

Juan Carlos Ciscar Martínez*
Antonio Soria Ramírez*

EL COMERCIO EUROPEO DE DERECHOS DE EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO: MODELIZACIÓN Y REGULACIÓN

Este artículo presenta, en el marco de la política europea de cambio climático, una serie de análisis cuantitativos de las ventajas de establecer un mercado europeo de derechos de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), frente al caso de mercados domésticos aislados. Asimismo, se exponen y discuten las principales características de la directiva que ha creado el mercado europeo de derechos de emisión de GEI.

Palabras clave: cambio climático, política de medio ambiente, UE, Protocolo de Kioto.

Clasificación JEL: Q52.

1. Introducción

El Protocolo estipula que el comercio de derechos de emisión se iniciará a escala mundial en el año 2008. La Unión Europea, con la finalidad de anticiparse a este mercado y de ganar experiencia en la puesta en práctica de este instrumento de regulación medioambiental, lanzó en el año 2000 la propuesta de crear un mercado de derechos. Esta propuesta se ma-

terializó en enero de 2005 con el nacimiento del primer mercado multinacional de comercio de derechos de emisión de GEI¹.

Los efectos económicos del comercio de emisiones en la UE han sido evaluados con varios modelos técnico-económicos del sistema energético. En concreto, se han cuantificado los ahorros de costes potenciales frente al caso de ausencia de un mercado paneuropeo. Este artículo presenta varios de estos análisis cuantitativos, así como los aspectos principales de la directiva que regula el mercado europeo.

* Instituto de Prospectiva Tecnológica (IPTS), Comisión Europea.

Las opiniones expresadas en este artículo corresponden a los autores, y no reflejan necesariamente las de la Comisión Europea. Los autores agradecen los comentarios de Ignacio Hidalgo, y Laszlo Szabo, del grupo de energía y cambio climático del IPTS (<http://energy.jrc.es>), y de Nikos Kouvaritakis (NTUA). Cualquier error es responsabilidad exclusiva de los autores.

¹ Regulado por la Directiva 2003/87/CE, de 13 de octubre de 2003, disponible en http://europa.eu.int/eur-lex/pri/es/oj/dat/2003/l_275/l_27520031025es00320046.pdf.

El artículo está dividido en cinco apartados, además de esta introducción. En el siguiente apartado se resumen los elementos principales de la política europea de cambio climático. En el apartado 3 se presentan los estudios del mercado europeo de emisiones. El apartado 4 presenta la directiva del comercio europeo de emisiones, y el apartado 5 sus aspectos prácticos, como los planes nacionales de asignación de permisos de emisión. El apartado 6 contiene las conclusiones.

2. La política europea de cambio climático

El Protocolo de Kioto recoge la posibilidad de que los Estados miembros de la UE-15 puedan redistribuir sus objetivos entre ellos siempre y cuando se respete el objetivo conjunto de reducción del 8 por 100. En junio de 1998 se alcanzó un acuerdo político sobre el reparto del objetivo europeo, el llamado Acuerdo de Reparto de la Carga (ARC) —*Burden Sharing Agreement*, en inglés—. Esta redistribución no restringe el uso de los mencionados mecanismos flexibles del Protocolo.

La Unión Europea estableció en junio de 2000 el llamado Programa Europeo de Cambio Climático (PECC). El PECC perseguía identificar y facilitar la puesta en práctica de las medidas para conseguir el objetivo de reducción comunitario al menor coste posible. El PECC estaba estructurado en torno a 11 grupos de trabajo. Algunos de ellos concernían a sectores específicos (oferta de energía, demanda de energía, eficiencia energética, transporte, etcétera) y otros analizaban la implementación de políticas multisectoriales (comercio de emisiones, otros mecanismos flexibles, etcétera).

El programa se implementó en fases sucesivas. En el primer informe se identificaron 42 opciones tecnológicamente eficientes (con un coste marginal inferior a los 20 euros/tCO₂-eq²), con un potencial agregado de reducción entre 660 y 760 MtCO₂-eq (es, decir, muy por encima del objetivo agregado de reducción para la UE-15, que es de

336 MtCO₂-eq). Un paso decisivo se logró con la publicación del «Libro Verde sobre Comercio de Emisiones»³, que sentó las bases sobre las cuales más adelante se construiría el correspondiente mercado europeo. El informe final de esta primera fase fue una Comunicación de la Comisión donde se recogían otras medidas específicas, como la promoción de la producción de calor mediante renovables, un acuerdo voluntario con la industria de producción de automóviles sobre vehículos comerciales ligeros, y un acuerdo voluntario con las asociaciones de fabricantes de automóviles para reducir las emisiones medias de los coches nuevos (con el objetivo de alcanzar un factor de emisión de 120 gramos de CO₂/km).

La segunda fase del PECC se concentró en profundizar en los análisis sectoriales (agricultura, sumideros⁴, etcétera) y en desarrollar un mecanismo legal de conexión entre el emergente sistema doméstico (intraeuropeo) de comercio de emisiones y el sistema de acreditación de reducción de emisiones correspondiente a otros mecanismos flexibles (IC, MDL) y la manera en la cual esos créditos podrán introducirse (y comercializarse) dentro del mercado europeo.

Existen una serie de medidas promovidas en diferentes ámbitos sectoriales que, aunque no se concibieran específicamente en el seno del PECC, van a jugar un papel relevante en la política de lucha contra el cambio climático. Entre ellos podemos destacar las siguientes (la mayor parte de ellas vigentes o en proceso de implementación):

- Directiva sobre promoción de fuentes de electricidad renovable. Alcanzar un porcentaje de electricidad renovable del 22 por 100 en 2010 representa un potencial de reducción de 100 a 125 MtCO₂-eq.
- Directiva sobre promoción de biocombustibles líquidos y otros combustibles renovables como sustituti-

² Tonelada de CO₂ equivalente.

³ COM(2000) 87, disponible en la página web de este Libro Verde de la Comisión: http://europa.eu.int/comm/environment/docum/0087_en.htm.

