COLECCIÓN ESTUDIOS ECONÓMICOS [36]

El cambio climático: análisis y política económica. Una introducción

Josep M. Vegara (Director)
Isabel Busom
Montserrat Colldeforns
Ana Isabel Guerra
Ferran Sancho

SERVICIO DE ESTUDIOS

"la Caixa"

Josep Maria Vegara es doctor ingeniero industrial. Postgrado de Economía, CEPE-París. Catedrático emérito de Fundamentos del Análisis Económico, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Autónoma de Barcelona. Preside el Consell Català d'Estadística. Ha trabajado para diversas universidades y organismos oficiales y ha publicado libros y numerosos artículos en revistas especializadas.

Isabel Busom es doctora en Economía y profesora titular en el Departamento de Economía Aplicada de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales (UAB). Ha publicado artículos en revistas como *Research Policy, Economics of Innovation and New Technology, Spanish Economic Review, Nota d'Economia* y *Coneixement i Societat.* También ha colaborado en obras como *Economia catalana*. *Reptes de futur*, *La situació de la innovació a Catalunya* y *La innovació tecnològica*.

Montserrat Colldeforns es licenciada en Ciencias Económicas por la Universidad de Barcelona y doctora en Economía por la London School of Economics. Ha sido profesora de la UAB y subdirectora de Estudios y Programación del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya. Ha participado en seminarios y congresos internacionales y ha colaborado con la OCDE en el análisis de las políticas ambientales de Bélgica y España. Del 2004 al 2008 ha sido portavoz de medio ambiente del Grupo Parlamentario Socialista en el Congreso de los Diputados.

Ana Isabel Guerra es licenciada en Ciencias Económicas por la Universidad de Salamanca. Máster en Ciencias Económicas por la Universidad Católica de Lovaina y máster en Economía Aplicada por la UAB. Actualmente es Visiting Researcher en el Instituto Fraser of Allander de la Universidad de Strathclyde de Escocia. Ha colaborado en el proyecto de investigación «Capital Humano, Consumo y Eficiencia en España».

Ferran Sancho es doctor en Ciencias Económicas por la UAB. Máster en Economía por la Universidad de California. Catedrático de Fundamentos del Análisis Económico en la UAB. Actualmente es director del Departamento de Economía de la UAB. Ha publicado artículos en diversas revistas científicas internacionales como la *International Economic Review*, *European Economic Review* y *Energy Policy*.

COLECCIÓN ESTUDIOS ECONÓMICOS
N.º 36

El cambio climático: análisis y política económica. Una introducción

Josep M. Vegara (director)

Isabel Busom
Montserrat Colldeforns
Ana Isabel Guerra
Ferran Sancho

Edición electrónica disponible en Internet:
www.laCaixa.es/estudios

SERVICIO DE ESTUDIOS

"la Caixa"

"la Caixa"

Servicio de Estudios
Avda. Diagonal, 629, torre I, planta 6
08028 BARCELONA
Tel. 93 404 76 82
Telefax 93 404 68 92
www.laCaixa.es/estudios
Correo-e: publicacionesestudios@lacaixa.es

La responsabilidad de las opiniones emitidas en los documentos de esta colección corresponde exclusivamente a sus autores. La CAJA DE AHORROS Y PENSIONES DE BARCELONA no se identifica necesariamente con sus opiniones.

© Caja de Ahorros y Pensiones de Barcelona "la Caixa", 2009
© Josep M. Vegara, Isabel Busom, Montserrat Colldeforns, Ana Isabel Guerra y Ferran Sancho

ÍNDICE

PRESENTACIÓN 7

PREFACIO 9

INTRODUCCIÓN 10

I. INTRODUCCIÓN: CARACTERÍSTICAS E IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO 16
Josep M. Vegara

1.1. La dinámica del cambio climático 16
1.1.1. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas 16
1.1.2. Evolución de la temperatura 17
1.2. Las emisiones de CO_2 21
1.2.1. Evolución 21
1.2.2. El efecto invernadero 23
1.2.3. El ciclo del carbono 24
1.3. El *stock* y la circulación 25
1.4. Los impactos 25

II. UN FALLO DEL MERCADO GLOBAL 28
Josep M. Vegara

2.1. Externalidades y bienes públicos 28
2.2. Las condiciones de existencia de mercados 30
2.3. Los mercados de derechos de emisiones 31
2.4. Las características del problema y de las respuestas 32

III. EL ANÁLISIS ECONOMÍA-CAMBIO CLIMÁTICO (I) 35
Josep M. Vegara

3.1. El análisis coste-beneficio 35
3.2. ACB y valoración de impactos 35
3.2.1. Evaluación de los impactos del cambio climático 36
3.2.2. Evaluación económica de los impactos del cambio climático 37
3.3. El coste social del carbono 41
3.4. Precios de cálculo y coste social del carbono 43
3.5. Decisiones marginales asociadas a una configuración de la economía 46
3.6. Decisiones multicriterio 47

