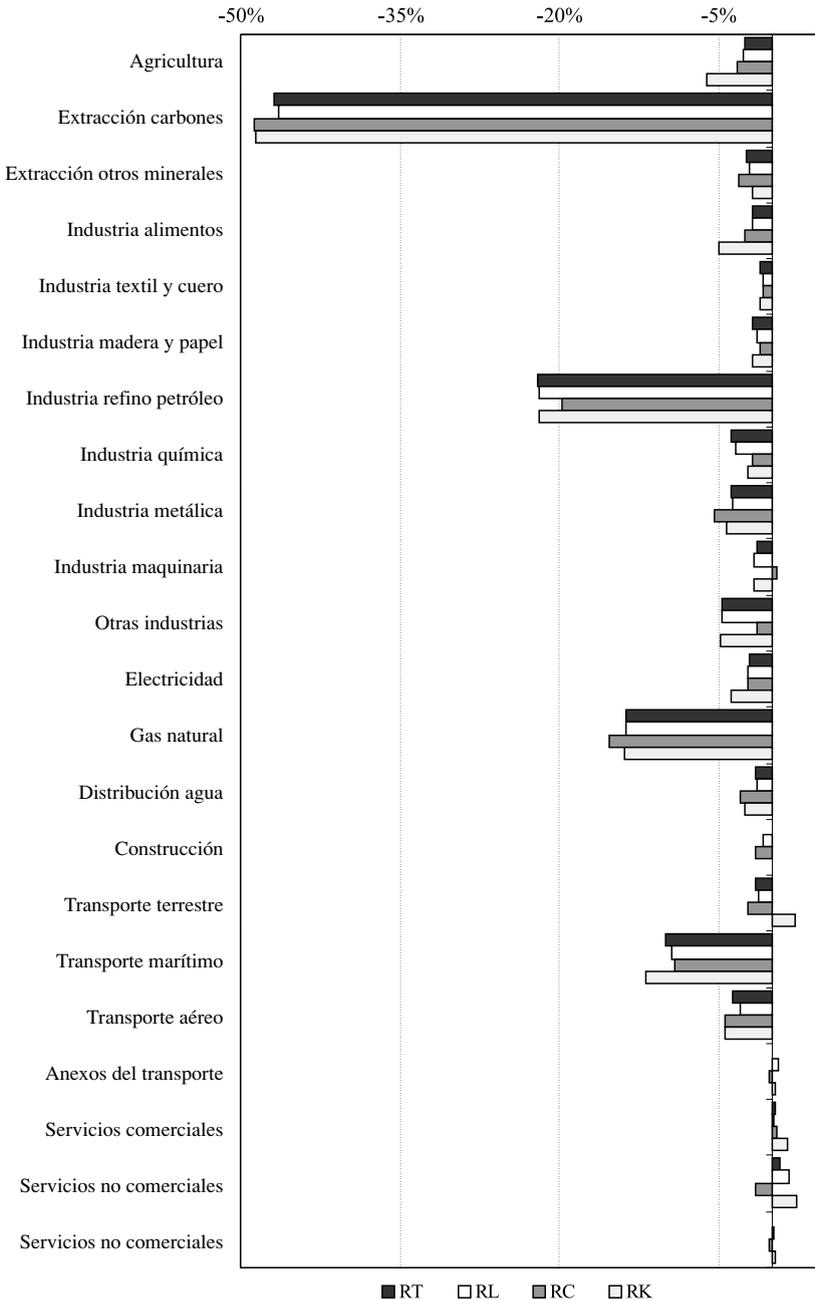


FIGURA 6.5

PORCENTAJE DE VARIACIÓN CONSUMO EN 2050 SEGÚN ESCENARIOS DE RECICLAJE RESPECTO AL ESCENARIO BAU



Comparando los resultados de los cuatro escenarios observamos que una reforma fiscal ambiental a través de la reducción de los impuestos al trabajo y al consumo es menos costosa que a través de transferencias directas. En este sentido, puede decirse que es posible una versión débil del doble dividendo. Sin embargo, también observamos que puede suceder lo contrario y que, como lo muestra una reducción de los impuestos al capital, el coste final puede finalmente ser mayor.

Estos resultados muestran que la hipótesis del doble dividendo débil no está garantizada y que tiene que ser examinada a la luz de los datos y de manera concreta. Este estudio, sin embargo, confirma lo que otros también muestran; que una reducción de los impuestos al trabajo, mediante reducciones a las cotizaciones de la seguridad social, es una de las mejores opciones existentes.

6.4 CONCLUSIONES

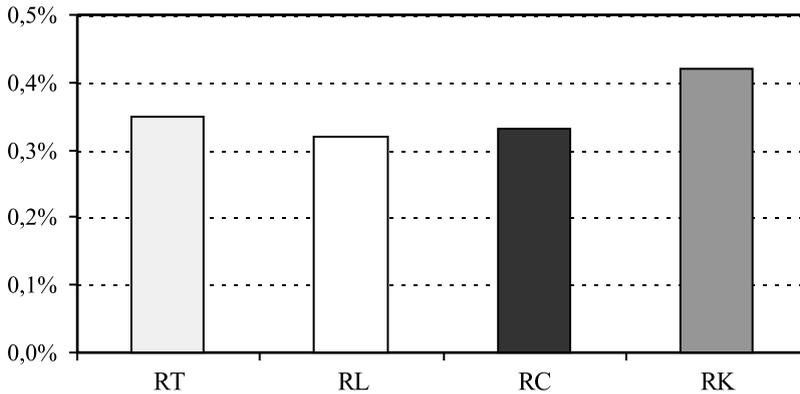
El análisis empírico realizado pone de manifiesto que no es posible encontrar un doble dividendo fuerte, al menos en los escenarios planteados. Estos resultados están en línea con lo ya apuntado por la literatura. Las reformas fiscales investigadas no hacen posible la existencia de un coste económico negativo (beneficios económicos) por la reducción de emisiones. Generalmente, es difícil encontrar una reforma fiscal que mejore el medio ambiente y la economía.

A veces puede confundirse la existencia de un doble dividendo fuerte con una simple preferencia por un consumo presente. Esto se debe a que un aumento momentáneo del consumo, ante la entrada en vigor de una política ambiental, puede dar la sensación de mejora económica. Pero, aunque existen variables que puedan tener una tendencia positiva en algún momento del tiempo, los resultados finales muestran que la utilidad total siempre acaba reduciéndose.

Respecto a la existencia de un doble dividendo en su versión débil los resultados son más variados. La reducción de impuestos al trabajo (RL) y al consumo (RC) reducen los costes frente a la opción devolver las recaudaciones vía transferencias (RT) (ver figura 6.6). Esto no quiere decir que exista un doble dividendo débil, ya que los resultados de la reducción de los impuestos al capital muestran justamente lo contrario; que podemos empeorar la situación original y elevar los costes finales. Estos resultados sirven para mostrar como la hipótesis del doble dividendo débil no esta garantizada y que tiene que ser examinada a la luz de los datos y siempre de una manera concreta.

Una gran variedad de estudios muestran, y este trabajo también corrobora, que una reducción de los impuestos al trabajo mediante reducciones a las cotizaciones de la segu-

FIGURA 6.6

**PORCENTAJE DE UTILIDAD TOTAL PARA
LOS DIFERENTES ESCENARIOS**

ridad social, es una de las opciones más interesantes. Esta alternativa puede ser además una forma útil de mejorar el problema del desempleo, aunque este hecho no puede ser analizado en nuestro modelo.

Un aspecto destacable en la literatura es la falta de un consenso a la hora de medir el citado doble dividendo (Partuelli *et al.* 2005). A veces éste es medido a través de la utilidad, otras veces mediante el consumo y en otras se ofrece como resultado la evolución del PIB o del empleo. Este estudio pone de manifiesto la importancia de mostrar la evolución de todas y cada una de las variables para extraer interpretaciones correctas del mismo. Por ejemplo, el escenario RK podría ser interpretado como un caso de doble dividendo fuerte si únicamente mirásemos el comportamiento final del PIB (+0.64%); sin embargo, este es el escenario en el que más disminuye la utilidad total, por las razones anteriormente mencionadas.

Por último, es importante valorar para un análisis de doble dividendo el estado final de las variables. Por ejemplo, en nuestro caso, el stock de capital. Aunque el escenario RK sea el que mayores costes de mitigación presenta, el capital final acumulado en este escenario es el más alto, y con diferencia, de todos los escenarios.

7.1. INTRODUCCIÓN

Los economistas han defendido tradicionalmente el uso de instrumentos de mercado (Hahn 1986), como los impuestos o los permisos transferibles, frente a los instrumentos de regulación como el establecimiento de normas, límites o estándares tecnológicos. Los instrumentos de mercado han tenido, sin embargo, hasta la fecha, una implantación bastante menor (Hann 2000).

La mayoría de los problemas relacionados con la contaminación severa han sido abordados mediante instrumentos de regulación, mientras que para los problemas de carácter más difuso, donde las mejoras de eficiencia pueden ser importantes, comienzan a ser práctica habitual los instrumentos de mercado. Actualmente, estos instrumentos están teniendo un importante impulso con el problema del cambio climático, mediante la creación de un mercado mundial de permisos de emisiones de gases de efecto invernadero.

Los instrumentos de regulación o directos funcionan generalmente imponiendo ciertas restricciones o límites al comportamiento de los agentes, mientras que los instrumentos económicos o indirectos funcionan creando incentivos para la modificación del comportamiento. Los impuestos, los subsidios y los permisos transferibles actúan creando mercados para muchos activos ambientales o externalidades, que no existían previamente. La asignación de precios a través de la creación de mercados fomenta un uso más racional y eficiente de los recursos.

Por último, existen también otros instrumentos útiles para protección ambiental que se basan en la responsabilidad moral de los agentes. Algunos de estos instrumentos son los acuerdos voluntarios, la responsabilidad social corporativa u otras como la educación y la sensibilización ambiental.

Las medidas de regulación directa son más sencillas de aplicar, y pueden ser muy eficientes cuando la variable ambiental que queremos controlar afecta a sectores específicos o instalaciones concretas. Sin embargo, cuando las políticas tienen un impacto generalizado en todos los sectores, las pérdidas de eficiencia comienzan a ser significativas.

Los estudios realizados hasta la fecha (Krupnik 1986, Tietenberg 1990) señalan que en los casos en los que estas políticas afectan de una manera más amplia, como por

TABLA 7.1

CLASIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS PARA EL CONTROL DE LA POLUCIÓN

INSTRUMENTOS DE REGULACIÓN

Controles, estándares o prohibiciones sobre cantidades (inputs, producción).
Controles, estándares o prohibiciones sobre tecnologías y/o procesos.
Licencias de emisión.
Controles sobre localización.

INSTRUMENTOS DE MERCADO

Impuestos sobre emisiones.
Impuestos sobre cantidades o precios (inputs y producción).
Subvenciones a la reducción de emisiones.
Tasas por servicio o vertido.
Permisos de emisiones transferibles.
Sistemas de depósito-reembolso.

INSTRUMENTOS INSTITUCIONALES

Acuerdos voluntarios.
Responsabilidad social corporativa.
Educación, formación y sensibilización.

Fuente: Adaptado de Perman *et al.* (2005).

ejemplo, en el caso de una reducción de las emisiones de CO₂, el uso de instrumentos de mercado es la mejor alternativa. Una revisión empírica de la literatura sobre costes *ex-ante* del control de la contaminación (Tietenberg 1990) señala que las medidas de control directo pueden llegar a ser como entre tres y seis veces más caras que una política coste-eficiente.

En los capítulos anteriores hemos analizado el impacto económico de una reducción de las emisiones de efecto invernadero en España. En este capítulo investigamos como se comportarían diferentes instrumentos para lograr alcanzar esos objetivos, analizándolos en base a un criterio de eficiencia y a otros de distribución sectorial de los costes. Para poder realizar una evaluación cuantitativa de estos impactos es necesario el uso de modelos que tengan en cuenta el sistema económico en conjunto (Goulder *et al.* 1999, Parry, *et al.*, 1999), siendo especialmente útil el modelo de equilibrio general propuesto en el capítulo 2.

7.2. INSTRUMENTOS Y COSTE-EFICIENCIA

A la hora de elegir un instrumento un criterio importante es el coste necesario para alcanzar los objetivos. Un instrumento es coste-eficiente si es capaz de alcanzar un objetivo dado con un coste menor que cualquier otro. La eficiencia en costes del instrumento utilizado es un requisito previo para la obtención de una asignación eficiente de los recursos. La teoría económica establece que para alcanzar una asignación eficiente de los recursos tiene que cumplirse la condición de equimarginalidad, es decir, los costes marginales de reducción de la contaminación para todos los sectores deberían ser iguales; esto también se conoce, a veces, como el teorema del coste mínimo del control de la contaminación.

Los sistemas de permisos de mercado, que son instrumentos de «cantidades» ya que limitan la magnitud, en este caso de contaminación, y los impuestos o las subvenciones, que son en cambio instrumentos de «precios», incentivan a los agentes a actuar racionalmente y pueden, bajo ciertas condiciones descentralizadas y no muy estrictas, ser coste-eficientes. Una medida de regulación directa también podría ser coste-eficiente, pero para ello son necesarias condiciones más restrictivas, ya que el regulador necesitaría centralizar mucha información que no está fácilmente disponible, siendo, por lo general, necesario recurrir a un proceso de «prueba y error» para establecer las cuotas hasta alcanzar la eficiencia.

La eficiencia en costes es un criterio deseable para cualquier tipo de instrumento, pero no es el único a tener en cuenta. En la práctica, elegir un instrumento supone discriminar entre múltiples objetivos, por lo que no es extraño observar que ciertas medidas que *a priori* son más baratas, no son las finalmente las elegidas.

Algunos de estos criterios (ver tabla 7.2) tienen que ver con la información que es necesario disponer en cada uno de los instrumentos y las exigencias para poder aplicarlos y controlarlos. También existen importantes aspectos que tienen que ver con factores dinámicos de los instrumentos como, por ejemplo, la capacidad del instrumento para adaptarse a los cambios o para incentivar el progreso tecnológico más allá de lo fijado por las normas. Otra cuestión importante es el efecto distributivo que generan, tanto entre sectores como entre individuos. Por último, también existen razones que tienen que ver con las percepciones sociales de los agentes implicados sobre cada tipo de instrumento.

TABLA 7.2

CLASIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS DE CONTROL DE LA POLUCIÓN

CUESTIONES ESTÁTICAS

1. Eficiencia.
2. Necesidades de información.
3. Dificultad para el control y la aplicación.

CUESTIONES DINÁMICAS

4. Flexibilidad ante cambios exógenos.
5. Incentivos para el cambio tecnológico.

REQUERIMIENTOS INSTITUCIONALES

6. Agencia: honestidad, capacidades técnicas (incluida la recopilación de datos, el establecimiento de metodologías, el seguimiento y el control de los objetivos y recaudaciones).
7. Agentes regulados: confianza en el regulador, capacidades técnicas (control técnico de efluentes, tratamiento de procesos y decisiones sobre los inputs y productos).

DIMENSIONES POLÍTICAS

8. Efectos distributivos.
9. Mensaje ético percibido.
10. Equidad percibida.

RIESGOS PERCIBIDOS

11. Agencia: no alcanzar objetivos, interferir en el desarrollo económico y tecnológico, posibles respuestas contrarias de los agentes.
12. Agentes regulados: objetivos inespecíficos, cambiantes o arbitrarios del regulador.

Fuente: Adaptado de Russell y Powell (1999).

7.3. INSTRUMENTOS ANALIZADOS

A continuación presentamos todos los instrumentos que vamos a analizar para alcanzar la reducción de emisiones. Cada uno ellos requiere el uso de un modelo particular; es diferente la forma de incluir en un MEGA un sistema de permisos transferible, un sistema de impuestos o un sistema de cuotas fijas. Sin embargo, en todos ellos utilizará una base común; una versión estática del modelo DANTE. Los códigos GAMS de esta versión están recogidos en el último apartado de esta tesis doctoral.

■ 7.3.1 IMPUESTO PIGOUVIANO

Este instrumento es el ideal desde el punto de vista de la eficiencia económica y sirve de comparación con el resto. Se trata de un impuesto sobre el CO₂ coste-eficiente en donde los costes marginales de reducción para cada sector o instalación son equivalentes. Los resultados serían los idénticos a los obtenidos a través de un mercado de emisiones perfecto, donde los derechos son intercambiados libremente y donde todos los agentes contaminadores participasen en el mercado de emisiones.

■ 7.3.2 PERMISOS TRANSFERIBLES ENTRE SECTORES «DIRECTIVA»

El Protocolo de Kyoto contempla la creación de un mercado de CO₂ para reducir las emisiones de manera flexible. La Unión Europea ya ha puesto en marcha un mercado de permisos (Directiva 2003/87/CE) que actualmente está restringido a ciertos sectores intensivos en emisiones; energía, electricidad, metal, papel y cemento. Este instrumento simula una reducción de las emisiones a través de un mercado de permisos perfecto, en el que participan únicamente los sectores incluidos en esta directiva, y que suponen cerca de un 60% de la emisiones de CO₂ totales.

■ 7.3.3 PERMISOS TRANSFERIBLES ENTRE SECTORES «NO DIRECTIVA»

Este instrumento simula una reducción de emisiones a través de un mercado de permisos en el que participan sólo los sectores no incluidos en la directiva 2003/87/CE. Estos sectores suponen cerca del 40% de la emisiones de CO₂ totales y tienen un carácter más difuso. Este instrumento nos va permitir analizar la importancia económica de elegir correctamente los sectores a incluir en este mercado.

■ 7.3.4 CUOTA IGUALITARIA

A veces se argumenta que una medida de reducción de las emisiones «justa» debe basarse en una reducción «igualitaria» para todos los sectores, y no bajo un criterio de costes equimarginales. Este instrumento propone una reducción igualitaria para todos los sectores.