⁴ Los sumideros extraen GEI de la atmósfera y lo fijan, como por ejemplo los bosques, que a través de la fotosíntesis absorben dióxido de carbono.

vos del gasóleo o de la gasolina para automoción, con el objetivo de alcanzar una penetración de mercado del 5,75 por 100 en 2010, con un potencial de reducción de 75-80 MtCO₂-eq.

- Directiva sobre promoción de cogeneración, con un potencial estimado de reducción de emisiones de 65 MtCO₂-eq.

- Directiva sobre eficiencia energética en edificios, con un potencial estimado entre 35 y 40 MtCO₂-eq.

- Directiva sobre certificación energética en electrodomésticos.

- Directiva de prevención y control integrados de la contaminación (conocida como Directiva IPPC), documento de referencia sobre eficiencia energética.

- Armonización de impuestos energéticos.

- Acuerdo voluntario sobre estándares de emisión de CO₂ de vehículos comerciales ligeros.

- Acuerdo voluntario con las asociaciones, europea, japonesa y coreana de fabricantes de automóviles para la reducción de emisiones específicas, con un potencial de reducción entre 75 y 80 MtCO₂-eq.

- Directiva sobre vertederos, con un potencial de reducción de emisiones de metano de 41 MtCO₂-eq.

Un instrumento fundamental elegido por el regulador europeo para conseguir los objetivos de reducción de emisiones a un coste mínimo es sin duda el régimen para el comercio de derechos de emisión de GEI, establecido mediante la Directiva 2003/87/CE y sus sucesivas enmiendas. Tras analizar dos estudios numéricos del comercio europeo de emisiones en el siguiente apartado, la Directiva se describe en el apartado 4, y sus aspectos prácticos en el apartado 5.

3. Simulaciones numéricas del mercado europeo de derechos de emisión

De la teoría a la práctica: evaluaciones para el caso europeo

El coste de reducir las emisiones de GEI es menor si se permite comerciar los derechos de emisión, frente al

caso en el que no exista esta posibilidad de intercambio⁵. De hecho un objetivo determinado de reducción de emisiones se alcanzará a un coste menor cuanto mayor sea el grado de flexibilidad del mercado, es decir, cuantos más sectores y más países participen en el mercado.

El impacto de la creación de un mercado europeo de derechos de emisión de GEI como instrumento para cumplir con los objetivos de la UE en el marco del Protocolo de Kioto, fue analizado y cuantificado en una serie de estudios realizados durante la preparación del *Libro Verde sobre el comercio de los derechos de emisión*⁶. Las cuestiones de interés eran, entre otras, el orden de magnitud de la disminución de los costes de cumplimiento de Kioto para la UE, frente al caso de ausencia de un mercado paneuropeo. Asimismo, era relevante tener una noción del orden de magnitud del precio de las emisiones en el mercado europeo, es decir, el coste marginal de reducción de la (última) tonelada de dióxido de carbono. La magnitud de esta variable, conocida en la literatura anglosajona como *carbon value* o «valor del carbono», es fundamental a la hora de valorar el coste de la restricción de emisiones para la sociedad, y en definitiva para la economía.

Estas cuestiones fueron analizadas utilizando una serie de modelos tecno-económicos del sistema energético⁷. A continuación se detallan las metodologías y resultados de dos de los estudios que aparecen citados en el Anexo del *Libro Verde*, IPTS (2000) y Capros y Mantzos (2000). Antes de ello se enumeran las características e hipótesis comunes de los estudios, que son relevantes a la hora de interpretar los resultados numéricos.

⁵ Véase, por ejemplo, EKINS y BARKER (2001).

⁶ Véase la documentación que aparece en la página web de este Libro Verde de la Comisión:
http://europa.eu.int/comm/environment/docum/0087_en.htm.

⁷ Estos modelos son el resultado del esfuerzo de investigación de un amplio conjunto de instituciones europeas, y han sido cofinanciados por los programas marco de investigación de la UE.

En primer lugar, los estudios evalúan un mercado de derechos de emisión en la UE-15 que cubriese todos los sectores, frente al escenario en que cada Estado miembro reduce sus emisiones domésticamente, sin disfrutar de las ventajas del comercio de derechos con otros Estados miembros. De esta forma estos estudios no se refieren a la Directiva de comercio de derechos de emisión, que afecta en su primera fase únicamente a los sectores intensivos en el uso de la energía, dejando fuera del régimen de comercio sectores muy importantes en términos de emisiones como el transporte y los hogares. En segundo lugar, los modelos energéticos sólo permiten alcanzar el objetivo de Kioto de la UE-15 con reducciones de emisiones de CO₂ vinculadas a la energía, sin considerar las emisiones de CO₂ no relacionadas con el sistema energético, ni las emisiones de GEI distintos del CO₂. Tampoco se contempla la posibilidad de emplear sumideros de carbono para cumplir con Kioto. Un supuesto común a los dos modelos utilizados es que no existen costes de transacción en el mercado de emisiones. Estos costes están sobre todo ligados a los costes del proceso de seguimiento, notificación y verificación de las emisiones de GEI. Su magnitud no parece ser muy elevada en relación al precio del derecho.

Asimismo los estudios únicamente analizan los costes de una acción unilateral de la UE y, por tanto, no cabe la posibilidad de disfrutar de reducciones de emisión menos costosas en el resto del mundo, sobre todo a través de los mecanismos flexibles previstos en el Protocolo de Kioto (comercio mundial de emisiones, implementación conjunta —IC—, y mecanismo de desarrollo limpio —MDL—). Si estos mecanismos fuesen tenidos en cuenta, los costes se verían reducidos.

Por último, es importante destacar que los costes estimados reflejan básicamente los costes de oportunidad de los sectores económicos para cumplir el objetivo de emisiones, sin considerar beneficios externos, como por ejemplo los derivados de un menor daño futuro ligado al cambio climático, *raison d'être* última de la política climática, o de una menor dependencia energética exterior.