IV. EL ANÁLISIS ECONOMÍA-CAMBIO CLIMÁTICO (II) 49
Josep M. Vegara

4.1. Incertidumbre y riesgo 49
4.2. Irreversibilidades 50
4.3. Distribución y equidad. Equidad intergeneracional 53
4.3.1. Cambio climático y distribución 53
4.4. La tasa de descuento social 55
4.5. Cambio climático y sostenibilidad 62

V. MODELOS ECONÓMICOS PARA LA EVALUACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y DEL CAMBIO CLIMÁTICO 64
Ana Isabel Guerra
Ferran Sancho

5.1. Introducción 64
5.2. La relación entre economía, energía y medio ambiente 64
5.3. El medio ambiente como bien de consumo 66
5.4. Las políticas de mitigación 67
5.4.1. Políticas de precios 67
5.4.2. Políticas de cambio tecnológico 68
5.4.3. Políticas de regulación 68
5.5. Evaluación de los costes de mitigación 69
5.6. Las interconexiones entre mercados en la evaluación de políticas 70
5.7. Los impactos indirectos de las políticas de mitigación 77
5.8. Evaluación integral y modelos de evaluación integral 79

VI. LOS INSTRUMENTOS 81
Montserrat Colldeforns

6.1. Los instrumentos de intervención en el medio ambiente 81
6.1.1. Instrumentos de regulación 82
6.1.2. Instrumentos económicos o de mercado 82
6.1.3. Otros instrumentos 84
6.2. Criterios de evaluación de los instrumentos de política ambiental 84
6.3. Ventajas de los instrumentos de mercado en relación con los instrumentos de regulación 86
6.4. Los instrumentos de política ambiental y el cambio climático 87
6.4.1. La fijación de objetivos en las políticas de cambio climático 88
6.4.2. La elección de los instrumentos de mercado en situación de incertidumbre 90

6.4.3. La cuestión de la coordinación mundial, la vigilancia y el cumplimiento 93
6.4.4. Impuesto sobre las emisiones de CO_2 94
6.4.5. Mercado de derechos de emisión de CO_2 97
6.4.6. Instrumentos de regulación y la utilización conjunta de varios tipos de instrumentos 107
6.4.7. El mercado mundial de carbono 109
6.5. La adaptación al cambio climático 111
6.6. La financiación mundial de las políticas de cambio climático 113

VII. CAMBIO CLIMÁTICO Y CAMBIO TECNOLÓGICO 114
Isabel Busom

7.1. Introducción 114
7.2. Investigación, innovación y recursos para hacer frente al cambio climático 116
7.2.1. El conocimiento que necesitamos 116
7.2.2. Recursos dedicados a la investigación en el ámbito energético 122
7.3. Empresas y consumidores: ¿cuáles son los incentivos para generar, introducir en el mercado y adoptar innovaciones tecnológicas relacionadas con el cambio climático? 128
7.3.1. El doble fallo 128
7.3.2. Otras barreras a la generación y difusión de innovaciones 133
7.3.3. La política de investigación y de innovación 134
7.3.4. Un aspecto específico del cambio climático: la dimensión internacional de las dos externalidades 136
7.3.5. Conclusiones 139
7.4. Aprendiendo del comportamiento observado. La evidencia empírica sobre el impacto de las políticas ambientales y de innovación 141
7.4.1. ¿Han servido hasta ahora las medidas de política ambiental para promover la generación de innovaciones? 141
7.4.2. Política ambiental y estímulo de la innovación: el caso de las energías renovables 143
7.4.3. Adopción, difusión y transferencia de tecnologías 144
7.5. ¿Cuál sería el nivel deseable de inversión en I+D energética, ahora y a lo largo de los próximos 10, 30 y 50 años? ¿Cuáles son las políticas más adecuadas para alcanzarlo? 146

7.5.1. Modelos globales para ayudar a determinar objetivos de reducción de emisiones y evaluar *ex ante* las políticas ambiental y tecnológica 147
7.5.2. Un modelo con varios países: el WITCH 149
7.5.3. Un modelo sectorial: ¿qué medidas pueden ser más efectivas para impulsar la innovación y la difusión de energías renovables? 150
7.6. Conclusiones, reflexiones y retos 152
BIBLIOGRAFÍA 154

Presentación

Hay un consenso generalizado en la comunidad científica internacional en que la temperatura media de nuestro planeta ha aumentado de forma prácticamente ininterrumpida durante los últimos cien años, un fenómeno que se atribuye, con alta probabilidad, al efecto de las actividades humanas, en especial a la emisión de gases de efecto invernadero.