■ 7.3.5 IMPUESTO SOBRE LA ENERGÍA

Este instrumento es un impuesto *ad quatum* sobre el contenido energético (en unidades físicas, Ktep), de los inputs de carbón, petróleo y gas natural utilizados en la producción y el consumo.

■ 7.3.6 IMPUESTO SOBRE EL FUEL

Este instrumento propone un impuesto *ad valorem* sobre el consumo (intermedio y final) de petróleo, que incluye las gasolinas y gasóleos utilizados en el sector transporte.

■ 7.3.7 IMPUESTO SOBRE LA ELECTRICIDAD

Este instrumento es un impuesto *ad valorem* sobre el consumo (intermedio y final) de electricidad. Aunque la electricidad no sea contaminante en sí misma, sus emisiones dependen directamente de la forma en como ha sido producida, siendo, por tanto, intensivo en cuanto a emisiones de CO₂.

■ 7.3.8 IMPUESTO SOBRE EL CARBÓN

Este instrumento plantea un impuesto *ad valorem* sobre el consumo (intermedio y final) de carbón. Conjuntamente, el instrumento supone además retirar las subvenciones a la producción para este sector.

7.4. RESULTADOS

Este apartado muestra los resultados obtenidos para cada uno de los instrumentos propuestos. En un primer lugar se presenta un análisis de los efectos generales en las variables económicas principales y, posteriormente, se realiza un análisis de estos efectos por sectores.

■ 7.4.1 RESULTADOS GENERALES

La tabla 7.3 recoge los costes en términos de pérdida de utilidad para cada tipo de instrumento y según diferentes reducciones para el CO₂. El instrumento coste-eficiente o impuesto pigouviano representa una pérdida de utilidad mínima y sirve de comparación con el resto de alternativas. Para el caso particular de una reducción de CO₂ de un 15% la pérdida de utilidad mínima es un 0,22%. En el gráfico de la figura 7.1, también se recoge la evolución de todos los instrumentos pero en términos de pérdida de PIB.

TABLA 7.3

VARIACIÓN DE UTILIDAD Y RATIO DE COSTE POR INSTRUMENTOS

	% CO ₂			RATIO SOBRE EL IMPUESTO PIGOUVIANO
	-5%	-15%	-25%	-15% CO ₂
Instrumento Coste-Eficiente	-0,05	-0,22	-0,48	1,00
Permisos «Directiva»	-0,06	-0,25	-0,64	1,14
Permisos «No Directiva»	-0,09	-0,65	-2,74	2,95
Cuota Igualitaria	-0,07	-0,29	-0,61	1,32
Impuesto Energía	-0,07	-0,30	-0,67	1,36
Impuesto Fuel	-0,09	-0,44	-1,16	2,00
Impuesto Electricidad	-0,05	-1,89	-5,92	8,59
Impuesto Carbón	-0,04	-0,37	—	1,68

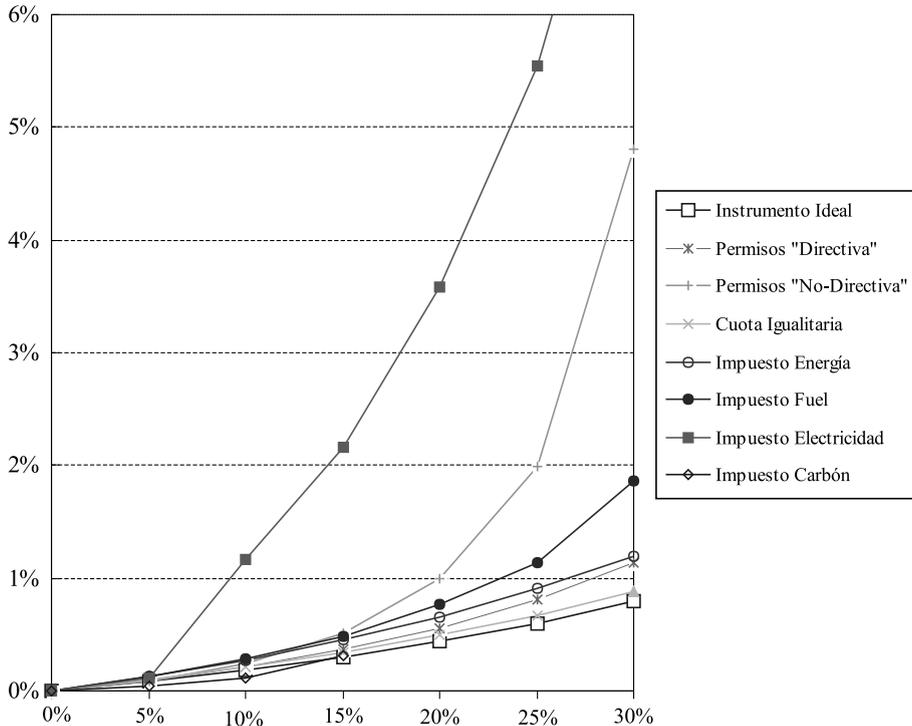
Un sistema perfecto de permisos de emisión transferibles restringido a los «sectores directiva» tiene unos costes cercanos al impuesto pigouviano. El coste de este instrumento es 1.14 veces el de un instrumento coste-eficiente, calculado para una reducción de las emisiones de un 15% (ver tabla 7.3). Siendo los sectores incluidos en este mercado los más intensivos en energía, las pérdidas de eficiencia ocasionadas por hacer excepciones, y no incluir al resto de sectores económicos, son pequeñas. Esta política, muy similar a la propuesta en el actual mercado de permisos de emisiones europeo para cumplir con el Protocolo de Kyoto, es un buen ejemplo de instrumento eficiente.

Un mercado de permisos que incluya a los «sectores no-directiva» muestra unos resultados desfavorables. Si en vez de incluir en este mercado a los sectores más intensivos en energía incluyésemos a los más difusos, las pérdidas en términos de eficiencia serían notables. Esto se debe a que las mejores opciones no están siendo consideradas, y también al importante efecto indirecto que se genera entre sectores. La diferencia de costes entre ambos instrumentos (1.14 frente a un ratio de 2.95) permite mostrar la importancia que tiene elegir bien los sectores sobre los que se va a recaer la política; los costes podrían multiplicarse hasta por tres.

Una cuota de reducción igualitaria para todos los sectores tiene, lógicamente, un coste superior (1.32 veces) al instrumento pigouviano, ligeramente superior al obtenido en un mercado de permisos entre sectores intensivos en energía, pero inferior al resto de alternativas. La limitación principal de este instrumento es que no crea los incentivos dinámicos adecuados para seguir reduciendo las emisiones por debajo de las cuotas fijadas por la norma.

FIGURA 7.1

COSTES EN TÉRMINOS DE PIB (%) POR INSTRUMENTOS Y REDUCCIONES DE CO₂



Un impuesto *ad-valorem* sobre la energía es 1,36 veces más caro que el impuesto ideal o pigouviano. Este impuesto tiene la ventaja de tener unos costes de aplicación bajos, siendo además su base imponible fácilmente cuantificable y controlable. El efecto de este impuesto sobre el consumo energético no es excesivamente alto (ver tabla 7.4b) debido a las posibilidades existentes para intercambiar energía por capital y trabajo.

Un impuesto sobre los derivados del petróleo o «fuel» es 2 veces más caro que un instrumento ideal. Este impuesto generaría un cambio en el mix energético considerable (ver tabla 74.b); el consumo de fuel, para una reducción de CO₂ del 25%, necesitaría disminuir en casi un 24%, mientras que el consumo de carbón, gas y electricidad aumentarían un 3,6%, un 9,25% y 0,1%, respectivamente, para poder sostener las necesidades económicas. La principal ventaja de este impuesto es que su implementación podría ser sencilla, ya que existe actualmente un impuesto especial sobre hidrocarburos funcionando.

El instrumento que mayores costes genera es un impuesto sobre la electricidad. Los costes de este instrumento se multiplicarían por 8, debido a la gran distancia que

TABLA 7.4.a

RESULTADOS GENERALES POR TIPO DE INSTRUMENTO Y PARA UNA REDUCCIÓN DEL 15% DEL CO₂

	IDEAL	DIRECTIVA	NO-DIRECTIVA	CUOTA
<i>Macroeconomía (% variación cantidades)</i>				
PIB	-0,22	-0,25	-0,65	-0,29
Producción	-0,30	-0,36	-0,51	-0,34
Consumo Privado	-0,19	-0,24	-0,37	-0,18
Inversión	-0,62	-0,78	-0,53	-0,64
<i>Comercio Internacional (% variación cantidades)</i>				
Importaciones	-2,42	-1,74	-7,18	-3,34
Exportaciones	-2,46	-1,76	-7,28	-3,39
<i>Sectores (% variación cantidades)</i>				
Producción sector Agricultura ¹	-0,59	-0,61	-1,32	-0,66
Producción sector Industria	-0,01	-1,07	-1,47	-1,06
Producción sector Servicios	-0,23	-0,32	-0,17	-0,25
Consumo bienes Agricultura	-0,64	-0,37	-2,64	-0,54
Consumo bienes Industria	-0,66	-0,74	-1,02	-0,82
Consumo bienes Servicios	0,03	-0,02	-0,03	0,10
<i>Consumo Energético² (% variación cantidades)</i>				
Consumo energía Total	-6,77	-7,13	-7,41	-7,00
Consumo energía Productores	-11,78	-10,00	-8,16	-8,51
Consumo energía Consumidores	-0,89	-1,94	-6,07	-4,27
<i>Consumo tipo de Energía (% variación cantidades)</i>				
Consumo carbón	-26,37	-33,44	-0,31	-19,74
Consumo petróleo	-10,07	-7,57	-23,08	-14,62
Consumo gas natural	-5,34	-6,27	-7,66	-6,97
Consumo electricidad	-3,03	-4,55	2,23	-0,85
<i>Emisiones de Efecto Invernadero (% variación cantidades)</i>				
Emisiones Totales	-15,00	-15,00	-15,00	-15,00
<i>Precios (variación respecto precios índice 1995 = 1)</i>				
Índice general de precios	1,00	1,00	1,00	1,00
Precio del Capital	1,00	1,00	0,99	1,00
Precio del Trabajo	0,99	0,99	0,98	0,99
Tasa de cambio	1,01	1,01	1,02	1,01
<i>Cierre del modelo (variación cantidades)</i>				
Gasto Público	0,00	0,00	0,00	0,00
Déficit Comercial	0,00	0,00	0,00	0,00

¹ Los 22 sectores están agrupados en tres: Agricultura (1), Industria (2 a 16) y Servicios (17 a 22).

² El consumo de Energía comprende el consumo de carbón, petróleo, gas natural y electricidad.

TABLA 7.4.b

RESULTADOS GENERALES POR TIPO DE INSTRUMENTO Y PARA UNA REDUCCIÓN DEL 15% DEL CO₂

	ENERGÍA	FUEL	ELECTRICIDAD	CARBÓN
<i>Macroeconomía (% variación cantidades)</i>				
Utilidad	-0,30	-0,44	-1,89	-0,37
PIB	-0,45	-0,49	-2,16	-0,31
Consumo Privado	-0,28	-0,28	-1,48	-0,37
Inversión	-1,00	-0,85	-3,91	-0,37
<i>Comercio Internacional (% variación cantidades)</i>				
Importaciones	2,98	5,08	-4,22	-3,11
Exportaciones	3,02	5,15	-4,28	-3,15
<i>Sectores (% variación cantidades)</i>				
Producción sector Agricultura ¹	-1,14	-1,36	-1,84	-0,04
Producción sector Industria	-1,58	-1,65	-4,50	-0,71
Producción sector Servicios	-0,23	-0,14	-1,14	-0,24
Consumo bienes Agricultura	-0,94	-0,90	-2,41	-0,47
Consumo bienes Industria	-0,78	-0,95	-3,77	-0,80
Consumo bienes Servicios	-0,05	0,03	-0,46	-0,17
<i>Consumo Energético² (% variación cantidades)</i>				
Consumo energía Total	-7,90	-7,46	-27,93	-6,34
Consumo energía Productores	-10,78	-9,34	-33,26	-7,75
Consumo energía Consumidores	-2,88	-4,07	-18,29	-3,80
<i>Consumo tipo de Energía (% variación cantidades)</i>				
Consumo carbón	-9,65	3,66	-35,60	-67,48
Consumo petróleo	-12,53	-24,41	-0,09	1,47
Consumo gas natural	-14,12	9,25	-8,69	5,88
Consumo electricidad	-3,77	0,11	-48,34	-7,69
<i>Emisiones de Efecto Invernadero (% variación cantidades)</i>				
Emisiones Totales	-15,00	-15,00	-15,00	-15,00
<i>Precios (variación respecto precios índice 1995 = 1)</i>				
Índice general de precios	1,00	1,00	1,00	1,00
Precio del Capital	1,00	0,99	0,98	1,00
Precio del Trabajo	0,99	0,99	0,95	0,99
Tasa de cambio	0,99	0,97	1,00	1,01
<i>Cierre del modelo (variación cantidades)</i>				
Gasto Público	0,00	0,00	0,00	0,00
Déficit Comercial	0,00	0,00	0,00	0,00

¹ Los 22 sectores están agrupados en tres: Agricultura (1), Industria (2 a 16) y Servicios (17 a 22).

² El consumo de Energía comprende el consumo de carbón, petróleo, gas natural y electricidad.

existe entre el hecho imponible que queremos gravar, las emisiones de CO₂, y la base imponible que estamos gravando, el consumo eléctrico. Aunque el sector eléctrico sea un sector intensivo en cuanto a emisiones, sólo una parte de su mix, concretamente la termoeléctrica, genera emisiones de CO₂. La electricidad es la fuente de energía principal de los sectores servicios, por lo que este impuesto recaería fundamentalmente sobre ellos, intensificando además la generación de impactos indirectos. Un impuesto sobre la electricidad acabaría dañando notablemente el funcionamiento normal del sistema económico y es una de las medidas menos acertadas para controlar las emisiones de efecto invernadero.

Un impuesto sobre el uso de carbón, sin embargo, es bastante eficiente ya que el carbón es el producto más intensivo en cuanto a emisiones de CO₂. El coste de este instrumento para una reducción de emisiones del 15% es 1,67 veces superior al impuesto pigouviano, y ligeramente menor que un impuesto sobre el fuel. Sin embargo, el mayor problema que este instrumento es que en solitario no consigue reducciones superiores al 15%, ya que el consumo de carbón no es muy significativo en nuestra economía y en algunos procesos además resulta insustituible. Este instrumento en todo caso interesante, si se utilizará conjuntamente con otras políticas.

■ 7.4.2 RESULTADOS SECTORIALES

Los resultados generales nos han servido para conocer el coste económico general de cada instrumento y sus pérdidas de eficiencia comparadas con un instrumento coste-eficiente. En este apartado estudiaremos la distribución de estos impactos por sectores productivos.

El efecto sectorial de cada instrumento es variado y depende mucho los sectores sobre los que incide cada política. La cuota igualitaria y el mercado de permisos son instrumentos con impactos sectoriales cercanos a los resultantes de una asignación de recursos con un instrumento coste-eficiente (ver figura 7.2), cuyos efectos se han analizado anteriormente (ver figura 4.3 y 4.4 del capítulo 4). Los sectores más afectados por la reducciones (ver figuras 7.2.) son aquellos encargados de la extracción, la transformación y la distribución de combustibles fósiles y la producción de electricidad (ver capítulo 4). La diferente escala de los gráficos de la figura 7.2 pone de manifiesto la diferente magnitud de los efectos generado, a pesar de la variabilidad existente.

Los impuestos sobre el carbón, el petróleo o la energía recaen fundamentalmente sobre los sectores industriales mientras que un impuesto sobre la electricidad recae principalmente sobre los sectores servicios. Los sectores servicios son menos intensivos en emisiones y generan mayores niveles de arrastre y efectos indirectos, lo que termina por causar una mayor heterogeneidad en la distribución de los costes.