Evaluación basada en el modelo POLES

IPTS (2000) realizó un análisis preliminar de que la UE-15 cumpla con los objetivos de Kioto y para ello se empleó el modelo de simulación del sistema energético mundial POLES⁸. POLES es un modelo diseñado para analizar el impacto de políticas energéticas y medioambientales sobre la evolución del sistema energético mundial a largo plazo (véase por ejemplo Comisión Europea, 2003). POLES ha sido desarrollado conjuntamente por el Instituto de Estudios de Política Energética (LEPII-EPE) del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNRS) de Francia, por el Instituto de Prospectiva Tecnológica (IPTS) de la Comisión Europea, con fondos procedentes de los programas de investigación JOULE, de la CE, y ECOTECH, del CNRS. Numerosas instituciones europeas han llevado a cabo estudios cuantitativos y cualitativos para la construcción de las hipótesis técnicas y económicas que fundamentan el modelo POLES.

El horizonte temporal del modelo es el año 2030, y en la actualidad se está preparando una versión con horizonte 2050. La versión más reciente del modelo divide el mundo en 47 regiones. La principal característica del modelo POLES es su alto grado de detalle en la descripción de las tecnologías. Las distintas tecnologías del sector energético son caracterizadas con mucho detalle, incluyéndose por ejemplo datos y proyecciones sobre costes fijos, costes variables, eficiencia, factores de emisión, etcétera. El sector eléctrico es el que se modeliza con más exhaustividad, con 24 tecnologías de generación⁹.

El modelo se divide en una serie de módulos interconectados para las distintas regiones, sectores consumidores de energía, actividades y tecnologías: mercados internacionales de la energía (petróleo, gas natural y

⁸ Véase <http://energy.jrc.es/Pages/Activities.htm#POLES> para una descripción del modelo *Prospective Outlook on Long-term Energy Systems* (POLES).

⁹ En total, el modelo tiene unas 50.000 ecuaciones.

CUADRO 1
EMISIONES DE CO₂ EN EL AÑO 2010

País	Emisiones en 2010 (Mt de CO ₂)		
	Escenario de referencia	Objetivo Kioto (ARC)	Escenario con comercio
Francia	444	381	392
Alemania	887	774	708
Italia	458	378	407
Reino Unido	623	517	488
Resto Norte	770	546	638
Resto Sur	466	411	378
Total UE-15	3.648	3.010	3.010

FUENTE: Tabla 2 de IPTS (2000).

carbón), demanda energética nacional por sectores, nuevas tecnologías de generación eléctrica, producción eléctrica, suministro de energía primaria y emisiones de CO₂, y sectores intensivos en energía. El modelo es recursivo año a año.

Para cada período temporal y en cada región, la oferta y demanda de los distintos usos o componentes de la energía son función de los precios internacionales de la energía de los períodos anteriores, así como del nivel de producción (sectorial o agregada, según el componente de demanda). Las ecuaciones de cada módulo consideran la influencia de los efectos precio y renta, así como las restricciones técnico-económicas relevantes. Las principales variables exógenas del modelo son el PIB y la población. Los precios de los combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo) son endógenos en el modelo, determinándose en los respectivos mercados internacionales.

Los resultados típicos de una simulación de referencia son los balances energéticos y las emisiones de dióxido de carbono para cada región, pudiéndose desagregar los resultados hasta nivel de tecnología. Ante una restricción de emisiones de carbono, el modelo ajusta el uso de las distintas fuentes primarias de energía y de las distintas tecnologías, de forma que la intensidad de

carbono del nuevo escenario resulta menor. Los citados procesos de sustitución de *inputs* energéticos y de tecnologías se reflejan en un nivel determinado del valor del carbono o *carbon value*. En general, a mayor grado de restricción, mayor será el coste marginal necesario para satisfacer la restricción.

La versión del modelo POLES utilizada en IPTS (2000) divide la UE-15 en seis regiones: cada una de las cuatro grandes economías (Alemania, Francia, Italia y Reino Unido), el resto de economías del norte (Austria, Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Irlanda, Luxemburgo, Holanda y Suecia), y el resto de economías del sur (España, Portugal y Grecia).

Se consideraron dos escenarios. El primer escenario asume que no existe comercio de emisiones entre las regiones y, por tanto, cada región alcanza su meta nacional de forma aislada, pero óptima dentro del país, es decir, al mínimo coste posible, con lo que el coste marginal de reducción es el mismo para todos los sectores dentro de una región. Este supuesto de optimalidad de alguna forma hace que se subestime el ahorro de costes derivado de un mercado europeo de emisiones frente al caso de ausencia total de comercio. Podría ocurrir, por ejemplo, que no exista la posibilidad de comerciar derechos entre distintos sectores de una mis-

CUADRO 2
RESULTADOS DEL ESTUDIO PRELIMINAR CON EL MODELO POLES

País	Escenario sin comercio			Escenario con comercio precio del derecho 49 euros/tCO ₂				
	Coste marginal	Coste total	% PIB	Comercio de derechos	Valor del comercio	Coste directo	Coste de cumplimiento	
	(euros/tCO ₂)	(M euros)		(Mt de CO ₂)	(M euros)	(M euros)	(M euros)	% PIB
Francia	203	2.100	0,10	8,1	-500	1.600	2.100	0,10
Alemania	96	2.000	0,07	-64,5	4.100	5.100	1.000	0,04
Italia	317	4.100	0,21	29,3	-1.900	1.500	3.300	0,17
Reino Unido	118	2.000	0,11	-28,6	1.800	3.500	1.700	0,09
Resto Norte	393	13.000	0,66	91,3	-5.800	3.700	9.600	0,48
Resto Sur	88	800	0,06	-35,2	2.200	2.500	300	0,02
Total UE-15		24.100	0,20	0	0	18.000	18.000	0,15

NOTA: Magnitudes monetarias en euros de 1999. Los valores positivos en la columna de comercio de derechos indican compra neta de derechos, y los negativos venta neta.

FUENTE: Tabla 2 de IPTS (2000).

ma región, lo que conllevaría unos costes de cumplimiento mayores. El segundo escenario supone que existe un mercado UE-15 de derechos de emisión, que produce un único precio para todos los sectores y todas las regiones.

El Cuadro 1 muestra las emisiones de CO₂ en el año 2010 para cada región en el escenario de referencia (suponiendo que ningún país aplica ninguna medida de reducción de emisiones), las del objetivo de Kioto (según el ARC), y las resultantes del escenario con comercio de derechos. La UE-15 tendría que reducir sus emisiones en un 17,5 por 100 en el 2010 respecto al escenario de referencia considerado en el estudio. Este esfuerzo relativo de mitigación varía bastante según las regiones. Por ejemplo, la región del resto del norte debería reducir sus emisiones en casi un 30 por 100, y la región del resto del sur en un 12 por 100. Estas diferencias en los esfuerzos relativos tendrán su efecto en el cálculo del coste marginal de reducción si no existe un mercado europeo de comercio de derechos, como se verá a continuación.

El Cuadro 2 representa los resultados para los escenarios sin y con comercio europeo de emisiones. En la primera columna aparecen los costes marginales para cada región si no existe comercio de emisiones. En las columnas segunda y tercera se presentan los costes de cumplimiento, tanto en términos absolutos como en relación al PIB previsto en el año 2010. Los costes de cumplimiento se definen como la suma de los costes directos y del pago o cobro por el comercio de derechos de emisión, en este escenario nulo para todas las regiones. El coste directo se computa integrando el área debajo de la curva de costes marginales de reducción, dado el objetivo de reducción de emisiones de cada región. Estos costes son una medida monetaria del esfuerzo de mitigación que realiza cada región. Se estima que en el año 2010 el coste total de mitigación representa un 0,2 por 100 del PIB si no existe comercio de emisiones.

El siguiente bloque de columnas recoge los resultados para el caso con comercio de emisiones. En este caso el coste marginal o precio del derecho es el mismo para todas las regiones, 49 euros por tonelada de CO₂. Este

CUADRO 3
EMISIONES DE CO₂ EN EL ESCENARIO SIN POLÍTICAS

País	Emisiones de CO ₂					
	Total (Mt)			Descomposición Sectorial de las Emisiones en 2010 (Mt)		
	1990	2010	cambio %	Sectores suministradores de energía	Industrias intensivas en energía	Otros sectores demandantes
Austria	55,0	53,0	-3,6	13,4	8,1	31,4
Bélgica	104,8	121,7	16,2	30,1	20,8	70,9
Dinamarca	52,7	53,5	1,5	27,9	1,7	23,9
Finlandia	51,3	72,4	41,0	40,8	8,0	23,6
Francia	352,4	376,2	6,8	68,3	30,5	277,5
Alemania	951,6	800,3	-15,9	335,8	59,6	404,9
Grecia	70,9	106,1	49,6	53,6	9,9	42,6
Irlanda	30,1	41,9	39,3	17,4	2,3	22,1
Italia	388,0	418,0	7,7	162,5	36,6	218,9
Holanda	153,0	201,4	31,6	77,5	12,9	111,0
Portugal	39,1	64,9	66,2	30,9	6,6	27,4
España	201,9	266,4	32,0	101,4	29,1	135,9
Suecia	50,5	60,2	19,2	16,5	8,6	35,1
Reino Unido	566,9	557,3	-1,7	205,8	33,3	318,2
UE-15	3.068,1	3.193,3	4,1	1.182	267,9	1.743,4

FUENTE: Tabla 1 de CAPROS y MANTZOS (2000).

coste es menor que cualquiera de los costes marginales regionales del caso sin comercio de derechos, e ilustra la principal ventaja del comercio de emisiones: lograr un objetivo dado de reducción de emisiones al menor coste posible. Las dos primeras columnas del escenario con comercio representan la cuantía de los saldos de los flujos de derechos para cada región, tanto en términos físicos como en valor. Al añadir el coste directo a los saldos netos de comercio en valor se obtiene el coste de cumplimiento, que para la UE-15 representa el 0,15 por 100 del PIB. Por tanto, se estima que los costes totales se reducen en un 25 por 100 en el caso en el que exista comercio europeo de derechos, frente al caso sin comercio¹⁰.

¹⁰ Existen asimismo estudios que estudian el comercio de derechos de emisión para ciertos sectores, como por ejemplo HIDALGO *et al.* (2005) para el sector siderúrgico.

Evaluación basada en el modelo PRIMES

Capros y Mantzos (2000) realizan una evaluación de los efectos económicos de un mercado paneuropeo de derechos de emisión utilizando el modelo PRIMES. PRIMES es un modelo de equilibrio parcial del mercado energético europeo, desarrollado por la Universidad Técnica Nacional de Atenas (NTUA) y otras instituciones (CES/KUL, IFP/ENSPM, CORE, e IER), en el marco de los programas de investigación JOULE de la CE. En la actualidad opera en el horizonte temporal 2000-2030, siendo 2000 el año base, y los 25 países de la UE están modelizados individualmente. Así como POLES es un modelo de simulación, PRIMES es un modelo de optimización. La oferta y demanda de cada mercado se igualan a través de ajustes en los precios. Los precios de equilibrio de 24 formas de energía se determinan endó-

CUADRO 4

ESCENARIOS DE CUMPLIMIENTO DE KIOTO SIN COMERCIO EUROPEO

País	Escenario de referencia (Acuerdo Reparto Carga)		Escenario de reducción uniforme	
	Coste marginal	Costes cumplimiento	Coste marginal	Costes cumplimiento
	(euros/tCO ₂)	(M euros)	(euros/tCO ₂)	(M euros)
Austria	28,4	47,9	142,4	252,4
Bélgica	89,3	962,7	219,4	2.410,4
Dinamarca	47,9	258,0	74,8	414,8
Finlandia	63,5	582,5	75,3	694,3
Francia	20,6	251,6	71,6	600,4
Alemania	13,5	300,6	135,4	2.225,9
Grecia	39,0	450,3	122,9	890,7
Irlanda	53,5	175,9	107,4	399,7
Italia	33,3	867,9	99,2	2.579,1
Holanda	150,7	3.466,4	174,5	4.491,1
Portugal	41,1	338,5	137,4	848,7
España	27,7	467,4	94,8	1.414,4
Suecia	39,7	130,7	64,0	227,6
Reino Unido	31,9	725,5	128,5	3.058,1
UE-15	54,3	9.026,0	125,8	20.507,8

FUENTE: Tablas 2 y 3 de CAPROS y MANTZOS (2000).

genamente en el modelo. La caracterización de las tecnologías energéticas es muy rica y detallada.