FIGURA 7.2a

VARIACIÓN PRODUCCIÓN (%) POR SECTORES E INSTRUMENTOS PARA UNA REDUCCIÓN DE CO₂ DEL 15%

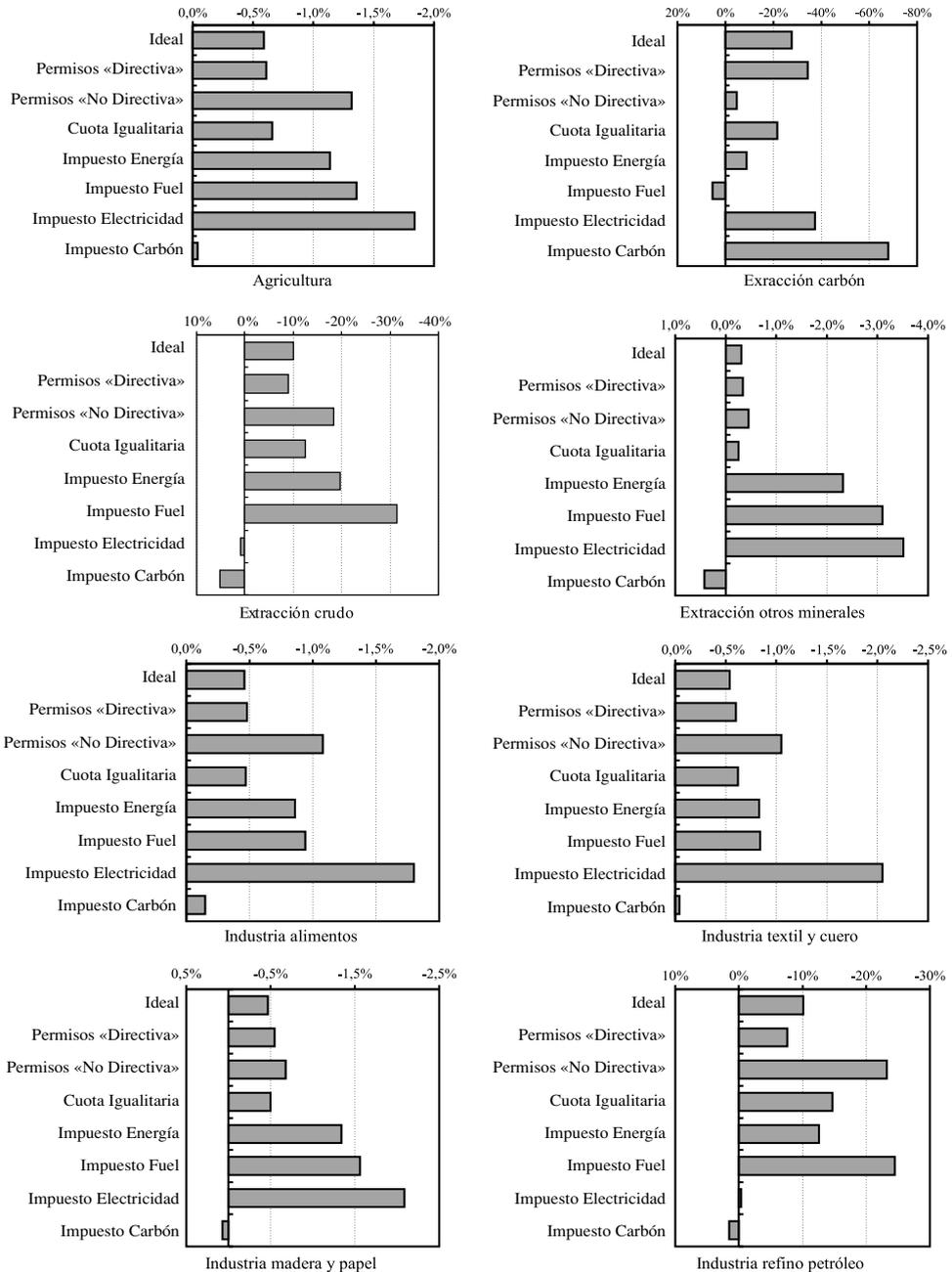


FIGURA 7.2b

VARIACIÓN PRODUCCIÓN (%) POR SECTORES E INSTRUMENTOS PARA UNA REDUCCIÓN DE CO₂ DEL 15%

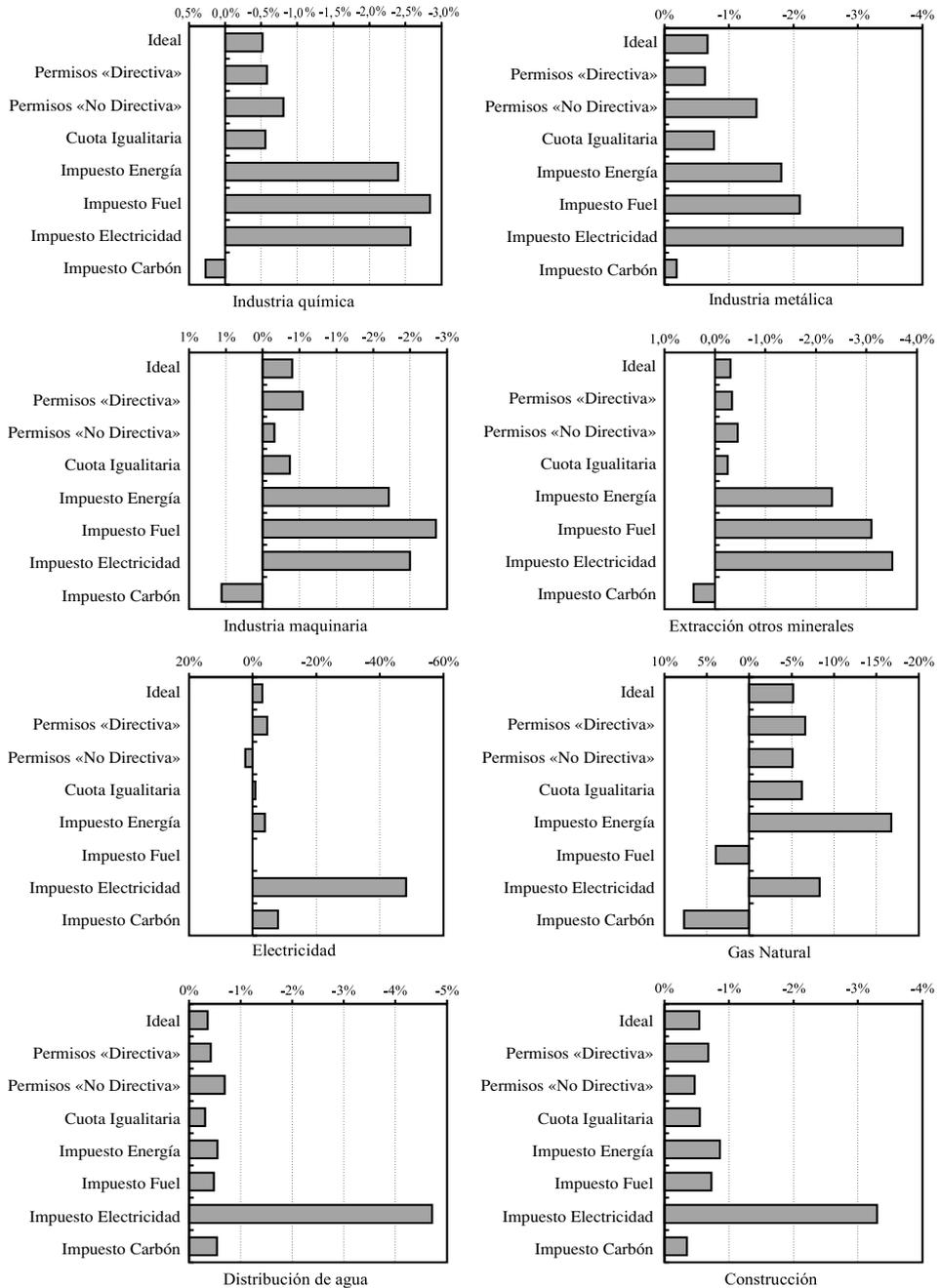
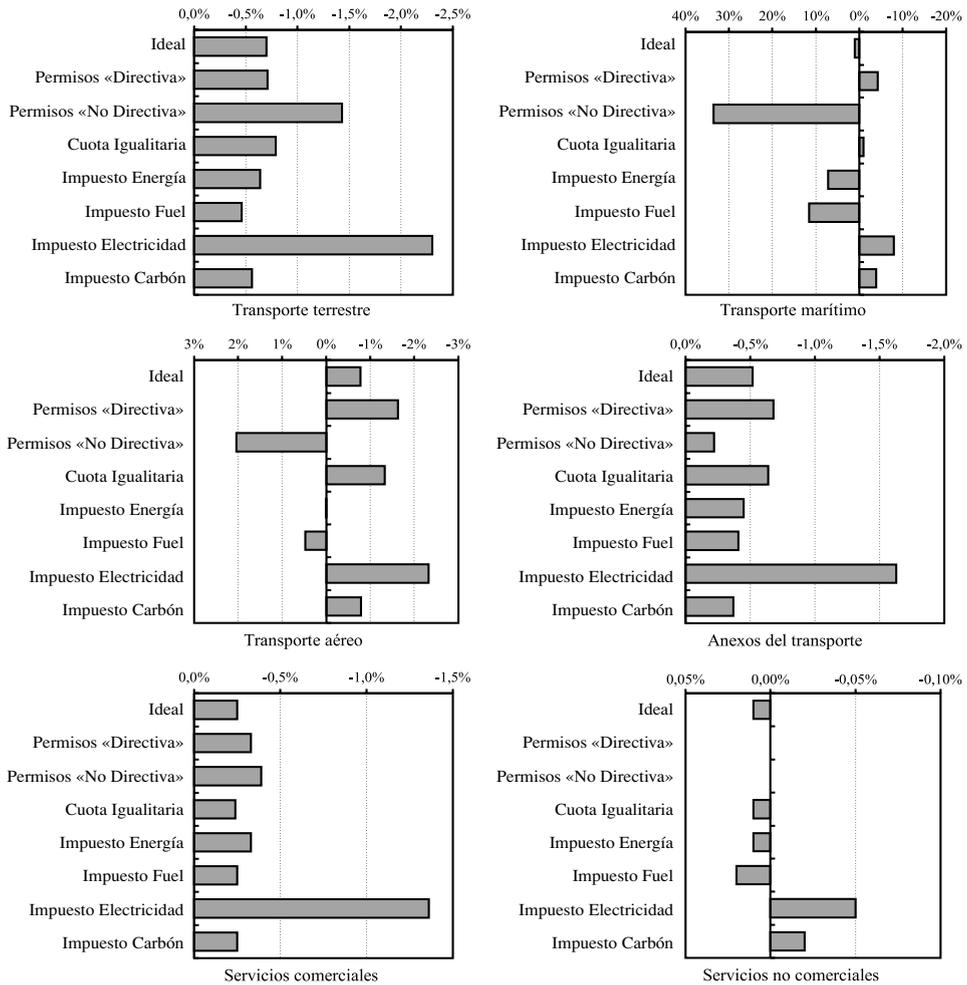


FIGURA 7.2c

VARIACIÓN PRODUCCIÓN (%) POR SECTORES E INSTRUMENTOS PARA UNA REDUCCIÓN DE CO₂ DEL 15%



Los efectos indirectos son fundamentales para conocer la distribución sectorial de los impactos de cada instrumento. Los modelos de equilibrio general son la herramienta idónea para capturar complejos efectos intersectoriales y efectos interacción que se generan entre impuestos. En algunos casos, sectores que *a priori* deberían soportar directamente los costes de un instrumento (i.e. Transporte marítimo, ver figura 7.2.c) acaban beneficiándose de manera indirecta. Estos costes indirectos pueden hacer incluso que un sector (i.e. Refino de petróleo, ver figura 7.2.a) prefiera un mercado de permisos restringido a los sec-

tores energéticos, en el que está incluido, frente a la opción de que sean el resto de sectores no energéticos los que asuman las reducciones; en este último caso las pérdidas en su actividad productiva terminarían siendo mayores.

7.5. CONCLUSIONES

Este capítulo hemos analizado diferentes instrumentos para reducir las emisiones de CO₂ en España. Se han explorado aspectos relativos a la eficiencia y la distribución de los impactos por sectores mediante la simulación de diferentes alternativas, como son; un mercado de permisos transferibles, diferentes tipos de impuestos o el establecimiento de unas cuotas igualitarias. Para analizar todos estos instrumentos se ha utilizado un modelo de equilibrio general estático que permite considerar los impactos directos e indirectos en el análisis.

Las estimaciones *ex ante* realizadas nos permiten conocer las pérdidas de eficiencia en una situación en la que no existen costes de transacción. En la práctica, los costes de negociación, implantación, control, etc., pueden hacer aumentar los costes considerablemente (Krutilla, 1999). Por ello, la elección de un instrumento no debería basarse únicamente en criterios de eficiencia, es más aconsejable disponer de una batería de medidas amplia.

A pesar de estas limitaciones, el análisis nos permite alcanzar algunas conclusiones importantes. En primer lugar hemos observado que las pérdidas de eficiencia de un sistema de permisos transferible restringido a ciertos sectores intensivos en CO₂ son pequeñas; 1.14 veces el coste de un impuesto pigouviano o ideal. Esto sirve para poner de manifiesto que el mercado de permisos europeo recientemente creado, como medida para cumplir con los objetivos del Protocolo de Kyoto, es un buen instrumento económico. Asimismo, hemos visto la importancia que tiene el elegir bien los sectores que van a ser incluidos en este mercado, ya que una mala elección podría elevar los costes sustancialmente (hasta 2,95 veces).

Una cuota igualitaria en todos los sectores tiene un coste ligeramente superior (1.32 veces) al mercado de permisos perfecto para los sectores intensivos en energía (1,33 veces). Este instrumento, aunque es eficiente en el corto plazo, no crea incentivos dinámicos para conseguir reducciones de emisiones por encima de las normas.

En lo que se refiere a los impuestos, vemos que los costes se hacen más altos a medida que la base imponible —consumo energía, fuel, electricidad— se va alejando del hecho imponible —las emisiones de CO₂—, haciendo que el coste se multiplique por 1,36, por 2 y por 8,59 veces, respectivamente. El efecto de estos impuestos depende de las posibili-

dades existentes para modificar el mix energético, para sustituir energía por capital y trabajo, y también, de los efectos indirectos que provoque en otros sectores. Un impuesto sobre el contenido energético de los combustibles fósiles puede ser una medida razonable en aquellos casos en los que sea difícil gravar las emisiones directamente. Un impuesto sobre el carbón puede ser también una buena opción, pero debería estar acompañado de otras políticas para poder lograr unas reducciones significativas. Por el contrario, un impuesto sobre la electricidad para reducir el CO₂ es desde un punto de vista económico la peor de las opciones estudiadas.

La distribución sectorial de los efectos es variada y depende mucho de los costes totales que cada instrumento provoca. La cuota igualitaria y el mercado de permisos entre «sectores directiva» son los instrumentos que presentan unos impactos sectoriales más cercanos a una asignación eficiente de los recursos. Los impuestos sobre el carbón, petróleo o energía recaen fundamentalmente sobre los sectores industriales mientras que un impuesto sobre la electricidad recae sobre todo en el sector servicios. Es importante tener en cuenta en este tipo de análisis los efectos indirectos, ya que como hemos visto, algunas políticas pueden acabar beneficiando indirectamente a aquellos sectores que en un principio iban a soportar los costes de la política directamente.

Finalmente, es preciso reconocer que para evaluar de una manera completa cuales son los mejores instrumentos, sería recomendable realizar también un análisis *ex-post* de los mismos. Investigar el funcionamiento en la práctica de estos instrumentos nos permitiría conocer algunos efectos que el análisis teórico difícilmente puede mostrar.

8.1 RESUMEN DE INVESTIGACIÓN

Este trabajo se ha centrado en analizar los impactos económicos derivados del cumplimiento del Protocolo de Kyoto en España (*escenario Kyoto 2050*). También se han investigado otros escenarios alternativos, en donde los plazos de cumplimiento son más largos (*escenario Kyoto+10*) o los objetivos de reducción más ambiciosos (*escenario Post-Kyoto*).

Por otro lado, un aspecto importante de la investigación ha sido examinar la «hipótesis del doble dividendo», que hace referencia a los posibles beneficios, económicos y ambientales, que podrían obtenerse utilizando los ingresos de la política ambiental para reformar el sistema impositivo por otro menos distorsionante. Para ello, se plantearon diferentes reformas fiscales, en las que se reducen los impuestos sobre el capital, el trabajo o el consumo, y se sustituyen por un impuesto sobre las emisiones de GEIs.

El último objetivo del trabajo ha consistido en analizar los diferentes instrumentos existentes para la reducción de emisiones. Los instrumentos investigados ha sido: un mercado de permisos de emisión restringido a ciertos sectores, una cuota igualitaria para todos los sectores y un impuesto sobre la energía, el petróleo, el carbón y la electricidad. Cada instrumento ha sido examinado en base a su eficiencia y, también, según la distribución sectorial de costes que genera.

Los objetivos de esta tesis pueden resumir en las siguientes preguntas de investigación:

- p.1. *¿Cuál será el impacto económico del control del cambio climático en España?*
 - p.1.1. *¿Cuál será la distribución de estos impactos por sectores económicos?*
 - p.1.2. *¿Qué variables van a tener una mayor influencia sobre los impactos económicos?*
- p.2. *¿Qué efecto tiene una variación en los objetivos o en los plazos de la reducción de emisiones?*
- p.3. *¿Existe un «doble dividendo» en la sustitución de impuestos tradicionales por impuestos sobre el GEIs?*

p.4. *¿Qué instrumentos son más adecuados para una reducción de las emisiones en base a la eficiencia y la distribución sectorial de costes?*

Para poder responder a estas preguntas se ha construido un modelo de equilibrio general aplicado para la economía española (modelo DANTE), compuesto por múltiples sectores y que interrelaciona los flujos económicos, energéticos y ambientales. El modelo permite encontrar las asignaciones eficientes de los recursos, y analizar el efecto de posibles cambios exógenos; como, por ejemplo, ante una restricción de las emisiones.

Para calibrar el modelo se ha elaborado una Matriz de Contabilidad Social (SAM) energética. Esta SAM integra la información económica y sectorial de la Tabla Input-Output con la información energética de los Balances Energéticos, y que además permite cerrar el flujo circular de la renta. El modelo está programado en GAMS/MPSGE (Rutherford 1999) y se resuelve mediante el algoritmo PATH.

8.2

LIMITACIONES DEL ANÁLISIS: TEORÍA Y DATOS

Los resultados obtenidos necesitan ser puestos en perspectiva para obtener una correcta interpretación. Para ello, es importante conocer los aspectos más destacables de la metodología utilizada, pero también sus limitaciones, tanto teóricas como empíricas.

El marco de análisis utilizado se basa en la teoría económica *neoclásica*. Los agentes y los mercados considerados se comportan según esta teoría económica concreta. Es decir, los agentes son racionales, maximizan utilidad o beneficio, y conocen el estado actual y futuro de las variables económicas. También suponemos que todos los mercados están en equilibrio y que operan en competencia perfecta. Las funciones de producción y utilidad escogidas son convexas, haciendo posible la sustitución entre factores según los valores asignados a las elasticidades. Estas formas funcionales utilizadas pertenecen a la familia de las funciones CES, o funciones de elasticidad constante, y tienen propiedades normales (homogeneidad lineal y homocedasticidad). Esta estructura neoclásica ideal del modelo es posible ajustarla mejor el modelo a la realidad, mediante, por ejemplo, la posibilidad de existencia de monopolios o de desequilibrios en el mercado de trabajo. Sin embargo, es necesario saber que lo que se gana en términos de realismo también puede perderse en términos de transparencia del modelo. Un buen análisis de las implicaciones de los supuestos neoclásicos puede encontrarse en Blanchard y Fischer (1989).