El Cuadro 3 muestra las emisiones de 1990 y las previstas en el año 2010 en el escenario sin políticas. Obsérvese que las emisiones de este escenario son mucho menores que las del modelo POLES (3.193 Mt, frente a 3.648 Mt en POLES), lo que conllevará lógicamente menores costes estimados de cumplimiento. Esto es debido en parte a que en el análisis con PRIMES el escenario *baseline* o *business as usual* se define como el desarrollo más probable del sistema energético en el futuro, resultado de la extrapolación de las tendencias recientes (incluyendo las de tipo tecnológico), y considerando las políticas en vigor, así como las proyectadas¹¹. Una política incluida en este es-

cenario es el acuerdo con los fabricantes de automóviles, cuyo impacto sobre las emisiones proyectadas en el año 2010 es muy importante, estimándose en un 2,5 por 100 de las emisiones de 1990, según el modelo PRIMES. En todo caso, en este escenario no se consideran medidas de política relacionadas con el Protocolo de Kioto.

En el escenario *business as usual* del modelo PRIMES las emisiones en el 2010 serían un 4 por 100 superiores a las de 1990, de forma que el esfuerzo de reducción de emisiones en el año 2010 es de un 12 por 100 aproximadamente respecto a las emisiones que se darían en este escenario sin política climática. Asimismo, en las tres columnas de la derecha del cuadro se presenta la descomposición sectorial del total de emisiones para tres categorías de sectores:

- Sectores suministradores de energía: generación de electricidad y calor, incluidas las refinerías, y la calefacción de distritos urbanos (*district heating*).

¹¹ Los efectos de la liberalización de los mercados eléctricos y del gas son tenidos en cuenta.

CUADRO 5
ESCENARIOS DE CUMPLIMIENTO DE KIOTO CON COMERCIO EUROPEO

País	Comercio entre sectores suministradores de energía			Comercio entre todos los sectores		
	Coste marginal	Costes cumplimiento (incl. flujos comercio)		Coste marginal	Costes cumplimiento (incl. flujos comercio)	
	(euros/tCO ₂)	(M euros)	% refer.	(euros/tCO ₂)	(M euros)	% refer.
Austria	32,3	45,0	-6,1	32,6	45,7	-4,5
Bélgica	32,3	737,2	-23,4	32,6	610,7	-36,6
Dinamarca	32,3	235,1	-8,9	32,6	239,8	-7,0
Finlandia	32,3	486,4	-16,5	32,6	488,4	-16,2
Francia	32,3	220,4	-12,4	32,6	198,3	-21,2
Alemania	32,3	53,0	-82,4	32,6	3,9	-98,7
Grecia	32,3	222,6	-50,6	32,6	229,0	-49,2
Irlanda	32,3	156,4	-11,1	32,6	156,6	-11,0
Italia	32,3	865,2	-0,3	32,6	865,2	-0,3
Holanda	32,3	2.494,1	-28,0	32,6	1.477,0	-57,4
Portugal	32,3	324,7	-4,1	32,6	332,2	-1,9
España	32,3	466,9	-0,1	32,6	464,4	-0,6
Suecia	32,3	128,1	-2,0	32,6	129,5	-0,9
Reino Unido	32,3	723,0	-0,3	32,6	716,7	-1,2
UE-15	32,3	7.158,2	-20,7	32,6	5.957,4	-34,0

NOTA: % *refer.* indica el cambio porcentual de los costes de cumplimiento respecto al escenario de referencia.

FUENTE: Tablas 4 y 6 de CAPROS y MANTZOS (2000).

- Industrias intensivas en energía: sector siderúrgico, metales no ferrosos, materiales de construcción (cimiento, vidrio, etcétera), sector químico, y pasta y papel.

- Resto de los sectores demandantes de energía incluyendo el resto de sectores industriales, los hogares, el sector terciario y el transporte.

Se puede observar que para el total de la UE-15, los sectores suministradores de energía son los más importantes, seguidos de las industrias intensivas en energía.

El Cuadro 4 recoge los resultados en términos de costes marginales y de costes de cumplimiento para los escenarios en los que se alcanza el objetivo de Kioto para la UE-15 domésticamente, es decir, sin comercio europeo de derechos. Los costes de cumplimiento se definen como los costes directos de reducción, de la misma forma que en el modelo POLES, computados como el

área debajo de la curva de costes marginales de reducción. Las primeras dos columnas del Cuadro 4 representan estos costes para el caso en que cada país cumple con el objetivo del ARC europeo. En este caso el coste de cumplimiento para el total de la UE-15 se estima en unos 9.000 millones de euros (euros del año 1999). El rango de variación de los costes marginales es muy elevado, mostrando el potencial de ahorro de costes que se podría tener al contar con un mecanismo paneuropeo de intercambio de derechos.

Los autores del estudio destacan que estos costes se han computado asumiendo que dentro de cada país el esfuerzo de mitigación es óptimo, en el sentido de que cada uno de los sectores acomete aquella reducción de emisiones que conduce al mínimo coste posible a nivel de todo el país. Para tener una idea de qué pasaría

en un escenario en el que esto no ocurre, los autores calcularon los costes ligados a un escenario en que todos los sectores de un mismo país reducen las emisiones de forma proporcional, es decir, según el porcentaje del ARC europeo. En este caso, como aparece en las columnas tercera y cuarta del Cuadro 4, los costes marginales son muy superiores a los del escenario anterior. Los costes de cumplimiento más que se duplicarían respecto al escenario del ARC, estimándose en unos 20.500 millones de euros.

Capros y Mantzos cuantifican los costes de varios escenarios con comercio paneuropeo de derechos, según distintos grados de cobertura sectorial. En el Cuadro 5 se recogen dos casos: comercio únicamente para los sectores suministradores de energía (el resto de sectores también contribuiría a los objetivos de reducción pero domésticamente, *i.e.* sin posibilidad de acudir al mercado europeo) y comercio incluyendo a todos los sectores. En ambos casos el coste marginal es muy similar, estimándose en el entorno de los 32 euros por tonelada de CO₂. Los costes totales de cumplimiento para la UE-15 disminuirían en un 20 por 100 en el primer y segundo escenario, respecto al escenario de ARC, respectivamente. Nótese que para cada uno de los países de la UE los costes de cumplimiento recogen, además de los costes directos, la transferencia neta ligada al comercio de emisiones.

En síntesis, estos autores concluyen que la disminución potencial de costes de cumplimiento gracias a un mercado europeo de emisiones está en un rango de un 20 por 100 a un 34 por 100, en relación al caso de ARC doméstico. El coste marginal de cumplimiento, que se puede interpretar como el precio del derecho en el mercado de emisiones, se estima en torno a unos 33 euros por tonelada de CO₂. Si se divide el coste de cumplimiento total por el número de toneladas reducidas, se puede computar el coste medio de reducción, que disminuye de 24,3 euros/tCO₂ en el caso de reducciones domésticas hasta 18,2 euros/tCO₂ al permitir el comercio en todos los sectores. El análisis con el modelo PRIMES sugiere asimismo que en el caso de acción doméstica los países

con mayores costes marginales de reducción son Bélgica, Finlandia y Holanda, mientras que Francia y Alemania presentan los costes más bajos en la UE-15. El primer grupo aparece, por tanto, como potencial comprador de derechos en un mercado paneuropeo y el segundo como vendedor. Al abrirse el mercado europeo de emisiones, todos los países mejoran respecto a la situación sin comercio paneuropeo.

4. La Directiva del mercado europeo de derechos de emisión de GEI

La Directiva se aplica en dos fases, coincidiendo la segunda con el período de cumplimiento del Protocolo de Kioto, los años 2008 a 2012. En la primera fase, que abarca los años 2005 a 2007, la Directiva regula sólo los derechos de emisión de dióxido de carbono, el GEI más importante. A pesar de que no existen compromisos de reducción de emisiones para la UE en esta primera fase, su existencia se justifica sobre todo para que las distintas administraciones implicadas, las empresas afectadas y agentes económicos en general adquieran una experiencia que va a resultar muy valiosa para la segunda fase. Los retos de poner en marcha por primera vez un mercado de emisiones de tal magnitud son considerables, no sólo por las potenciales implicaciones distributivas del reparto de los derechos de emisión, sino también por la necesaria complejidad de la implementación de la Directiva. Asimismo, la señalada ausencia de compromisos de mitigación hace que los objetivos de esta primera fase, que se podría calificar como experimental, puedan ser relativamente menos ambiciosos.

Tal y como se discute en el *Libro Verde*, las incertidumbres en cuanto a las emisiones de gases fluorados y a la absorción del CO₂ por los sumideros, así como los problemas técnicos y administrativos de incluir en la Directiva los denominados sectores difusos (por ejemplo, fuentes móviles menores —transporte— y hogares), aconsejaban un enfoque gradual en el desarrollo del mercado europeo de derechos, limitando en una primera fase el mismo a las grandes fuentes fijas de dióxido de carbono.

La Directiva intenta garantizar una participación y cobertura tanto consistente como armonizada en todo el mercado interior. Por tanto, con la reciente ampliación de la UE los nuevos Estados miembros también están sujetos a la Directiva desde enero de 2005. Así, unas 10.000 instalaciones industriales son afectadas por la Directiva, que representan aproximadamente la mitad de las emisiones de dióxido de carbono de la UE, y la tercera parte de las emisiones de GEI.

Antes de julio de 2006 la Comisión puede proponer al Parlamento Europeo y al Consejo modificaciones que podrían por ejemplo ampliar la cobertura de la Directiva, incluyendo otros sectores (como el químico o el transporte) y otros GEI, cambiar las multas por exceso de emisiones, así como otros aspectos de la Directiva que puedan mejorarse a la luz de la experiencia de la primera fase.

La infraestructura técnica del mercado de emisiones de dióxido de carbono es notable y consta básicamente de dos sistemas de información, cruciales para la credibilidad y en definitiva la efectividad medioambiental del mercado de emisiones. Por una parte, un sistema para realizar un seguimiento, notificación y verificación de las emisiones. Por otra parte, es necesario crear un registro de los derechos de emisión y de las transacciones del mercado. Ambos aspectos del marco regulatorio son tratados con cierto detalle en el siguiente apartado.

5. La implementación de la Directiva

Los planes nacionales de asignación

Hay dos etapas en la puesta en marcha del mercado europeo. En una primera fase se asignan los derechos de emisión a cada instalación industrial. La segunda etapa consiste en el intercambio de los derechos en el mercado, una vez se han asignado los derechos. El artículo 9 de la Directiva establece que cada Estado miembro desarrollará un Plan Nacional de Asignación (PNA) de derechos para cada período.

Los criterios que la Comisión sigue para el análisis (y la eventual aprobación de un PNA) están recogidos en la propia Directiva. El primer criterio evidentemente consiste en comprobar que cantidad de permisos propuesta está en línea con el objetivo del Estado miembro estipulado en el «Acuerdo de Reparto de la Carga». Por supuesto, el Estado miembro puede (y debe) adoptar otras medidas, en particular en aquellos sectores no sujetos a la Directiva. El sector transporte, en particular, es responsable del 21 por 100 de las emisiones de GEI en la EU, mientras que los sectores residencial y terciario lo son del 17 por 100 y el sector agrícola, del 10 por 100, de modo que cada Estado miembro debe implementar las medidas de política ambiental que estime oportunas para limitar las emisiones en estos sectores, lo cual influye directamente en los objetivos prescritos (y los permisos emitidos) para los sectores regulados por la Directiva de comercio de emisiones. Además, los Estados miembros pueden prever la compra de créditos de emisión a través de los mecanismos flexibles basados en proyectos del Protocolo de Kioto (IC, MDL), así como la compra de permisos de emisión internacionales cubiertos por el Protocolo.