Los *costes de transacción* de la política (administración, implantación, control) y los *costes de adaptación* a la nueva situación no son tenidos en cuenta en el análisis. Se considera que los factores productivos son perfectamente móviles entre sectores y que transición económica se realiza de una manera automática. Algunos de estos costes son difíciles

de medir y por es difícil considerarlos. En Kutrilla (1999) o McCann et al. (2005) podemos encontrar un análisis sobre estos costes y sobre sus métodos de estimación.

Además de las *limitaciones teóricas* planteadas, existen otras que exponemos a continuación. Aunque las mejoras aquí planteadas superan las posibilidades de este trabajo, nos sirven de estímulo para futuras investigaciones:

- Un objetivo ambicioso sería completar el análisis aquí realizado sobre los costes de mitigación (coste de «actuar»), con un análisis sobre los *costes del cambio climático* (costes de «no actuar») en España. Esto nos permitirían evaluar políticas óptimas de reducción de emisiones.
- Sería deseable que en un futuro el modelo DANTE pudiera contar con una *especificación tecnológica* («*bottom-up*») más completa, dentro de su actual estructura («*top-down*»). En la actualidad existen algunos modelos híbridos que tienen una especificación más extensa sobre las posibilidades tecnológicas existentes para la reducción de emisiones. La mayor dificultad para avanzar en esta línea de investigación reside, no tanto en la parte teórica, sino más bien en la disponibilidad de datos. Para ello, sería necesario disponer de una base de datos que permitiera recoger los costes de reducción de emisiones por tecnologías, sectores, gases contaminantes y niveles de contaminación. Este esfuerzo de recopilación de información parece relevante en el caso de algunos sectores como el eléctrico o el energético, donde las nuevas opciones tecnológicas tienen una gran influencia sobre los costes de mitigación de las emisiones.
- Un aspecto mejorable es la especificación de *cambio tecnológico exógeno* en el modelo. El cambio tecnológico no surge automáticamente, sino que se crea a través de la inversión en I+D, de la transferencia tecnológica o de aspectos más complejos como el aprendizaje. La política ambiental podría estimular el desarrollo de tecnologías limpias, lo que podría tener un efecto importante en los costes de mitigación. Una especificación endógena de la tecnología sería más satisfactoria, y es de hecho una de las áreas más prometedoras dentro de las líneas de investigación abiertas sobre cambio climático.
- En nuestro modelo la reducción de las emisiones se impone periodo a periodo. Otra alternativa podría ser imponer únicamente el *objetivo y el plazo final*, dejando que los propios agentes elijan la trayectoria a seguir para alcanzarlo. Esta especificación nos permitiría investigar sendas temporal óptimas de reducción de las emisiones.
- Sería deseable que *las emisiones y los inputs* estuvieran relacionados para todos y cada uno de los gases de efecto invernadero. En nuestro análisis esto ha sido sólo posible para las emisiones de combustión, mientras que el resto de emisiones estas agrupadas en un bloque, emisiones de proceso, y que están asociadas a la producción. Esto un pequeño avance ya que generalmente sólo se tienen en cuen-

ta las emisiones de CO₂, pero es todavía mejorable. El mayor problema reside, de nuevo, en la disponibilidad de datos, ya que sería necesario una tabla Input-Output más desagregada que la actual.

- Sería conveniente completar el análisis de instrumentos aquí realizado mediante; 1) la utilización de una versión dinámica del modelo, para así poder explorar cuestiones sobre eficiencia dinámica, 2) la valoración, y en su caso cuantificación, de criterios distintos al de eficiencia y, finalmente, 3) el análisis *ex-post* de los resultados de cada instrumento en base a la experiencia en otras regiones.

Además de las limitaciones teóricas expuestas, existen ciertas *limitaciones en los datos* que podrían dar una mayor precisión a los resultados. Entre ellas cabe destacar las siguientes;

- El modelo está calibrado en vez de haber sido estimado econométricamente. Estimar cada uno de los parámetros del modelo es una labor compleja, e imposible en muchos casos, debido a la falta de series temporales. Una línea de investigación interesante podría ser buscar vías para construir estas series de datos y mejorar así la estimación y correlación de los parámetros del modelo.
- Las estructuras de producción y las elasticidades utilizadas en el modelo se basan en las utilizadas por el modelo global MIT-EPPA. Aunque estas formas funcionales están basadas en análisis econométricos precisos, no tienen porque ajustarse exactamente a las particularidades de la economía española, y sería interesante poder contar con análisis tecnológicos propios.
- El crecimiento económico proyectado para todos los sectores es el mismo, es decir, todos crecen al mismo ritmo y, por lo tanto, la estructura económica se mantiene inalterada con el tiempo en el escenario BAU. En realidad, se observa que los sectores crecen a un ritmo diferenciado, y sería interesante poder hacer proyecciones diferenciadas para cada sector.
- Una contribución importante sería contar con una matriz de contabilidad social o *SAM física* construida a partir de una tabla Input-Output Física. Esto nos permitiría conocer cómo se relacionan las cantidades y los precios en el modelo permitiéndonos obviar el supuesto de Harberger, según el cual todos los precios están normalizados a la unidad en el inicio. Este trabajo es un avance en esta línea, ya que realiza una integración de los datos económicos y energéticos mediante una *SAM energética*.

A pesar de las limitaciones mencionadas, el análisis permite responder con suficiente rigor a las preguntas planteadas. A continuación presentamos, a modo de resumen, algunas de las conclusiones más importantes obtenidas a lo largo de todo el proceso de investigación.

8.3 CONCLUSIONES FINALES

Reducir las emisiones de efecto invernadero en España, según lo establecido por el Protocolo de Kyoto, tendrá impactos económicos. Estos impactos dependerán de los posibles cambios futuros en la tecnología, en la producción o en los patrones de consumo.

El PIB estimado en el largo plazo (año 2050) será, aproximadamente, un 1,2% inferior al escenario en el que no existe un control sobre las emisiones (ver tabla 4.1). El coste económico total y actualizado de los objetivos de Kyoto hasta el año 2050 supone una pérdida de utilidad (en términos de variación equivalente Hicksiana) de un 0,30%.

Conclusión 1 (p.1): Reducir las emisiones de efecto invernadero tendrá un coste económico. Los niveles de PIB en el largo plazo serán aproximadamente un 1,2% inferiores a los mostrados por las proyecciones.

El consumo se reducirá de forma similar, aunque aumentará en los primeros años (ver figura 4.2). Los agentes económicos adelantan los efectos de la política decidiendo consumir más en el presente y menos en el futuro, ya que de esta forma obtienen una mayor utilidad total. Este fenómeno ilustra como en los primeros años, y antes de que la política ambiental entre en vigor, las emisiones podrían tener una tendencia a aumentar, lo que permitiría explicar, aunque solo en parte, el aumento de las emisiones ocurrido en España en los últimos años. Este incremento no debería ser visto como un problema siempre y cuando los objetivos y los plazos sean creíbles y, finalmente, se cumplan.

Conclusión 2 (p.1): Las emisiones pueden acelerarse inicialmente ante el anuncio de la política debido a una decisión intertemporal óptima entre consumo actual y consumo futuro.

La reducción del PIB mostrada es compatible con una reducción del consumo energético de un 23% sobre las proyecciones (ver tabla 4.2). Esto se debe, fundamentalmente, a las posibilidades de sustitución entre inputs, principalmente entre energía, capital y trabajo. Los resultados también muestran un intercambio en el mix energético, pasando de combustibles más contaminantes a menos (ver figura 4.6). El carbón reduce su uso (respecto a las proyecciones) un 63%, el petróleo un 36%, el gas natural un 24% y la electricidad un 11%.

Conclusión 3 (p.1): La política de reducción de emisiones induce un desacople relativo entre PIB y consumo energético, y un cambio del mix energético hacia combustibles menos intensivos en emisiones.

La reducción tiene lugar primeramente entre las emisiones de proceso (instalación de filtros o cambios de proceso), pero estas posibilidades son muy limitadas (ver figura 4.8a). La reducción principal proviene de las emisiones de combustión, que representan además

el 75% de las emisiones. Este fenómeno muestra como, aunque inicialmente sea más barato reducir las emisiones de proceso, los objetivos sólo podrán ser alcanzados a través de una reducción de las emisiones de combustión o de CO₂.

Conclusión 4 (p.1): Los objetivos de Kyoto en el largo plazo sólo podrán ser alcanzados a través de una reducción paulatina de las emisiones de combustión (CO₂).

Los resultados también muestran como los costes marginales de reducción van aumentando a medida que los objetivos de reducción se hacen más intensos y las mejores opciones se van agotando (ver figura 4.9). El precio de los permisos, obtenido a través del modelo, aumenta desde un valor nulo al principio de la política, cuando no existe escasez, pasando a 25 euros por tonelada en el año 2030 y alcanzando los 92 euros al finalizar 2050.

Conclusión 5 (p.1): Los costes marginales de reducción de GEIs aumentarán más que proporcionalmente a medida que las reducciones se hacen más intensas.

El comercio internacional muestra, en términos generales, una disminución y una ligera pérdida de competitividad con el exterior (ver tabla 4.1). Las importaciones se reducen debido, principalmente, a una menor dependencia energética en el consumo combustibles fósiles. Las exportaciones también se reducen, pero en mayor medida que las importaciones, ya que la política ambiental encarece la producción doméstica frente a la extranjera de algunos bienes haciendo más difícil su exportación (ver figura 4.7).

Conclusión 6 (p.1): La competitividad de comercio internacional empeoraría ligeramente, salvo que la restricción en las emisiones se implantara también en el resto de países.

Los resultados a nivel sectorial son más diversos que los obtenidos a nivel macroeconómico, ya que la política genera un transvase de factores productivos hacia sectores que, con la política ambiental, son más rentables. Esto genera, lógicamente, sus perdedores (i.e. sector energético; industrias intensivas en energía y materiales) y también sus ganadores (i.e. transporte marítimo y sector servicios). Los sectores más contaminantes o «sucios» se reducen mientras se abren nuevas oportunidades para los sectores «limpios» (ver figura 4.3 y 4.4), en general, en los sectores orientados a los servicios. Todo ello se traduce finalmente en una mayor terciarización de la estructura económica, tanto por el lado de la oferta (Agricultura: -2,61%; Industria: -3,83% Servicios: -0,83%) como por el lado de la demanda o el consumo (Agricultura: -5,11%; Industria: -1,01%; Servicios: +0,42%).

Conclusión 7 (p.1.1): La política contra el cambio climático induce una terciarización de la estructura económica a través de cambios en los patrones de producción y consumo.

Los resultados de este estudio están sujetos a la variabilidad propia de los parámetros utilizados. Aunque estos valores están basados en la literatura y en estudios estadísticos, tienen un componente de incertidumbre que es necesario reconocer. Un análisis de sensibilidad es la mejor manera de acotar razonablemente este problema.

Conclusión 8 (p.1.2): El impacto económico de la reducción de emisiones tiene un componente de incertidumbre importante, siendo necesario realizar un análisis de sensibilidad de los parámetros utilizados.

Todos los parámetros analizados (eficiencia y elasticidades) generan un impacto menor cuanto mayor es su valor; la única excepción es el parámetro crecimiento económico que al incrementarse hace aumentar las emisiones futuras. Algunos de los parámetros más influyentes sobre los resultados son el parámetro eficiencia de combustión, el parámetro eficiencia de proceso, el crecimiento económico y la elasticidad de sustitución entre Energía y Capital/Trabajo.

Conclusión 9 (p.1.2): El nivel de crecimiento económico, las mejoras en la eficiencia de las emisiones y la elasticidad entre energía y capital-trabajo, son parámetros con una importante influencia sobre los resultados finales.

Retrasar 10 años los objetivos de Kyoto en España (escenario Kyoto+10) provocaría que los costes en términos de PIB en el año 2050 pasasen de 1,27 a 1,26% (ver tabla 5.1). Esto se basa en la hipótesis de que la tecnología en el futuro (y en términos de eficiencia en emisiones de GEIs) cambiará al ritmo mostrado en el pasado. Siendo los costes totales similares, es mejor opción actuar antes que después, ya que esto permitiría evitar la acumulación por más tiempo de estos gases en la atmósfera y, sobre todo, porque ayudaría a crear los incentivos adecuados para que un cambio tecnológico más intenso suceda realmente.

Conclusión 10 (p.2): Si la tecnología mejorase a un ritmo normal, posponer la reducción de emisiones no reduciría significativamente los costes de mitigación en el largo plazo, siendo mejor opción actuar antes que después.

Reducir las emisiones hasta los niveles de 1990 (escenario Post-Kyoto) supone pasar de una reducción del PIB para el año 2050 de un 1,27 a una reducción de un 2,19% (ver tabla 5.1). Esto supone que un objetivo de reducción para España un 15% mayor que lo fijado en el Protocolo de Kyoto aumentaría los costes un 38%. Cuanto mayor sean la reducción de emisiones que queramos alcanzar, los sacrificios que debemos asumir aumentarán más que proporcionalmente (ver figura 5.4).

Encontrar el nivel óptimo de reducción de emisiones requiere analizar los costes y los beneficios económicos asociados a dichas reducciones. A partir de este trabajo, podemos decir que los costes de mitigación dependen fundamentalmente de la elección de los objetivos, y no tanto de la elección de los plazos (ver tabla 5.3).

Conclusión 11 (p.2): Los objetivos de reducción de emisiones deben ser razonables, ya que los costes de mitigación aumentan más que proporcionalmente a medida que los objetivos son más altos.

Conclusión 12 (p.2): En términos de impacto económico, la elección de los plazos es poco significativa en comparación con la importancia que tiene la elección de los objetivos.

El análisis realizado rechaza la hipótesis de un doble dividendo «fuerte» en la política de control del cambio climático en España (ver tabla 6.2). Este estudio corrobora lo que la mayoría de los estudios empíricos realizados hasta la fecha han mostrado: que un control de las emisiones supone una disminución de las variables económicas principales, y que una reforma fiscal, a pesar de las ganancias de eficiencia que pudiera conllevar, difícilmente puede hacer que los costes de mitigación se reduzcan a cero.

Conclusión 13 (p.3): Se rechaza la hipótesis del doble dividendo «fuerte» en la política de control del cambio climático en España.

Los resultados sobre la existencia de un doble dividendo en su versión «débil» son más variados. La reducción de los impuestos al trabajo y al consumo reducen los costes frente a la opción devolver las recaudaciones vía transferencias (ver figura 6.2). Sin embargo, una reducción de los impuestos al capital muestra precisamente lo contrario; que podemos empeorar la situación elevando los costes finales. Estos resultados sirven para mostrar que la hipótesis del doble dividendo débil no está garantizada, y que tiene que ser examinada a la luz de los datos y de manera concreta. Este estudio, sin embargo, confirma que una reducción de los impuestos al trabajo, mediante reducciones a las cotizaciones de la seguridad social, es la mejor opción existente.

Conclusión 14 (p.3): La hipótesis del doble dividendo «débil» no se cumple en todos los casos en España, pudiendo incluso suceder lo contrario; que una reforma fiscal empeore la situación frente a la opción de una devolución mediante transferencias.

Conclusión 15 (p.3): Reducir los impuestos al trabajo es una de las mejores opciones para reciclar los ingresos de la política ambiental y mejorar la eficiencia del sistema impositivo.

El análisis de instrumentos realizado muestra que las pérdidas de eficiencia (ver tabla 7.3) de un sistema de permisos transferible restringido a los sectores intensivos en CO₂ son pequeñas (1.14 veces el coste del instrumento coste-eficiente o impuesto pigouviano). Esta política, que es muy similar a la propuesta por Protocolo de Kyoto, y que aparece plasmada en el actual mercado de permisos de emisiones europeo, es un buen ejemplo de instrumento de mitigación eficiente. Para ello, es muy importante elegir bien los sectores a incluir en este mercado, ya que, una mala elección, podría elevar los costes sustancialmente (hasta 2,95 veces).

Conclusión 16 (p.4): Un mercado de permisos de emisión para sectores intensivos en energía tiene unas pérdidas de eficiencia pequeñas, pero una mala elección de los sectores incluidos en el mercado podría aumentarlas considerablemente.

Una cuota de reducción igualitaria para todos los sectores tiene un coste superior al mercado de permisos (1,33 veces), pero inferior a la opción de los impuestos. La limitación principal de este instrumento es que no crea los incentivos dinámicos adecuados para conseguir reducir las emisiones por debajo de las cuotas fijadas por la norma.

El análisis sobre los instrumentos de impuestos muestra que las pérdidas de eficiencia crecen a medida que la base imponible-consumo de energía (1,32 veces), consumo de fuel (2 veces), consumo de electricidad (8,59 veces) –se va alejando del hecho imponible– las emisiones de CO₂-. Un impuesto *ad quatum* sobre la energía es una buena medida para aquellos casos en los que sea difícil gravar las emisiones de CO₂ directamente (sectores difusos). Un impuesto *ad valorem* sobre la electricidad es la opción más costosa de todas las propuestas. Por último, un impuesto al carbón, aunque en términos de eficiencia sería interesante, no logra por sí sólo una reducción de las emisiones suficiente como para alcanzar los objetivos de Kyoto.

Conclusión 17 (p.4): Es recomendable aproximar el impuesto lo máximo posible al hecho imponible que queramos gravar. Cuando un impuesto al CO₂ no sea posible, un impuesto *ad quatum* sobre la energía es la mejor opción frente a la peor; un impuesto *ad valorem* sobre la electricidad.