Todas estas medidas, así como una estimación de su impacto potencial deben ser explícitamente recogidas en los PNA, pues de ellas depende la cantidad de permisos de emisión atribuibles a los sectores regulados por la Directiva. Si la Comisión juzga que la combinación de las medidas propuestas es compatible con la consecución del objetivo, está en condiciones de ser aprobado y adoptado.

De manera más general, los PNA deben también incluir un análisis del potencial de reducción de emisiones por sectores, así como los costes estimados asociados a cada uno de ellos bajo diferentes hipótesis de aplicación de determinadas políticas o medidas. Además, hay criterios relativos al respeto de las reglas de competencia entre compañías y sectores, de cumplimiento de la legislación europea sobre ayudas de Estado, así como la previsión del tratamiento de nuevos entrantes en un determinado sector, es decir, agentes que no tienen

«emisiones históricas» sobre las cuales basar un mecanismo de asignación.

La Comisión ha identificado en los planes examinados hasta el momento presente dos tipos de deficiencias:

- Asignación excesiva de permisos. La asignación demasiado generosa de permisos de emisión a los sectores regulados por la Directiva podría poner en peligro el cumplimiento de los objetivos nacionales. Algunos Estados miembros han tenido que realizar recortes sustanciales en sus asignaciones iniciales. En total, sobre los 22 planes aprobados los ajustes realizados representa el 3 por 100 de los permisos solicitados inicialmente, unos 188 millones de toneladas en los tres años que cubre el plan.

- El Estado miembro pretende realizar ajustes *ex-post*, es decir, pretende intervenir en el mercado tras la asignación y redistribuir de nuevo los permisos entre los agentes implicados.

Seguimiento, notificación y verificación de las emisiones

La Comisión ha establecido una serie de directrices y criterios para el seguimiento, notificación y verificación de las emisiones de GEI¹². Estos aspectos resultan cruciales para la credibilidad de la política de reducción de emisiones. A continuación se describe a grandes rasgos el funcionamiento de lo que se podría denominar arquitectura institucional subyacente al mercado de emisiones, cuya complejidad ilustra el necesario proceso de aprendizaje que conlleva poner en marcha el mercado de emisiones.

El marco regulatorio propuesto trata de garantizar el seguimiento completo, coherente, transparente y preciso de las emisiones. Cada titular de una instalación determina las emisiones de GEI en un informe de segui-

miento de las emisiones una vez finalizado el año natural. Las directrices contemplan dos metodologías de seguimiento: el cálculo (indirecto) y la medición (directa). El método del cálculo es indirecto puesto que las emisiones de la instalación (emisiones tanto de combustión como de proceso) se obtienen como resultado de multiplicar los datos de actividad (e.g. combustible utilizado o índice de producción) por un factor de emisión y por un factor de oxidación. Alternativamente, se pueden determinar las emisiones empleando sistemas de medición continua de cada fuente de emisión, siempre que su uso haya sido aprobado por la autoridad competente. Las emisiones resultantes se tendrán que corroborar con el método de cálculo. Parece que la mayor parte de las instalaciones van a utilizar el método de cálculo, debido en parte a la falta de sistemas normalizados de medición en continuo.

El informe de seguimiento recoge, además de las emisiones totales, información sobre la fiabilidad de los métodos de medición y una evaluación sobre la incertidumbre, entendida ésta como un intervalo de confianza del 95 por 100 alrededor del valor medido.

El informe de seguimiento es entonces evaluado por la figura del verificador, quien estudiará la fiabilidad, crédito y exactitud de los sistemas de seguimiento y de los datos e información notificados relativos a las emisiones. El verificador emite un informe sobre este proceso de validación en el que constará si es satisfactoria la notificación realizada, es decir, si el método empleado es fiable y si existen errores mínimos aceptables. Es importante notar que el verificador ha de recibir la correspondiente acreditación para poder desempeñar sus tareas, una vez el acreditador evalúa positivamente la capacidad técnica del verificador. En función del tipo de instalación industrial, el proceso de verificación puede llevar incluso varios meses. El verificador ha de ser lógicamente independiente del titular de la instalación y de hecho juega un papel central a la hora de dotar de credibilidad a todo el sistema.

El informe verificado se remite a la autoridad competente quien puede aceptar el mismo o requerir docu-

¹² Para las directrices de seguimiento y notificación véase la Decisión de la Comisión de 29 de enero de 2004 (2004/156/CE) y el Anexo IV de la Directiva 2003/87/CE, y para los criterios de verificación véase el Anexo V de la Directiva 2003/87/CE.

mentación adicional para la aceptación. En el caso español la autoridad competente son las Comunidades Autónomas, quienes por tanto estudian la fiabilidad, crédito y exactitud de los sistemas de seguimiento y de los datos. Si se da la conformidad al informe, se inscriben las emisiones en el registro nacional de derechos de emisión. Si el órgano autonómico discrepa, se notifican al titular las discrepancias, la propuesta de resolución y, en su caso, la estimación de emisiones. Una vez examinadas las alegaciones del titular, el órgano competente resuelve e inscribe en el registro las emisiones de la instalación. Si el titular no presenta el informe verificado en el plazo determinado, la autoridad competente procede a la estimación de las emisiones de la instalación y a su inscripción en el registro.

Para el caso español el plazo de presentación del informe verificado es finales de marzo del año siguiente al de las emisiones que se están determinando. La autoridad competente cuenta con un mes para inscribir los datos de emisión de cada instalación en el registro, una vez solventadas las discrepancias y no presentaciones de informes. Los procedimientos y plazos mencionados muestran el grado de sofisticación de tipo técnico-administrativo que conlleva la Directiva, afectando por lo menos a tres niveles de las administraciones públicas, las empresas con instalaciones sujetas a la Directiva, las empresas verificadoras y las acreditadoras.