El efecto sectorial de cada instrumento es variado y depende mucho los sectores sobre los que finalmente incida cada una de las políticas. La cuota igualitaria y el mercado de permisos son instrumentos con unos impactos sectoriales muy cercanos a los obtenidos por una asignación de recursos con un instrumento coste-eficiente (ver figura 7.2), cuyos efectos ya se han analizado anteriormente (ver figura 4.3 y 4.4).

Los impuestos sobre el carbón, petróleo o energía recaen fundamentalmente sobre los sectores industriales, mientras que el impuesto sobre la electricidad recae principalmente sobre los sectores servicios. Los sectores servicios son menos intensivos en emisiones, generan mayores efectos indirectos en la economía, y terminan por causar una mayor distorsión en la distribución de los costes por sectores.

Conclusión 18 (p.4): Una cuota igualitaria y un mercado de permisos en sectores intensivos tiene un efecto distributivo muy similar a la asignación de recursos generada por un instrumento coste-eficiente.

Los efectos indirectos son fundamentales para conocer la distribución sectorial de los impactos de cada instrumento. Los modelos de equilibrio general son la herramienta idónea para capturar complejos efectos intersectoriales y de interacción entre impuestos. En

algunos casos, sectores que *a priori* deberían soportar directamente los costes de la mitigación (i.e. Transporte marítimo, ver figura 7.2.c), según que instrumento sea el elegido, pueden acabar incluso obtener beneficios de manera indirecta.

Estos costes indirectos podrían incluso hacer que algunos sectores prefieran estar reguladas en cuanto a emisiones que no estarlo. El sector Refino de petróleo (ver figura 7.2.a), por ejemplo, preferirá para alcanzar los objetivos Kyoto un mercado de permisos para sectores intensivos en energía, en el que está incluido, a un mercado para los sectores no intensivos, en donde no estaría incluido; ya que en este último caso las pérdidas generales en la actividad económica serían mayores, y, más concretamente, la disminución de su actividad productiva sería mayor.

Conclusión 19 (p.4): La distribución sectorial de los costes de mitigación de cada instrumento depende mucho de los impactos indirectos. Estos efectos podría acabar beneficiando a sectores que *a priori* iban van a soportar el coste de la política.

8.4 REFLEXIÓN FINAL

En esta investigación hemos analizado los costes de mitigar las emisiones de efecto invernadero en España, focalizando nuestro estudio en la política actualmente en vigor: el Protocolo de Kyoto. Controlar las emisiones tendrá un coste económico que dependerá fundamentalmente de los cambios en la tecnología, la producción y los patrones de consumo. Aunque el impacto económico de esta medida será moderado, su magnitud no tiene precedentes en lo que a la política ambiental se refiere.

Sin embargo, no actuar frente al cambio climático, es decir, no controlar las emisiones, también nos expone a sufrir daños y riesgos económicos y ambientales importantes en un futuro. Aunque la mitigación sea una actividad costosa, será una inversión rentable si los daños esperados son mayores.

Finalmente, y en algún sentido, tendremos que elegir en que medida queremos un mayor crecimiento económico o en que medida preferimos una mayor seguridad ambiental. Esperamos que estas y otras investigaciones puedan contribuir a encontrar un correcto balance entre estos dos ingredientes esenciales para el desarrollo humano.

BIBLIOGRAFÍA

- ARMINGTON, P., 1969, *A theory of demand for products distinguished by place of production*, IMF Staff papers, 16, 158-178.
- ARROW, K. J., DEBREU, G., 1954, «Existence of an equilibrium for a competitive economy», *Econometrica*, 22, 265-90.
- ARROW, K. J., HAHN, F., 1971, *General competitive analysis*, Holden-Day, San Francisco.
- BABIKER, M. H., MAYER, M., WIENG, I. S., HYMAN, R. C., 2001, *The MIT emissions prediction and policy analysis (EPPA) model: Revisions, sensitivities, and comparisons of results*, 71, MIT Global Change Joint Program, MIT, Cambridge.
- BARRETT, S., 1998, «The political economy of the Kyoto Protocol», *Oxford Review of Economic Policy*, 14, 20-39.
- BARRO, R. J., SALA-I-MARTIN, X., 1995, *Economic growth*, McGraw-Hill, New York.
- BERGH, J. C. J. M., 1999, *Handbook of Environmental and Resource Economics*, Edward Elgar, Cheltenham.
- BERGMAN, L., 1988, «Energy policy modelling: a survey of general equilibrium approaches», *Journal of Policy Modeling*, 12, 671-691.
- BERGMAN, L., 1991, «General equilibrium effects of environmental policy: a CGE-modelling approach», *Environmental and Resource Economics*, 1, 43-61.
- BLANCHARD, O. J., FISCHER, S., 1989, *Lectures on macroeconomics*, MIT press, Cambridge.
- BOSQUET, B., 2000, «Environmental tax reform: does it work? A survey of the empirical evidence», *Ecological Economics*, 34, 19- 32.
- BOVENBERG, A. L., GOULDER, L. H., 1996, «Optimal environmental taxation in the presence of other taxes: general equilibrium analyses», *American Economic Review*, 86(4), 985-1000.
- BOVENBERG, A. L., 1999, «Green tax reforms and the double dividend: an updated reader's guide», *International Tax Public Finance*, 6, 421-443.
- BOVENBERG, A. L., HEIJDRÁ, B. J., 2002, «Environmental abatement and intergenerational distribution», *Environmental and Resource Economics*, 23, 45-84.
- BOHRINGER, C., RUTHERFORD, T., 2002, «Carbon abatement and international spillovers: a decomposition of general equilibrium effects», *Environmental and Resource Economics*, 22 (3), 391-417.
- BOHRINGER, C., 1998, «The synthesis of bottom-up and top-down in energy policy modelling», *Energy Economics*, 20(3), 233-248.

- BROOKE, A., KENDRICK, D., MEERAUS, A., RAMAN, R., 1998, *GAMS: A user's guide*, GAMS Development Corporation.
- CAPROS, P., PROOST, S., CONRAD, K., KOTSOMITI, S., ATSAVES, G., 1998, *The GEM-E3 model: Reference manual*, European Commission.
- CARRARO, C., GALEOTTI, M., GALLO, M., 1996, «Environmental taxation and unemployment: some evidence on the double dividend hypothesis in Europe», *Journal of Public Economics*, 2, 141-181.
- CHIANG, A. C., 1988, *Métodos fundamentales de economía matemática*, Ed. McGraw-Hill.
- CISCAR, J. C., 2004, «Integrated assessment models of climate change: an overview from an economic perspective», Working Paper, IPTS, Sevilla
- CONRAD, K., 1999, «Computable general equilibrium modelling for environmental economics and policy analysis», van den Bergh (ed.), *Handbook of Environmental and Resource Economics*, Edward Elgar, Cheltenham.
- COOPER, A., LIVERMORE, S., ROSSI, V., WILSON, V., WALKER, J., 2005, «The economic implications of reducing carbon gas emissions: a cross-country quantitative investigation using the Oxford global macroeconomic and energy model», *Energy Journal*, Especial Issue: The cost of Kyoto Protocol: A multi-model evaluation, 367-390.
- CRIQUI, P., 2001, *POLES: Prospective outlook on long-term energy systems*, Unité mixte de recherche du Centre National de la Recherche Scientifique, UFR DGES, France.
- DELLINK, R. B., 2005, *Modelling the costs of environmental policy: a dynamic applied general equilibrium assessment*, Edward Elgar Publishing, Cheltenham.
- DELLINK, R. B., HOFKES, M., van IERLAND, E., VERBRUGGEN, H., 2004, «Dynamic modelling of pollution abatement in a CGE framework», *Economic Modelling*, 21, n.º 6, 965-989.
- DIRKSE, S. P., FERRIS, M. C., 1995, «The PATH solver: A non-monotone stabilization scheme for mixed complementarity problems», *Optimization Methods and Software*, 5, 123-156.
- ELLERMAN, A., DECEAUX, A., 1998, *Analysis of Post-Kyoto CO2 emissions trading using marginal abatement curves*, Joint Program on the Science and Policy of Global Change, MIT, Cambridge.
- EUROSTAT, 1991, *Environmental statistics*, European Statistic Office, Luxemburgo.
- EUROSTAT, 2005, *Energy and environment statistics*, European Statistic Office, Luxemburgo.
- JONES, C. I., 1995, «Time series tests of endogenous growth models», *Quarterly Journal of Economics*, 110, 495-525.
- JORGENSEN, D. W., WILCOXEN, P. J., 1993, «Reducing U.S. carbon emissions: An econometric general equilibrium assessment», *Resource and Energy Economics* 15, 7-25.
- GAGO, A., LABANDEIRA, X., RODRÍGUEZ, M., 2004 «Evidencia empírica internacional sobre los dividendos de la imposición ambiental», Buñuel, M.(Ed) *Fiscalidad Ambiental*, Civitas, Madrid.
- GINSBURGH, V., KEYZER, M. A., 1997, *The structure of applied general equilibrium models*, MIT Press, Cambridge.
- GÓMEZ, A., 2005 «Simulación de políticas económicas: los modelos de equilibrio general aplicado», *Cuadernos Económicos de ICE*, 69, 197-217.

- GÓMEZ, A., 1999 «GAMS/MPSGE: Un sistema para la resolución de modelos de equilibrio general aplicado», *Revista de Economía Aplicada*, 19, 171-183.
- GÓMEZ, A., KVERNDOKK, S., FAEHN, T., 2004, «Can carbon permit system reduce Spanish unemployment?», Discussion paper, 410, Statistics Norway, Oslo.
- GOULDER, L. H., 1995, «Effects of carbon taxes in an economy with prior tax distortions: an intertemporal general equilibrium analysis», *Journal of Environmental Economics and Management*, 29, 271-297.
- GOULDER, L. H., PARRY, I., WILLIAMS III, R. C., BURTRAW, D. T., 1999, «The cost-effectiveness of alternative instruments for environmental protection in a second-best setting», *Journal of Public Economics*, 72, 329-360.
- GRUBB, M., EDMONDS, J., BRINK, P., MORRISON, M., 1993, «The cost of limiting fossil-fuel CO2 emissions: A survey and analysis», *Annual Reviews*, 18, 397-478.
- HAHN, R. W., 1989, «Economic prescriptions for environmental problems: how the patient followed the doctor's orders» *Journal of Economic Perspectives*, 3(2), 95-114.
- HAHN, R. W., 2000, «The impact of economics on environmental policy», *Journal of Environmental Economics and Management*, 39, 375-399
- HOLMLUND, B., KOLM, A. S., 2000, «Environmental tax reform in a small open economy with structural unemployment», *International Tax and Public Finance*, 7(3), 315-333.
- HOLTSMARK, B., MAESTAD, O., 2002, «Emission trading under the Kyoto Protocol effects on fossil fuel markets under alternative regimes», *Energy Policy*, 30(3), 207-218.
- HYMAN, R. C., REILLY, J. M., BABIKER, M. H., DE MÁJIN, A., JACOBY, H. D. 2003, «Modeling non-CO2 greenhouse gas abatement», *Environmental Modeling and Assessment*, 8(3), 175-186.
- IEA, 1998, *Energy Statistics of OECD Countries 1995-1996*, International Energy Agency, París.
- INE, 2002a, *Contabilidad Nacional de España. Serie Contable 1995-2000. Marco Input-Output*, Instituto Nacional de Estadística, Madrid.
- INE, 2002b, *Estadísticas de Medio Ambiente, Cuentas Ambientales*, Instituto Nacional de Estadística, Madrid.
- IPPC, 2007, *Climate change 2007: The physical science basis. Fourth assessment report*, Intergovernmental Panel of Climate Change, Paris.
- IPPC, 2001, *Climate change 2001: Synthesis of third assessment report*, Intergovernmental Panel of Climate Change, Paris.
- KELLY, D. L., KOLSTAD, C. D., MITCHELL, G. T., 2005, «Adjustment costs from environmental change», *Journal of Environmental Economics and Management*, 50(3), 468-495.
- KOROSAWA, A., YAGUITA, H., ZHOU, W., TOKIMATSU, K., YANAGISAWA, Y., 1999, «Analysis of carbon emission stabilization targets and adaptation by integrated assessment model», *Energy Journal*, 20, 157-175.
- KRUPNIK, D., 1986, «Cost of alternative policies for the control of nitrogen dioxide in Baltimore, Maryland», *Journal of Environmental Economics and Management*, 13, 189-197.
- KRUTILLA, K. 1999 «Environmental policy and transactions cost», van den Bergh (ed.), *Handbook of Environmental and Resource Economics*, Edward Elgar, Cheltenham.
- LAU, M. I., PAHLKE, A., RUTHERFORD, T. F. 2002, «Approximating infinite-horizon models in a complementarity format: A primer in dynamic general equilibrium analysis», *Journal of Economic Dynamics & Control*, 26(4), 577-609.

- LABANDEIRA, X., LABEAGA, J., RODRIGUEZ, M., 2004, «New analytical approach for integrating micro and macro-economic models to simulate energy policies», Documento de trabajo, Universidad de Vigo.
- LABANDEIRA, X., RODRIGUEZ, M., 2006, «The effects of a sudden CO₂ reduction in Spain», en DE MIGUEL, C., LABANDEIRA, X. y MANZANO, B. (eds) *Economic Modelling of Climate Change and Energy Policies*. Edward Elgar, Cheltenham
- LINDHOLT, L., 2005, Beyond Kyoto: backstop technologies and endogenous prices on CO₂ permits and fossil fuels, *Applied Economics*, 37(17), 2019-2036.
- LOSCHEL, A., 2002, «Technological change in economic models of environmental policy: a survey», *Ecological Economics*, 43(2), 105-126.
- MANNE, A., MENDELSON, R., RICHELS, R., 1995, «MERGE: A model for evaluating regional and global effects of GHG reduction policies», *Energy Policy*, 23(1), 17-34.
- MANRESA, A., SANCHO, F., 2005, «Implementing a double dividend: recycling ecotaxes towards lower labor taxes», *Energy Policy*, 33(12), 1577-1585.
- MATHIENSEN, L., 2005, «Computational of economic equilibrium by a sequence of linear complementary problems», *Operation Research*, 33(6), 1225-1250.
- MCCANN, L., COLBY, B., EASTER, K. W., KASTERINE, A., KUPERAN, K. V., 2005, «Transaction cost measurement for evaluating environmental policies», *Ecological Economics*, 52(4), 527-542.
- MCKIBBIN, W. J., SHAKELTON, R., WILCOXEN, P. J., 1999, «What to expect from a international system of tradable permits for carbon emissions», *Resource and Energy Economics*, 21, 319-346.
- MICHAELIS, P. 1999, «Sustainable greenhouse policies: the role of non-CO₂ gases», *Structural Change and Economic Dynamics*, 10, 239-260.
- MICHAELOWA, A., JOTZO, F., 2005, «Transaction costs, institutional rigidities and the size of the clean development mechanism», *Energy Policy*, 33(4), 511-523.
- MITYC, 2001, *Libro de la energía en España 2001*, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Madrid.
- MMA, 2005, «Evaluación preliminar de los impactos en España por el efecto del cambio climático», Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- NORDHAUS, W. D., 1978, «Economic growth and climate: The carbon dioxide problem», *The American Economic Review*, 1(67), 341-346.
- NORDHAUS, W. D., 1993, «Rolling the «DICE»: An optimal transition path for controlling greenhouse gases», *Resource and Energy Economics*, 15(1), 27-50.
- NORDHAUS, W. D., YANG, Z, 1996, «RICE: A Regional Dynamic General Equilibrium Model of Optimal Climate-Change Policy», *The American Economic Review*, 86(4), 741-765.
- NORDHAUS, W. D., 1999, «Economics and policy Issues in climate change», Ed. Nordhaus, Resource for the future, Washington, D.C.
- NORDHAUS, W. D., 2001, «Global Warming Economics», *Science*, 294.
- OATES, W. E., 1995, «Green taxes: can we protect the environment and improve the tax system at the same time?», *Southern Economic Journal*, 61(4), 914-922.
- OCAÑA, C., 2004, «Impacto del Protocolo de Kyoto sobre la economía española», *Revista interdisciplinar de gestión ambiental*, 63, 12-26.

- ORESQUES, N., 2004, «The scientific consensus on climate change», *Science*, 306.
- PARRY, I., WILLIAMS III, R. C., 1999, «A second-best evaluation of eight policy instruments to reduce carbon emissions», *Resource and Energy Economics*, 21, 347-373.
- PATUELLA, R., NIJKAMPB, P., PELS, E., 2005, «Environmental tax reform and the double dividend: A meta-analytical performance assessment», *Ecological Economics*, 55, 564-583.
- PEARCE, D., 1991, «The role of carbon taxes in adjusting to global warming», *The Economic Journal*, 101, 938-948.
- PERMAN, R., MA, Y., MCGILVRAY, J., COMMON, M., 2005, *Natural Resource and Environmental Economics*, Addison-Wesley.
- PNA, 2004, *Plan nacional de asignación de derechos de emisión 2005-2007*. (BOE 216; 7 septiembre), Ministerio del Medio Ambiente, Madrid.
- PRINN, R., JACOBY, H., SOKOLOV, A., WANG, C., XIAO, X., YANG, Z., ECKHAUS, R., STONE, P., ELLERMAN, D., MELILLO, J., FITZMAURICE, J., KICKLIGHTER, D., HOLIAN, G., LIU, Y., 1999, «Integrated Global System Model for climate policy assessment: feedbacks and sensitivity studies», *Climatic Change*, 41(3-4), 469-546.
- REILLY, J., SAROFIM, M., PALTSEV, S., PRINN, R., 2004, «*The Role of Non-CO2 Greenhouse Gases in Climate Policy: Analysis Using the MIT IGSM*», 114, MIT Global Change Joint Program, MIT, Cambridge.
- RUSSELL, C. S., POWELL, P.T., 1999, «Practical considerations and comparasion of instruments of environmental policy», van den Bergh (ed.), *Handbook of Environmental and Resource Economics*, Edward Elgar, Cheltenham.
- RUTHERFORD, T., 1999, «Applied general equilibrium modeling with MPSGE as a GAMS subsystem: an overview of the modeling framework and syntax », *Computational Economics*, 14, 1-46.
- RUTHERFORD, T., PALTSEV, S., 2000, *GTAP-EG: Incorporating energy statistics into GTAP format*, Documento de Trabajo, University of Colorado.
- RUTHERFORD, T., 2001, *Calibration of models with multy-year period*, Documento de Trabajo, Universidad de Colorado.
- RUTHERFORD, T., 2004, *Dynamic General Equilibrium with GAMS/MPSGE*, Documento de Trabajo, Universidad de Colorado.
- SCARF, H. E., 1973, *Computation of equilibrium prices*, New Haven: Yale University Press.
- SEEBREGTS, A. J., GOLDSTEIN, G., SMEKENS, K., 2001, «Energy/Environmental modelling using the MARKAL family of models», *Operations Research Proceedings*, 2001, 75-83.
- SHOVEN, J., WHALLEY, J., 1992, *Applying General Equilibrium*, Cambridge University Press, Cambridge.
- SHOVEN, J., WHALLEY, J., 1984, «Applied general equilibrium models of taxation and international trade: an introduction and survey», *Journal of Economic Literature*, 22.
- SPRINGER, U., 2003, «The market for tradable GHG permits under the Kyoto Protocol: a survey of model studies», *Energy Economics*, 25(5), 527-551.
- TITENBERG, T., 1990, «Economic instrument for environmental regulation», *Oxford Review of Economic Policy*, 6(1), 17-34.
- UN, 1997, *Protocolo de Kyoto de la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*, Naciones Unidas.

- UNFCCC, 2001, *The Marrakech Accords and the Marrakech Declaration*, UN Framework Convention on Climate Change, París.
- VÖHRINGER, F. y DELLINK, R. B., 2004, *Theories and models in environmental economics*, Wageningen University.
- WAJSMAN, N., 1995, «The use of computable general equilibrium models in evaluating environmental policy», *Journal of Environmental Management*, 44(2), 127-143.
- WEYANT, J. P., 1993, «Cost of reducing global carbon emissions», *The Journal of Economic Perspectives*, 7(4), 27-46.
- WHALLEY, J., WIGLE, R., 1991, «Cutting CO2 emissions: The effects of alternative policy approaches», *Energy Journal*, 12(1), 109-124.

CÓDIGOS GAMS/MPSGE

Modelo DANTE versión estática simplificada¹

```
$TITLE DANTE
```

```
*-----
* <Project>: Economic Analysis of Climate Change Policy in Spain
* <Model>: Static Simplified Version of DANTE model
*-----
```

```
$offlisting
```

```
$offsymxref
```

```
OPTION solprint=off;
```

```
SETS FJ      Commodities
```

```

/Y1      "Agriculture"
Y2      "Extraction of coal"
Y3      "Extraction of oil and gas"
Y4      "Other mining"
Y5      "Food industry"
Y6      "Clothing industry"
Y7      "Paper industry"
Y8      "Oil energy sector"
Y9      "Chemic industry"
Y10     "Metalic industry"
Y11     "Machinery industry"
Y12     "Other industry"
Y13     "Electricity energy sector"
Y14     "Gas energy sector"
Y15     "Water distribution"
Y16     "consumtruction"
Y17     "Transport by road"
Y18     "Transport by water"
Y19     "Transport by air"
Y20     "Transport services"
Y21     "Comercial services"
Y22     "Non-Comercial services"
L       "Labor"
K       "Capital"/
```

¹ Versión estática del modelo DANTE. Recoge únicamente las emisiones de CO₂ y utiliza una única función de producción para todos los sectores. Ha sido utilizada en las simulaciones del capítulo 7.

J(FJ)	All production sectors	/Y1*Y22/
E(J)	Coal crude oil and gas	/Y2,Y3,Y8,Y14/
P(J)	Coal oil and gas	/Y2,Y8,Y14/
NE(J)	All except coal oil and gas	/Y1,Y3,Y4*Y7,Y9*Y12,Y15*Y22/
IN(J)	Industry sectors except chemic	/Y5*Y8,Y10*Y12/
ID(J)	Industry sectors	/Y2*Y16/
SV(J)	Service sectors	/Y17*Y22/
F(FJ)	Factor of production	/L,K/
H	Consumers	
	/Priv "Households"	
	Govt "Government"/	
SIM	Simulations	
	/Bm,sim1*sim6/ ;	

ALIAS (J,JG), (H,HG)

PARAMETER

YO(J)	Base level of production
IDO(JG,J)	Base level of intermediate deliveries
FO(F,J)	Base level of factor use
ENDOW(F,H)	Base level of factor endowments
invsh(J)	Base level of investment share
SO	Base level of savings
CO(J,H)	Base level of consumption
WO(H)	Base level of welfare
MO(J)	Base level of imports
XO(J)	Base level of exports
TSO(J)	Base level of total supply
TDO(J)	Base level of total demand
TRADELS	Lumpsum tranfers from trade balance
taxl	Tax rate on labor supply
taxk	Tax rate on capital supply
taxc	Tax rate on consumption
taxls	Lump sum transfers between government and consumers
PKO(J)	Base level price of capital after tax
PLO(J)	Base level price of labor after tax
PCO(J)	Base level price of consumption after tax
PEO	Base level price of emission permits
eco2c(*,P)	CO2 coefficients
eco2(P,*)	CO2 produccion and consumption emissions(Gg Co2 Equiv)
etco2	Total CO2 emissions (Gg Co2 Equiv)
permits	Number of permits
targets	Emission targets
elas(*)	Elasticities of substitution

**Reporting parameters*

gdp(sim)	Reporting gross domestic product
prd(sim,*)	Reporting production
inv(sim)	Reporting total invesment-savings
tconsum(sim,h)	Reporting total consumption
consum(sim,*)	Reporting private consumption
welf(sim,h)	Reporting total welfare
import(sim,*)	Reporting imports
export(sim,*)	Reporting exports
trade(sim,*)	Reporting trade balance
emis(sim)	Reporting total emission
tsprd(sim,*)	Reporting sectoral supply

```

tdprd(sim,*)      Reporting sectoral demand
co2(sim,*)        Reporting sectoral and total co2 emissions
ener(sim,*)       Reporting sectoral and energy consumption
fuels(sim,p)      Reporting fuels consumption by fuel
elec(sim)         Reporting electricity use
prices(sim,*,*)   Reporting equilibrium prices
endog(sim,*)      Reporting endogenous variables values
check(*,*)        Reporting check parameters;

```

```
$INCLUDE "DATA.TXT";
```

```
*Production, consumption and endowment factors
```

```

IDO(JG,J)         = -SAM(JG,J);
IDO(J,J)          = 0;
FO(F,J)           = -SAM(F,J);
ENDOW(F,H)        = SAM(F,H);
CO(J,"priv")      = -SAM(J,"priv");
CO(J,"govt")      = -SAM(J,"g");
YO(J)             = SAM(J,J);

```

```
*Taxes and Transfers
```

```

taxl(J)$FO("L",J) = -SAM("taxl",J)/FO("L",J);
taxk(J)$FO("K",J) = -SAM("taxk",J)/FO("K",J);
taxc(J)$CO(J,"priv") = SAM("taxcr",J)/CO(J,"priv");
taxls              = SAM("taxls","priv");

```

```
*Prices after taxes
```

```

PLO(J)           =1+taxl(J);
PKO(J)           =1+taxK(J);
PCO(J)           =1+taxc(J);

```

```
*Trade block
```

```

MO(J)            = SAM(J,"Imp");
XO(J)            = -SAM(J,"Exp");
TSO(J)           = YO(J) + MO(J);
TDO(J)           = TSO(J) - XO(J);
TRADELS          = SAM("TradBal","Priv");

```

```
*Investment and savings
```

```

SO               = -SUM(J,SAM(J,"I"));
invsh(J)         = -SAM(J,"I")/SO;

```

```
*Environment block
```

```

eco2(P,J)        = eco2c(J,P)*(-SAM(P,J));
eco2(P,"priv")   = eco2c("priv",P)*(-SAM(P,"priv"));
eco2(P,P)        = 0;
etco2            = SUM(J,SUM(p,ECO2(P,J)))+SUM(P,ECO2(P,"priv"));
PEO              = 1E-6;
permits          = etCO2;
targets(sim)     = etCO2*(1-(ord(sim)-1)*0.05);

```

```
*Welfare
```

```

WO("priv")       = SUM(J,CO(J,"priv")*PCO(J));
WO("govt")        = SUM(J,CO(J,"govt"));

```

```
*-----MPSGE-BEGIN OF THE MODEL-----
```

\$ONTEXT**\$MODEL:** DANTE**\$SECTORS:**

Z(J)\$YO(J) ! Activity Level of Domestic Producction
 TS(J) ! Activity Level of Total Supply
 TD(J) ! Activity Level of Domestic Demand
 W(H) ! Activity Level of Welfare
 I ! Activity Level of Investment

\$COMMODITIES:

PZ(J)\$YO(J) ! Price of Domestic supplyty
 PS(J) ! Price of Total Supply
 PD(J) ! Price of Domestic demand
 PL ! Price of Labor
 PK ! Price of Capital
 PW(H) ! Price of Welfare
 PE ! Price of Emissions
 PXR ! Exchanged Rate
 PI ! Price of Investment

\$CONSUMERS:

cons(H) ! Consumers

\$AUXILIARY:

endolst ! Endogenous lumpsum adjustment
 kstock ! Endogenous capital stock adjustment
 endotr ! Endogenous trade balance adjustment

\$PROD:Z(J)\$YO(J) sKEL:elas("eKEL") sKEL:elas("eKEL") sKL(sKEL):elas("eKL")
 + sE(sKEL):elas("eE") sE1(sE):elas("eE1") sOIL(sE1):0 sGAS(sE1):0 sCOA(sE1):0
 O:PZ(J) Q:YO(J)
 I:PD(NE) Q:IDO(NE,J)
 I:PD("y2") Q:IDO("y2",J) sCOA:
 I:PD("y8") Q:IDO("y8",J) sOIL:
 I:PD("y14") Q:IDO("y14",J) sGAS:
 I:PD("y13") Q:IDO("y13",J) sE:
 I:PL Q:FO("L",J) p:PLO(J) sKL: A:cons("govt") T:taxL(J)
 I:PK Q:FO("K",J) p:PKO(J) sKL: A:cons("govt") T:taxK(J)
 I:PE Q:ECO2("Y2",J) p:PEO scoa:
 I:PE Q:ECO2("Y8",J) p:PEO soil:
 I:PE Q:ECO2("Y14",J) p:PEO sgas:

\$PROD:I s:0
 o:PI Q:SO
 i:PD(J) Q:(invsh(J)*SO)

\$PROD:TS(J) sA:elas("eT")
 O:PS(J) Q:TSO(J)
 I:PZ(J) Q:YO(J) sA:
 I:PXR Q:MO(J) sA:

\$PROD:TD(J) tT:elas("eA")
 O:PD(J) Q:TDO(J) tT:
 O:PXR Q:XO(J) tT:
 I:PS(J) Q:TSO(J)

\$PROD:W("priv") sC:elas("eC") sEG(sC):elas("eEG") sOG(sC):elas("eOG")

```

+          sOIL(sEG):0  sGAS(sEG):0  sCOA(sEG):0
O:PW("priv")  Q:WO("priv")
I:PD(NE)      Q:CO(NE,"priv")      p:PCO(NE)      sOG:  A:cons("govt")  T:taxc(NE)
I:PD("y2")    Q:CO("y2","priv")      p:PCO("y2")    sCOA: A:cons("govt")  T:taxc("y2")
I:PD("y8")    Q:CO("y8","priv")      p:PCO("y8")    sOIL: A:cons("govt")  T:taxc("y8")
I:PD("y14")   Q:CO("y14","priv")     p:PCO("y14")   sGAS: A:cons("govt")  T:taxc("y14")
I:PD("y13")   Q:CO("y13","priv")     p:PCO("y13")   sEG:  A:cons("govt")  T:taxc("y13")
I:PE         Q:ECO2("y2","priv")  p:PEO          sCOA:
I:PE         Q:ECO2("y8","priv")  p:PEO          sOIL:
I:PE         Q:ECO2("y14","priv") p:PEO          sGAS:

```

```

$PROD:W("govt") s:0
O:PW("govt")  Q:WO("govt")
I:PD(J)       Q:CO(J,"govt")

```

```

$DEMAND:cons("priv")
D:PW("priv")  Q:WO("priv")
E:PL         Q:ENDOW("L","priv")
E:PK         Q:ENDOW("K","priv")  R:KSTOCK
E:PW("govt") Q:TAXLS              R:ENDOLST
E:PXR        Q:TRADELS          R:ENDOTR
E:PI         Q:(-SO)            R:KSTOCK

```

```

$DEMAND:cons("govt")
D:PW("govt")  Q:WO("govt")
E:PW("govt")  Q:TAXLS
E:PE         Q:Permits

```

```

$CONSTRAINT:endolst
1 =E= W("govt");

```

```

$CONSTRAINT:kstock
pi=e=pk;

```

```

$CONSTRAINT:endotr
1 =E= pw("priv");

```

\$REPORT:

```

V:Wout(H)      O:PW(H)      PROD:W(H)
V:Cin(J,H)     I:PD(J)      PROD:W(H)
V:Zout(J)      O:PZ(J)      PROD:Z(J)
V:Zin(J,JG)    I:PD(J)      PROD:Z(JG)
V:Kin(J)       I:PK         PROD:Z(J)
V:Lin(J)       I:PL         PROD:Z(J)
V:TSout(J)     O:PS(J)      PROD:TS(J)
V:Min(J)       I:PXR        PROD:TS(J)
V:TDout(J)     O:PD(J)      PROD:TD(J)
V:Xout(J)      O:PXR        PROD:TD(J)
V:Iin(J)       I:PD(J)      PROD:I
V:ksin         I:PK         PROD:K
V:EWco2        I:PE         PROD:W("Priv")
V:EZco2(J)     I:PE         PROD:Z(J)

```

\$OFFTEXT

```

*-----MPSGE- END OF THE MODEL-----

```

```

$SYSINCLUDE mpsgeset DANTE
*initial values and limits

```

```

Z.l(J) =1;
TS.l(J) =1;
TD.l(J) =1;
W.l(H) =1;
I.L =1;
PZ.l(J) =1;
PS.l(J) =1;
PD.l(J) =1;
PXR.l =1;
PL.l =1;
PK.l =1;
PI.l =1;
PW.l(H) =1;
PE.l =0;
PW.fx("priv")=1;
kstock.l = 1;
endolst.l = 1;
endolst.up = inf;
endolst.lo = -inf;
endotr.l = 1;
endotr.up = inf;
endotr.lo = -inf;

```

*-----Check benchmark replication-----

```

permits = etco2;
DANTE.iterlim = 0;
$INCLUDE DANTE.gen
SOLVE DANTE USING MCP;
DANTE.iterlim =1000;

```

*-----Simulations-----

```

LOOP(sim,
permits =targets(sim);
$INCLUDE DANTE.gen
SOLVE DANTE USING MCP;

```

*-----Reporting values-----

*Macro-economic (volumes)

```

welf(sim,"priv") = Wout.L("priv");
gdp(sim) = sum(H,Wout.L(H))+sum(J,Iin.L(J));
prd(sim,"total") = sum(J,Zout.L(J));
prd(sim,"Agri") = Zout.L("Y1");
prd(sim,"Ind") = sum(ID,Zout.L(ID));
prd(sim,"Serv") = sum(SV,Zout.L(SV));
inv(sim) = sum(J,Iin.L(J));
consum(sim,h) = sum(j,Cin.L(J,h));
consum(sim,"Agri") = Cin.L("Y1","Priv");
consum(sim,"Ind") = sum(ID,Cin.L(ID,"Priv"));
consum(sim,"Serv") = sum(SV,Cin.L(SV,"Priv"));
import(sim,"total")= sum(J,Min.l(J));
export(sim,"total")= sum(J,Xout.l(J));
trade(sim,"total") = sum(J,Xout.l(J))-sum(J,Min.l(J));
emis(sim) = EWco2.l+sum(J,EZco2.l(J));

```

*Sectoral Production and Cosumption (volumes)

```

prd(sim,J) = Zout.L(J);