Los registros de emisiones

Según la Directiva, los Estados miembros adoptarán las disposiciones necesarias para la creación y el mantenimiento de un registro de derechos de emisión. Cada registro nacional llevará la cuenta exacta de la expedición, la titularidad, la transferencia y la cancelación de derechos de emisión. Estos registros nacionales, en forma de base de datos electrónica, se podrán incorporar a un sistema consolidado en el que participen otros Estados miembros. Asimismo, la Comisión designará a un Administrador Central que llevará un registro independiente de las transacciones de derechos a nivel de la

UE. La Comisión ha publicado recientemente el reglamento que regula el sistema de registros de derechos de emisión de GEI¹³, existiendo cuatro en marcha al redactarse este artículo.

6. Conclusiones

La directiva europea que regula el comercio de derechos de emisión de GEI ha creado en el año 2005 el primer mercado internacional de comercio de estos derechos de contaminación. La implementación paulatina del mercado de derechos de emisión (circunscrita por el momento a un agregado de sectores que cubren en términos aproximados el 50 por 100 de las emisiones de GEI de la Unión Europea) permite introducir una señal económica de escasez de permisos de emisión de carbono recogida por el precio del mismo, desde los primeros meses de 2005. La justificación última de este esquema de regulación basado en la lógica del mercado es su eficiencia en términos de costes. La Unión Europea pretende ganar experiencia en la puesta en marcha y desarrollo de este marco regulatorio, antes de que surja el mercado mundial en el año 2008.

Este artículo ha revisado los resultados de dos estudios que modelizan los posibles efectos económicos de cumplir el objetivo de la UE-15 derivado del Protocolo de Kioto con un mercado paneuropeo de derechos de emisión de GEI. Los estudios IPTS (2000) y Capros y Mantzos (2000) estiman que un mercado europeo de derechos que incluyese todos los sectores podría conllevar unos ahorros de coste en un rango entre un 25 por 100 y un 33 por 100, respecto a una situación con mercados de derechos domésticos circunscritos a cada Estado miembro sin posibilidad de comercio intraeuropeo de permisos. Nótese que se asume que los mercados de permisos serán tan transparentes y eficientes como para garantizar la igualdad de los costes margina-

¹³ Reglamento (CE) 2216/2004, de 21 de diciembre de 2004.

les de reducción de emisiones para todos los sectores dentro de cada país.

Por lo tanto, hay que recordar que estos resultados son meras indicaciones cuantitativas y que su validez está condicionada a la de un amplio conjunto de hipótesis sobre las relaciones de comportamiento de los agentes, así como a la fiabilidad de una extensa base de datos. Los resultados se pueden interpretar como ilustraciones del orden de magnitud y dirección de los efectos de la política considerada.

Quedan por definir aspectos centrales de las políticas a ejecutar en el período 2008-2012, período de cumplimiento del Protocolo. Sectores como el transporte y los hogares constituyen una fuente importante de emisiones y parece necesario plantear medidas al respecto, a escala nacional y/o comunitaria. Estas medidas de política específicamente dedicadas a los sectores no cubiertos en la Directiva de comercio de derechos de emisión son necesarias, con gran urgencia en según qué casos, debido al rápido crecimiento de las emisiones de GEI en alguno de estos sectores, en particular el transporte por carretera.

Asimismo, en el marco internacional las políticas más allá del año 2012 se están empezando a negociar. En este sentido, la reciente comunicación de la Comisión Europea (Comisión Europea, 2005) destaca la crucial importancia de contar con una amplia participación de países y sectores en los posibles futuros acuerdos internacionales. El uso de instrumentos internacionales, como el comercio de emisiones y los mecanismos del Protocolo basados en proyectos, puede desempeñar un papel fundamental a la hora de disminuir los costes de cumplimiento de hipotéticos objetivos de reducción más

allá de 2012. Las políticas que fomenten el desarrollo de tecnologías poco intensivas en carbono van a ser determinantes en la posible senda hacia un mundo menos intensivo en carbono, y en este sentido las señales de precio desempeñan un papel básico.

Referencias bibliográficas

- [1] CAPROS, P. y MANTZOS, L. (2000): «The Economic Effects of EU-wide Industry-level Emission Trading to Reduce Greenhouse Gases», disponible en: http://europa.eu.int/comm/environment/enveco/climate_change/primes.pdf.
- [2] COMISIÓN EUROPEA (2003): «World Energy, Technology, and Climate Policy Outlook 2030 - WETO», EUR 20366, DG Research, Bruselas.
- [3] COMISIÓN EUROPEA (2005): «Ganar la batalla contra el cambio climático mundial», COM 2005/35, 9 febrero, Bruselas, disponible en: http://europa.eu.int/comm/environment/climat/future_action.htm.
- [4] EKINS, P. y BAKER, T. (2001): «Carbon Taxes and Carbon Emission Trading», *Journal of Economic Surveys*, 15: 325-376.
- [5] HIDALGO, I.; SZABO, L.; CISCAR, J. C., y SORIA, A. (2005): «Technological Prospects and CO₂ Emission Trading Analyses in the Iron and Steel Industry: A Global Model», *Energy*, 30: 583-610.
- [6] IPCC (2000): *Emissions Scenarios*, informe especial del tercer grupo de trabajo del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Cambridge University Press.
- [7] IPTS (2000), «Preliminary Analysis of the Implementation of an EU-wide Permit Trading Scheme on CO₂ Emissions Abatement Costs: Results from the POLES Model», estudio realizado por IPTS-JRC, Comisión Europea. Disponible en http://europa.eu.int/comm/environment/enveco/climate_change/poles.pdf.
- [8] IPCC (2001): *Cambio Climático 2001. La Base Científica*. Tercer Informe de Evaluación, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Disponible en <http://www.ipcc.ch/pub/un/ipccwg1s.pdf>.