```

```

        consum(sim,J)      = Cin.L(J,"priv");
*Sectoral trade balance, import and export (volumes)
        import(sim,J)     = Min.l(J);
        exportt(sim,J)    = Xout.l(J);
        trade(sim,J)      = Xout.l(J) -Min.l(J);
*Fossil Fuel consumption (volumes)
        fuels(sim,p)      = Cin.L(p,"priv")+sum(J,Zin.L(p,J));
*Electricity consumption (volumes)
        elec(sim)         = Cin.L("Y13", "priv")+sum(J,Zin.L("Y13",J));
*CO2 emissions (volumes)
        co2(sim,J)        = EZco2.l(J);
        co2(sim,"priv")   = EWco2.l;
        co2(sim,"total") = sum(J,EZco2.l(J))+EWco2.l;
*Total energy consumption (volumes)
        ener(sim,"prod")  = sum((P,J),Zin.L(P,J))+sum(J,Zin.L("Y13",J));
        ener(sim,"priv") = sum(P,Cin.l(P,"priv"))+Cin.l("Y13", "priv");
        ener(sim,"total") = ener(sim,"prod")+ener(sim,"priv");
*Total supply and demand production (volumes)
        tsprd(sim,J)      = TSout.l(J);
        tdprd(sim,J)      = TDout.l(J);
*Prices (%-changed from benchmark, for prices index=1 and numeraire
pw("priv"))
        prices(sim,"PZ",J) = pz.l(j)/pw.l("priv");
        prices(sim,"PD",J) = pd.l(j)/pw.l("priv");
        prices(sim,"PS",J) = ps.l(j)/pw.l("priv");
        prices(sim,"PW",H) = pw.l(H)/pw.l("priv");
        prices(sim,"PK", "total")= pk.l/pw.l("priv");
        prices(sim,"PL", "total")= pl.l/pw.l("priv");
        prices(sim,"PI", "total")= pi.l/pw.l("priv");
        prices(sim,"PE", "total")= pe.l/pw.l("priv");
        prices(sim,"PX", "total")= pxr.l/pw.l("priv");
*Endogenous adjustment variables(%-change compared to benchmark index=1)
        endog(sim,"endolst") = endolst.l;
        endog(sim,"endolst") = kstock.l;
        endog(sim,"endolst") = endotr.l;
*Check for walras law, number of iterations, solver and model status
        check(sim,"walraslaw") = DANTE.objval;
        check(sim,"iterations")= DANTE.iterusd;
        check(sim,"solver")    = DANTE.solvestat;
        check(sim,"model")     = DANTE.modelstat;
);
DISPLAY check;

* A separate file is used for result writing to a external file

```

Modelo DANTE versión dinámica completa

\$TITLE DANTE

```

*-----
* <Project>: Economic Analysis of Climate Change Policy in Spain
* <Model>: Full Dynamic version of DANTE model
*-----

```

\$offlisting

\$offsymxref

OPTION solprint=on;

```

SETS      yr      Time in years      /1995*2050/
          t       Time in periods  /1995,2000,2005,2010,2015,2020,
                               2025,2030,2035,2040,2045,2050/

          tf(t)   First period
          tl(t)   Last period
          tp      Year within period /1*5/
          FJ      Commodities
                  /Y1      "Agriculture"
                  Y2      "Extraction of coal"
                  Y3      "Extraction of oil and gas"
                  Y4      "Other mining"
                  Y5      "Food industry"
                  Y6      "Clothing industry"
                  Y7      "Paper industry"
                  Y8      "Oil energy sector"
                  Y9      "Chemic industry"
                  Y10     "Metalic industry"
                  Y11     "Machinery industry"
                  Y12     "Other industry"
                  Y13     "Electricity energy sector"
                  Y14     "Gas energy sector"
                  Y15     "Water distribution"
                  Y16     "Construction"
                  Y17     "Transport by road"
                  Y18     "Transport by water"
                  Y19     "Transport by air"
                  Y20     "Transport services"
                  Y21     "Comercial services"
                  Y22     "Non-Comercial services"
                  L       "Labor"
                  K       "Capital"/

          J(FJ)   All production sectors      /Y1*Y22/
          E(J)    Crude-coal-oil-gas          /Y2, Y3, Y8, Y14/
          P(J)    Coal-oil-gas                /Y2, Y8, Y14/
          NP(J)   All except coal-crude-oil-gas /Y1, Y4*Y7, Y9*Y12, Y15*Y22/
          NE(J)   All except coal-oil-gas      /Y1, Y3, Y4*Y7, Y9*Y12, Y15*Y22/
          IN(J)   Industry sectors except chemical /Y5*Y8, Y10*Y12/
          ID(J)   Industry sectors            /Y2*Y16/
          SV(J)   Service sectors              /Y17*Y22/
          F(FJ)   Factor of Production        /L, K/
          H       Consumers
                  /Priv "Households"
                  Govt "Govertment"/

```

SIM Simulations
 /EM,KYOTO/;

ALIAS (J,JG) , (H,HG);
tf(t) = YES\$(ORD(t) EQ 1);
tl(t) = YES\$(ORD(t) EQ CARD(t));

SCALAR

n Years per period
g0 Assumed annual growth rate
r0 Assumed annual interest rate
delta0 Assumed annual capital depreciation rate
g Assumed per period growth rate
r Assumed per period interest rate
delta Assumed per period capital depreciation rate
IO Base year investment(for steady state)
KO Base year capital stock(for steady state)
pki Price index capital
thetat Budget share of model horizon in infinite-horizon
e1990 Emissions levels in Spain in 1990
limit % Emission level limits from 1990;

PARAMETER

**Model parameters*

YO(J) Base level of Production
IDO(JG,J) Base level of Intermediate Deliveries
FO(F,J) Base level of Factor use
ENDOW(F,H) Base level of Factor Endowments
invsh(J) Base level Input shares for investments
SO Base level of savings
CO(J,H) Base level of consumption
WO(H) Base level of welfare
MO(J) Base level of imports
XO(J) Base level of exports
TSO(J) Base level supply
TDO(J) Base level demand
TRADELS Base level lumpsum tranfers from trade balance
taxl Tax rate on labor supply
taxk Tax rate on capital Supply
taxc Tax rate on consumption
taxls Base level lump sum transfers between goverment and consumers
PKO(J) Base level price of capital after tax
PLO(J) Base level price of labor after tax
PCO(J) Base level price of consumption after tax
PEO Base level price of emission permits
eco2c(*,P) Base level CO2 Emission Coefficients
eco2(P,*) Base level CO2 Emission Production (Gg Co2 Equiv)
enco2c(*) Base level No-CO2 Emission Coefficients
enco2(*) Base level No-CO2 Emission Production (Gg Co2 Equiv)
etco2 Base level Total CO2 Emission (Gg Co2 Equiv)
etnco2 Base level Total No-CO2 Emission (Gg Co2 Equiv)
etot Base level Total EmissionS (Gg Co2 Equiv)
targets(t,sim) Emission Target
elas(*) Elasticities of substitution
qgw(t) Exogenous reference growth rate for quantities
pgw(t) Exogenous reference growth rate for prices
egwco2(t) Exogenous reference growth rate for CO2 emissions
egwnco2(t) Exogenous reference growth rate for No-CO2 emissions

apeico2(t) Autonomous pollution efficiency for CO2 emissions
apeinco2(t) Autonomous pollution efficiency for No-CO2 emissions
ithis Share of investment used in this period
inext Share of investment used in next period
permits(t) Level of emission permits
tdsh(J) Price growth reference
**Report parameters*
ev(sim,H) Reporting equivalent variation in income
cterm(sim,H) Reporting consumption last period
u(sim,H) Reporting utility
gdp(sim,t) Reporting gross domestic product
prd(sim,t,*) Reporting production
inv(sim,t) Reporting total investment-savings
tcons(sim,t,H) Reporting total consumption
cons(sim,t,*) Reporting private consumption
welf(sim,t,h) Reporting total welfare
import(sim,t,*) Reporting imports
export(sim,t,*) Reporting exports
tradebal(sim,t,*) Reporting trade balance
emis(sim,t,*) Reporting total emission
tsprd(sim,t,*) Reporting sectoral supply
tdprd(sim,t,*) Reporting sectoral demand
kstock(sim,t) Reporting capital stock
co2(sim,t,*) Reporting sectoral and total combustion emissions
nco2(sim,t,*) Reporting sectoral and total process emissions
ener(sim,t,*) Reporting energy consumption
fuels(sim,t,p) Reporting fuels consumption by fuels
elec(sim,t) Reporting electricity use
prices(sim,t,*,*) Reporting equilibrium prices
endog(sim,t,*) Reporting endogenous variables values
check(*,*) Reporting check parameters;

\$INCLUDE "DATA.TXT";

**Production, Consumption and endowment factors*

IDO(JG,J) = -SAM(JG,J);
IDO(J,J) = 0;
FO(F,J) = -SAM(F,J);
ENDOW(F,H) = SAM(F,H);
CO(J,"priv") = -SAM(J,"priv");
CO(J,"govt") = -SAM(J,"g");
YO(J) = SAM(J,J);

**Taxes and Transfers*

taxl(J)\$FO("L",J) = -SAM("taxl",J)/FO("L",J);
taxk(J)\$FO("K",J) = -SAM("taxk",J)/FO("K",J);
taxc(J)\$CO(J,"priv") = SAM("taxcr",J)/CO(J,"priv");
taxls = SAM("taxls","priv");

**Prices after taxes*

PLO(J) = 1+taxl(J);
PKO(J) = 1+taxk(J);
PCO(J) = 1+taxc(J);

**Trade block*

MO(J) = SAM(J,"Imp");
XO(J) = -SAM(J,"Exp");
TSO(J) = YO(J) + MO(J);
TDO(J) = TSO(J) - XO(J);
TRADELS = SAM("TradBal","Priv");

```

*Investment and savings
SO          = -sum(J,SAM(J,"I"));
invsh(J)   = -SAM(J,"I")/SO;
*Environment block
*CO2 Emissions
eco2(P,J)  = eco2c(J,P)*(-SAM(P,J));
eco2(P,"priv") = eco2c("priv",P)*(-SAM(P,"priv"));
eco2(P,P)  = 0;
etco2     = sum(J,sum(p,ECO2(P,J))+sum(P,ECO2(P,"priv")));
*Non-CO2 Emissions
enco2(J)   = enco2c(J)*YO(J);
enco2("priv") = enco2c("priv")*sum(J,CO(J,"priv"));
etnco2    = sum(J,enco2c(J))+enco2c("priv");
etot      = etco2+etnco2;
PEO       = 1E-6;
*Welfare
WO("priv") = sum(J,CO(J,"priv")*PCO(J));
WO("govt") = sum(J,CO(J,"govt"));
*Growth calibration
n         = card(tp);
pgw(t)   = (1/(1+r0))**(n*(ord(t)-1));
qgw(t)   = (1+g0)**(n*(ord(t)-1));
r        = (1+r0)**n-1;
delta    = 1-(1-delta0)**n;
g        = (1+g0)**n-1;
ithis    = ((r-g)**(-1))*((r+delta)/(r0+delta0)-(g+delta)/(g0+delta0));
inext    = ((r-g)**(-1))*((1+r)*(g+delta)/(g0+delta0)-(1+g)*(r+delta)/(r0+delta0));
pki      = (1+r)*(r0+delta0)/(r+delta);
thetat   = 1-((1+g0)/(1+r0))**CARD(yr);
IO       = SAM("S","I");
KO       = SUM(H, SAM("K",H))/(r0+delta0)-ithis*IO;
egwco2(t) = (1+g-card(tp)*apeico2(t))**(ord(t)-1);
egwnco2(t) = (1+g-card(tp)*apeinco2(t))**(ord(t)-1);
tdsh(J)  = TDO(J)/sum(JG,TDO(JG));

```

*-----MPSGE-BEGIN OF THE MODEL-----

§ONTEXT

§MODEL:DCGE

§SECTORS:

```

Z(t,J)$YO(J)      ! Activity Level of Domestic Production
AJ(t,J)$YO(J)    ! Non-CO2 Abatement in Sectors
AH(t)$WO("priv") ! Non-CO2 Abatement in Households
TS(t,J)          ! Activity Level of Total Supply
TD(t,J)          ! Activity Level of Domestic Demand
W(t,H)           ! Activity Level of Welfare
K(t)             ! Activity Level of Capital Stock
I(t)            ! Activity Level of Investments

```

§COMMODITIES:

```

PZ(t,J)$YO(J)    ! Price of Domestic Supply
PAJ(t,J)$YO(J)   ! Price of Domestic Supply after Abatement in Sectors
PAH(t)$WO("priv") ! Price of Domestic supply after Abatement in Households
PS(t,J)          ! Price of Total Supply
PD(t,J)          ! Price of Domestic Demand
PL(t)           ! Price of Labor

```

PK(t) ! Price of Capital
 PW(t,H) ! Price of Welfare
 RK(t) ! Rental Price of capital
 PE(t) ! Price of Emissions
 PX(t) ! Exchanged Rate
 PKT ! Terminal Price of Capital

\$CONSUMERS:

PRIV ! Private Consumers
 GOVT(t) ! Government

\$AUXILIARY:

ENDOLST(t) ! Endogenous lumpsum transfers
 KT ! Endogenous capital stock adjustment

\$PROD:AJ(t,J) sA:Elas("eAB")

O:PAJ(t,J) Q:YO(J)
 I:PE(t) Q:(ENCO2(J)*egwnco2(t)/qgw(t)) p:(PEO*qgw(t)/egwnco2(t)) sA:
 I:PZ(t,J) Q:YO(J) p:pgw(t) sA:

\$PROD:AH(t) sA:Elas("eAB")

O:PAH(t) Q:WO("Priv")
 I:PE(t) Q:(ENCO2("Priv")*egwnco2(t)/qgw(t)) p:(PEO*qgw(t)/egwnco2(t)) sA:
 I:PW(t,"priv") Q:WO("priv") p:pgw(t) sA:

\$PROD:Z(t,NP)\$YO(NP) sO:0 sKEL(so):elas("eKEL") sKL(sKEL):elas("eKL")

+ sE(SKEL):elas("eE") sE1(sE):elas("eE1")
 + SOIL(sE1):0 sGAS(sE1):0 sCOA(sE1):0

O:PZ(t,NP) Q:YO(NP) p:pgw(t)
 I:PD(t,NE) Q:IDO(NE,NP) sO:
 I:PD(t,"Y2") Q:IDO("Y2",NP) sCOA:
 I:PD(t,"Y8") Q:IDO("Y8",NP) sOIL:
 I:PD(t,"Y14") Q:IDO("Y14",NP) sGAS:
 I:PD(t,"Y13") Q:IDO("Y13",NP) sE:
 I:PL(t) Q:FO("L",NP) p:PLO(NP) A:Govt(t) T:taxL(NP) sKL:
 I:RK(t) Q:FO("K",NP) p:PKO(NP) A:Govt(t) T:taxK(NP) sKL:
 I:PE(t) Q:(ECO2("Y2",NP)*EGWCO2(t)/qgw(t)) p:(PEO*qgw(t)/egwco2(t)) sCOA:
 I:PE(t) Q:(ECO2("Y8",NP)*EGWCO2(t)/qgw(t)) p:(PEO*qgw(t)/egwco2(t)) sOIL:
 I:PE(t) Q:(ECO2("Y14",NP)*EGWCO2(t)/qgw(t)) p:(PEO*qgw(t)/egwco2(t)) sGAS:

\$PROD:Z(t,E)\$YO(E) so:0 sKEL(so):Elas("eKL") scoa(so):0 soil(so):0 sgas(so):0

O:PZ(t,E) Q:YO(E) p:pgw(t)
 I:PD(t,NE) Q:IDO(NE,E) sO:
 I:PD(t,"Y2") Q:IDO("Y2",E) sCOA:
 I:PD(t,"Y8") Q:IDO("Y8",E) sOIL:
 I:PD(t,"Y14") Q:IDO("Y14",E) sGAS:
 I:PD(t,"Y13") Q:IDO("Y13",E) sO:
 I:PL(t) Q:FO("L",E) p:PLO(E) A:Govt(t) T:taxL(E) sKL:
 I:RK(t) Q:FO("K",E) p:PKO(E) A:Govt(t) T:taxK(E) sKL:
 I:PE(t) Q:(ECO2("Y2",E)*EGWCO2(t)/qgw(t)) p:(PEO*qgw(t)/EGWCO2(t)) sCOA:
 I:PE(t) Q:(ECO2("Y8",E)*EGWCO2(t)/qgw(t)) p:(PEO*qgw(t)/EGWCO2(t)) sOIL:
 I:PE(t) Q:(ECO2("Y14",E)*EGWCO2(t)/qgw(t)) p:(PEO*qgw(t)/EGWCO2(t)) sGAS:

\$PROD:Z(t,"Y13") so:0 sKEL:elas("eKEL") sKL(sKEL):elas("eKL")

+ sE1(sKEL):elas("eE1") sE2(sE1):elas("eE2")
 + soil(sE2):0 sgas(sE1):0 scoa(sE2):0

O:PZ(t,"Y13") Q:YO("Y13") p:pgw(t)
 I:PD(t,NE) Q:IDO(NE,"Y13") sO:

```

I:PD(t,"Y2")      Q:IDO("Y2","Y13")      sCOA:
I:PD(t,"Y8")      Q:IDO("Y8","Y13")      sOIL:
I:PD(t,"Y14")     Q:IDO("Y14","Y13")     sGAS:
I:PL(t)           Q:FO("L","Y13")        p:PLO("Y13")  A:Govt(t) T:taxL("Y13") sKL:
I:RK(t)           Q:FO("K","Y13")        p:PKO("Y13")  A:Govt(t) T:taxK("Y13") sKL:
I:PE(t)           Q:(ECO2("Y2","Y13")*EGWCO2(t)/qgw(t))  p:(PEO*qgw(t)/EGWCO2(t))
sCOA:
I:PE(t)           Q:(ECO2("Y8","Y13")*EGWCO2(t)/qgw(t))  p:(PEO*qgw(t)/EGWCO2(t))
sOIL:
I:PE(t)           Q:(ECO2("Y14","Y13")*EGWCO2(t)/qgw(t))  p:(PEO*qgw(t)/EGWCO2(t))
sGAS:

$PROD:TS(t,J)     sA:elas("eT")
O:PS(t,J)         Q:TSO(J)
I:PAJ(t,J)        Q:YO(J)      sA:    p:pgw(t)
I:PX(t)           Q:MO(J)      sA:    p:pgw(t)

$PROD:TD(t,J)     tT:elas("eA")
O:PD(t,J)         Q:TDO(J)     tT:    p:pgw(t)
O:PX(t)           Q:XO(J)     tT:    p:pgw(t)
I:PS(t,J)         Q:TSO(J)

$PROD:K(t)
O:pk(t+1)         Q:((KO+iO*ithis)*(1-delta))  p:pgw(t)
O:pkt$t1(t)       Q:((KO+iO*ithis)*(1-delta))  p:pgw(t)
O:rk(t)           Q:((KO+iO*ithis)*(r0+delta0)) p:pgw(t)
I:pk(t)           Q:(KO+iO*ithis)

$PROD:I(t)
O:pk(t+1)         Q:(inext*IO)      p:pgw(t)
O:pkt$t1(t)       Q:(inext*IO)      p:pgw(t)
O:pk(t)           Q:(ithis*IO)      p:pgw(t)
I:pd(t,J)         Q:(INVSH(J)*IO)

$PROD:W(t,"priv") sC:elas("eC") sEG(SC):elas("eEG") sOG(SC):elas("eOG")
+
sOIL(seg):0 sGAS(seg):0 sCOA(seg):0
O:PW(t,"priv")   Q:WO("priv")      p:pgw(t)
I:PD(t,NE)       Q:CO(NE,"priv")   p:(PCO(NE)*pgw(t))  A:Govt(t) T:taxc(NE)
sOG:
I:PD(t,"Y2")     Q:CO("Y2","priv") p:(PCO("Y2")*pgw(t))  A:Govt(t) T:taxc("Y2")
sCOA:
I:PD(t,"Y8")     Q:CO("Y8","priv") p:(PCO("Y8")*pgw(t))  A:Govt(t) T:taxc("Y8")
sOIL:
I:PD(t,"Y14")    Q:CO("Y14","priv") p:(PCO("Y14")*pgw(t))  A:Govt(t) T:taxc("Y14")
sGAS:
I:PD(t,"Y13")    Q:CO("Y13","priv") p:(PCO("Y13")*pgw(t))  A:Govt(t) T:taxc("Y13")
sEG:
I:PE(t)           Q:(ECO2("Y2","priv")*egwco2(t)/qgw(t))  p:(PEO*qgw(t)/egwco2(t))
sCOA:
I:PE(t)           Q:(ECO2("Y8","priv")*egwco2(t)/qgw(t))  p:(PEO*qgw(t)/egwco2(t))
sOIL:
I:PE(t)           Q:(ECO2("Y14","priv")*egwco2(t)/qgw(t))  p:(PEO*qgw(t)/egwco2(t))
sGAS:

$PROD:W(t,"govt")
O:PW(t,"govt")   Q:WO("govt")      p:pgw(t)
I:PD(t,J)         Q:CO(J,"govt")    p:pgw(t)

```

```

$DEMAND:Priv      s:Elas("eUt")
D:PAH(t)          Q:(WO("priv")*qgw(t))  p:pgw(t)
E:PL(t)           Q:(ENDOW("L","priv")*qgw(t))
E:PK(tf)          Q:KO
E:PW(t,"Govt")   Q:(TAXLS*qgw(t))          r:endolst(t)
E:PX(T)           Q:(TRADELS*qgw(t))
E:PKT             Q:-1                      r:KT

$DEMAND:Govt(t)
D:PW(t,"GOVT")   Q:(WO("govt")*qgw(t))  p:pgw(t)
E:PW(t,"Govt")   Q:(TAXLS*qgw(t))          r:endolst(t)
E:PE(t)          Q:(permits(t))

$CONSTRAINT:KT
sum(TL(t),I(t)/I(t-1)-W(t,"priv")/W(t-1,"priv"))=e=0;

$CONSTRAINT:ENDOLST(t)
W(t,"govt")=e=qgw(t);

```

\$REPORT:

```

V:UPRIV          W:Priv
V:UGOV(t)        W:Govt(t)
V:Wout(t,H)      O:PW(t,H)          PROD:W(t,H)
V:Cin(t,J,H)     I:PD(t,J)          PROD:W(t,H)
V:Zout(t,J)      O:PZ(t,J)          PROD:Z(t,J)
V:Zin(t,J,JG)    I:PD(t,J)          PROD:Z(t,JG)
V:Kin(t,J)       I:RK(t)           PROD:Z(t,J)
V:Lin(t,J)       I:PL(t)           PROD:Z(t,J)
V:TSout(t,J)     O:PS(t,J)          PROD:TS(t,J)
V:Min(t,J)       I:PX(t)           PROD:TS(t,J)
V:TDout(t,J)     O:PD(t,J)          PROD:TD(t,J)
V:Xout(t,J)      O:PX(t)           PROD:TD(t,J)
V:Iin(t,J)       I:PD(t,J)          PROD:I(t)
V:ksin(t)        I:PK(t)           PROD:K(t)
V:EWco2(t)       I:PE(t)           PROD:W(t,"priv")
V:EWnco2(t)      I:PE(t)           PROD:AH(t)
V:EZco2(t,J)    I:PE(t)           PROD:Z(t,J)
V:EZnco2(t,J)   I:PE(t)           PROD:AJ(t,J)

```

\$OFFTEXT

*-----MPSGE- END OF THE MODEL-----

\$SYSINCLUDE mpsgeset DCGE

*initial values and limits

```

AJ.l(t,J)       = qgw(t);
AH.l(t)         = qgw(t);
Z.l(t,J)        = qgw(t);
TS.l(t,J)       = qgw(t);
TD.l(t,J)       = qgw(t);
W.l(t,H)        = qgw(t);
K.l(t)          = qgw(t);
I.L(t)          = qgw(t);
KT.l            = KO*sum(tl,qgw(tl))*(1+g);
PAJ.l(t,J)      = pgw(t);
PAH.l(t)        = pgw(t);
PZ.l(t,J)       = pgw(t);
PW.l(t,"Govt") = pgw(t);

```

```

PW.l(t,"Priv") = pgw(t);
PW.FX(tf,"Priv")= 1;
PS.l(t,J)      = pgw(t);
PD.l(t,J)      = pgw(t);
PX.l(t)        = pgw(t);
PL.l(t)        = pgw(t);
PK.l(t)        = pgw(t)*pki;
PKT.l          = sum(tl,pgw(tl))*pki/(1+r);
RK.l(t)        = pgw(t);
PE.l(t)        = peo;
endolst.l(t)   = 1;
endolst.lo(t)  = -inf;
endolst.up(t)  = inf;

```

*-----Check benchmark replication-----

```

targets(t,"BM")      = etco2*egwco2(t)+etnco2*egwnco2(t);
targets(t,"KYOTO")   = etco2*egwco2(t)+etnco2*egwnco2(t);
targets("2010","KYOTO") = targets("2005","KYOTO");
targets(t,"KYOTO")$(ord(t) gt 4)= e1990*(1+limit);

```

```

LOOP(sim,
permits(t)=targets(t,sim);

```

```

$INCLUDE DCGE.gen
SOLVE DCGE USING MCP;

```

*-----Reporting-----

```

*Equivalent variation in income(volumes)
  cterm(sim,H) = sum(tl, w.l(tl,H)/qgw(tl));
  u(sim,"priv") = UPRIV.l;
  ev(sim,"PRIV") = 100*(( thetat*UPRIV.l**(1-1/elas("eUt"))
    +(1-thetat)*cterm(sim,"PRIV")**(1-1/elas("eUt")))**(1/(1-1/elas("eUt")))-
  1);

```

```

*Macro-economic(volumes)
  gdp(sim,t) = sum(h,Wout.l(t,h))+sum(J,Iin.L(t,J));
  prd(sim,t,"total") = sum(J,Zout.L(t,J));
  prd(sim,t,"Agric") = Zout.L(t,"Y1");
  prd(sim,t,"Industry") = sum(ID,Zout.L(t,ID));
  prd(sim,t,"Service") = sum(SV,Zout.L(t,SV));
  inv(sim,t) = sum(J,Iin.L(t,J));
  cons(sim,t,h) = sum(j,Cin.L(t,J,h));
  cons(sim,t,"Agric") = Cin.L(t,"Y1","Priv");
  cons(sim,t,"Industry") = sum(ID,Cin.L(t,ID,"Priv"));
  cons(sim,t,"Service") = sum(SV,Cin.L(t,SV,"Priv"));
  welf(sim,t,h) = Wout.L(t,h);
  import(sim,t,"total") = sum(J,Min.l(t,J));
  export(sim,t,"total") = sum(J,Xout.l(t,J));
  tradebal(sim,t,"total")= sum(J,Xout.l(t,J))-sum(J,Min.l(t,J));
  emis(sim,t,"total") = EWco2.l(t)+EWnco2.l(t)+SUM(J,EZco2.l(t,J)+EZnco2.l(t,J));
  emis(sim,t,J) = EZco2.l(t,J)+EZnco2.l(t,J);
  emis(sim,t,"priv") = EWco2.l(t)+EWnco2.l(t);

```

```

*Sectoral Production and Cosumption(volumes)

```

```

  prd(sim,t,J) = Zout.L(t,J);
  cons(sim,t,J) = Cin.L(t,J,"priv");

```

```

*Sectoral trade balance,import and export

```

```

  import(sim,t,J) = Min.l(t,J);

```

```

export(sim,t,J)      = Xout.l(t,J);
tradebal(sim,t,J)   = -Xout.l(t,J)+Min.l(t,J);
*Fossil Fuel consumption(volumes)
fuels(sim,t,p)      = Cin.L(t,p,"priv")+sum(J,Zin.L(t,p,J));
*Electricity consumption(volumes)
elec(sim,t)         = Cin.L(t,"Y13","priv")+sum(J,Zin.L(t,"Y13",J));
*CO2 and Non-CO2 emissions(volumes)
co2(sim,t,J)        = EZco2.l(t,J);
co2(sim,t,"priv")   = EWco2.l(t);
co2(sim,t,"total")  = sum(J,EZco2.l(t,J))+EWco2.l(t);
*CO2 emission production and consumption (volumes)
nco2(sim,t,j)       = -EZnco2.l(t,J);
nco2(sim,t,"priv")  = -EWNco2.l(t);
nco2(sim,t,"total") = SUM(J,-EZnco2.l(t,J))-EWNco2.l(t);
*Total energy consumption (volumes)
ener(sim,t,"prod")  = SUM((P,J),Zin.L(t,P,J))+SUM(J,Zin.L(t,"Y13",J));
ener(sim,t,"priv")  = SUM(P,Cin.l(t,P,"priv")+Cin.l(t,"Y13","priv");
ener(sim,t,"total") = ener(sim,t,"prod")+ener(sim,t,"priv");
*Total supply and demand production (volumes)
tsprd(sim,t,J)= TSout.l(t,J);
tdprd(sim,t,J)= TDout.l(t,J);
*Capital Stock(volumes)
kstock(sim,t) = ksin.l(t);
*Prices (%-changed from benchmark, for prices index=1 and numeraire pw("priv"))
prices(sim,t,"PZ",J) = pz.l(t,j)/pw.l(t,"priv");
prices(sim,t,"PD",J) = pd.l(t,j)/pw.l(t,"priv");
prices(sim,t,"PS",J) = ps.l(t,j)/pw.l(t,"priv");
prices(sim,t,"PW",H) = pw.l(t,H)/pw.l(t,"priv");
prices(sim,t,"PK","total")= pk.l(t)/pw.l(t,"priv");
prices(sim,t,"PL","total")= pl.l(t)/pw.l(t,"priv");
prices(sim,t,"RK","total")= rk.l(t)/pw.l(t,"priv");
prices(sim,t,"PE","total")= pe.l(t)/pw.l(t,"priv");
prices(sim,t,"PX","total")= px.l(t)/pw.l(t,"priv");
*Endogenous adjustment variables(%-change compared to benchmark index=1)
endog(sim,t,"endolst") = endolst.l(t);
*Check for walras law, number of iterations, solver and model status
check(sim,"walraslaw") = DCGE.objval;
check(sim,"iterations")= DCGE.iterusd;
check(sim,"solver")    = DCGE.solvestat;
check(sim,"model")     = DCGE.modelstat;
);

```

DISPLAY check;

*... A separate file is used to output results

- N.º 1. **LA POLÍTICA AGRARIA COMÚN Y SU APLICACIÓN EN ESPAÑA**,
por Carlos Tió Saralegui y José María Sumpsi Viñas.
- N.º 2. **EL DEBATE SOBRE LA FLEXIBILIDAD DEL MERCADO DE TRABAJO**,
edición dirigida por José Luis Malo de Molina.
- N.º 3. **COMENTARIOS A LA LEY DE DISCIPLINA E INTERVENCIÓN DE LAS ENTIDADES DE CRÉDITO**,
edición dirigida por Tomás-Ramón Fernández.
- N.º 4. **LA LOCALIZACIÓN INDUSTRIAL EN ESPAÑA. FACTORES Y TENDENCIAS**,
edición dirigida por Joaquín Auriolos Martín y Juan Ramón Cuadrado Roura.
- N.º 5. **COMENTARIOS A LA LEY DE DISCIPLINA E INTERVENCIÓN DE LAS ENTIDADES DE CRÉDITO**,
2.ª edición, revisada, dirigida por Tomás-Ramón Fernández.
- N.º 6. **LAS ÁREAS DEPRIMIDAS DE ESPAÑA**,
por José María Mella Márquez.
- N.º 7. **REGULACIÓN DE LAS ENTIDADES DE CRÉDITOS EN ESPAÑA**,
por Joaquín Latorre Díez.
- N.º 8. **LOS IMPUESTOS Y LAS DECISIONES DE AHORRO E INVERSIÓN DE LAS FAMILIAS**,
por José Manuel González-Páramo y Nuria Bádenes Plá.
- N.º 9. **SERIES DE INDICADORES DE CONVERGENCIA REAL PARA ESPAÑA, EL RESTO DE PAÍSES DE LA UE Y EE.UU.**,
por Carmela Martín y Francisco J. Velázquez.
- N.º 10. **TRES ANÁLISIS SOBRE CAJAS DE AHORROS Y SISTEMA FINANCIERO**,
por E. P. M. Gardener, P. Molyneux, Cesare Bioni, Stefano Cosma, Santiago Carbó,
Rafael López del Paso y F. Rodríguez Fernández.
- N.º 11. **EL BALANCE NACIONAL DE LA ECONOMÍA ESPAÑOLA (1984-2000)**,
por José Manuel Naredo y Óscar Carpintero.
- N.º 12. **LA CONVERGENCIA REAL DE ESPAÑA EN EL SENO DE LA UNIÓN EUROPEA AMPLIADA**,
por Carmela Martín y Francisco J. Velázquez.
- N.º 13. **LA FISCALIDAD EFECTIVA DE LOS PRODUCTOS DE AHORRO EN EUROPA Y EE.UU. Y EL PRINCIPIO DE NEUTRALIDAD. ANÁLISIS COMPARADO Y EVALUACIÓN DE LA REFORMA DEL IRPF DE 2003**,
por José Manuel González-Páramo y Nuria Bádenes Plá.
- N.º 14. **EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SECTOR PÚBLICO: VÍAS DE APROXIMACIÓN**,
por José M. Domínguez Martínez, Francisco Pedraja Chaparro,
Javier Salinas Jiménez, Luis Ayala Cañón y Nuria Rueda López.
- N.º 15. **SALUD Y ESTILOS DE VIDA EN ESPAÑA. UN ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS OCURRIDOS EN LA ÚLTIMA DÉCADA**,
por Colectivo IOE.
- N.º 16. **LA REFORMA EN LA IMPOSICIÓN PERSONAL SOBRE LA RENTA: UNA EVOLUCIÓN DE LA RECIENTE EXPERIENCIA ESPAÑOLA**,
por José Félix Sanz Sanz, Juan Manuel Castañer Carrasco y Desiderio Romero Jordán.
- N.º 17. **CONTABILIDAD NACIONAL Y MEDIO AMBIENTE**,
por Diego Azqueta. Gonzalo Delacámara, Marta Santamaría y Sergio Tirado
- N.º 18. **TRANSFERENCIA INTERNACIONAL DE TECNOLOGÍA**,
por José Molero, Rajneesh Narula, Brian Portelli, Sanjaya Lall, Carlo Pietrobelli, José Antonio Alonso e Isabel Álvarez.
- N.º 19. **EL LIDERAZGO SOCIAL DE LAS CAJAS DE AHORRO**,
por Enrique Castelló Muñoz.
- N.º 20. **CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA DE LA POBLACIÓN EN LA UNIÓN EUROPEA. ENVEJECIMIENTO Y EXTRANJERÍA**,
por Encarnación Cereijo y Francisco J. Velázquez
- N.º 21. **NUEVOS ENFOQUES EN EL ESTUDIO ECONÓMICO DEL TURISMO**,
por Javier Ferri, Vicente M. Monfort Mir y Ezequiel Uriel

- N.º 22. **INDICADORES DE CONVERGENCIA REAL PARA LOS PAÍSES AVANZADOS**,
por Encarnación Cereijo, Jaime Turrión y Francisco J. Velázquez.
- N.º 23. **INDICADORES DE CONVERGENCIA REAL PARA LAS REGIONES ESPAÑOLAS** (*Serie ECONOMÍA Y SOCIEDAD*),
por Encarnación Cereijo, Jaime Turrión y Francisco J. Velázquez.
- N.º 24. **SISTEMAS REGIONALES DE INNOVACIÓN: NUEVAS FORMAS DE ANÁLISIS Y MEDICIÓN** (*Serie ANÁLISIS*),
por Mikel Buesa, Joost Heijs, Björn Asheim, Thomas Baumert, Mikel Navarro y Mónica Martínez Pellitero.
- N.º 25. **IMPACTO ECONÓMICO DEL CONTROL DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ESPAÑA** (*Serie TESIS*),
por Mikel González Ruiz de Eguino.

ESTUDIOS DE LA FUNDACIÓN

SERIE TESIS

Pedidos e información:

FUNDACIÓN DE LAS CAJAS DE AHORROS

Caballero de Gracia, 28
28013 Madrid

Teléfono: 91 596 54 81

Fax: 91 596 57 96

suscrip@funcas.es

www.funcas.es

P.V.P.: 13€ (IVA incluido)

ISBN: 978-84-89116-33-7



9 788489 116337