Estas son algunas de las conclusiones del Cuarto, y por ahora último, Informe de evaluación elaborado y publicado en 2007 por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Este organismo, creado en 1998 por el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP) y la Organización Meteorológica Mundial (WMO), reúne a científicos de todo el mundo con el objetivo de analizar el proceso del cambio climático, sus posibles impactos y las posibilidades de adaptación y atenuación del mismo.

Partiendo de esta base científica, este nuevo volumen de la Colección Estudios Económicos que publica el Servicio de Estudios de "la Caixa" pretende poner de relieve el complejo entramado de relaciones existentes entre la economía y el cambio climático. Por un lado, expone las principales contribuciones de la teoría económica, las bases conceptuales necesarias y los problemas específicos a tener en cuenta para analizar y comprender el fenómeno desde una perspectiva económica. Por otro, el estudio plantea y evalúa el abanico de políticas e instrumentos a disposición de los agentes decisorios para incentivar la adopción de medidas de mitigación de este proceso.

Josep M. Vegara, doctor ingeniero industrial y catedrático de Fundamentos del Análisis Económico de la Universitat Autònoma de Barcelona, ha dirigido este trabajo, para el cual ha contado con la colaboración de Isabel Busom, Montserrat Colldeforns, Ana Isabel Guerra y Ferran Sancho, todos ellos con amplios conocimientos sobre la problemática específica asociada a la economía del cambio climático.

Confío que este trabajo sea una referencia de gran utilidad para los profesionales de la economía, para los responsables de implementación de políticas y, en general, para todos aquellos estudiosos e interesados en disponer de una visión amplia y completa sobre uno de los temas que más interés y preocupación suscita en la sociedad actual.

Isidro Fainé
Presidente de "la Caixa"

Prefacio

El objetivo del estudio es, en primer lugar, exponer los principales problemas/aspectos que hay que afrontar para tratar las cuestiones fundamentales asociadas con la economía del cambio climático; está diseñado para que sea útil a los profesionales de la economía. No es un estudio dirigido prioritariamente al mundo académico.

Un segundo objetivo consiste en facilitar instrumentos conceptuales necesarios para comprender e interpretar el análisis económico y las políticas del cambio climático: externalidad global, precio sombra, análisis en el margen, decisión multicriterio, por ejemplo, son algunos de los conceptos que se analizan.

El tercero objetivo de este libro es explicar las aportaciones del análisis económico en relación con el cambio climático; está centrado en el análisis económico convencional, neoclásico. ¿Qué enfoques del análisis económico son los más relevantes para entender los diferentes aspectos que relacionan la economía y el cambio climático? ¿Cuál es su nivel de adaptación a los problemas y cuáles son las insuficiencias? Hemos procurado presentar varios enfoques, diferentes posiciones existentes sobre los temas más polémicos dentro, sin embargo, del enfoque mencionado.

Por otro lado, el trabajo no tiene la pretensión –obviamente– de dibujar un panorama exhaustivo de las contribuciones del análisis económico a los diferentes aspectos del cambio climático. Por su parte, la política económica está reflejada en términos del análisis de los instrumentos existentes, sin entrar –no obstante– en un relato sistemático de las políticas concretas vigentes en las diversas instituciones.

El objetivo del trabajo requiere otros estudios que cubran otros campos de la literatura económica o bien los mismos desde una perspectiva diferente.

El texto está escrito desde una posición que comparte las diagnosis y las previsiones realizadas por el IPCC. Si no se dispone de bases científicas serias para hacer una diagnosis propia, alternativa y fundamentada científicamente, parece sensato compartir el consenso de la comunidad científica internacional.

Ni que decir tiene que el contenido del estudio y de los diferentes capítulos es responsabilidad exclusiva de los autores.

Josep M. Vegara

Introducción

El cambio climático, el calentamiento global y sus consecuencias son objeto de creciente atención conforme aumenta su verosimilitud y se prevén con más claridad las severas consecuencias.

El capítulo I presenta los aspectos centrales de la dinámica del cambio climático en curso, tomando como hilo conductor los análisis del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas, institución que expresa el consenso de la comunidad científica internacional.

Se presentan brevemente cuestiones como la evolución de la temperatura de la atmósfera y de las emisiones de dióxido de carbono. También se explican algunos temas necesarios para entender la citada dinámica, como es el caso del ciclo del carbono, así como la importancia del *stock* de carbono existente en la atmósfera. Así mismo se expone el fenómeno de la rápida difusión de los incrementos de concentración del carbono, factor responsable del carácter global, planetario, del fenómeno del calentamiento global. El capítulo se cierra con un breve repaso de los impactos más probables inducidos por el cambio climático.

El capítulo II está centrado en el análisis de los factores que explican los rasgos básicos de la intervención humana en la generación del cambio climático en curso. El primero consiste en exponer la lógica de los efectos externos o externalidades y el segundo se refiere a la presencia de bienes públicos en el proceso. Los dos aspectos guardan una estrecha relación con los conceptos de exclusión y de rivalidad y derivan de la inexistencia de los mercados relevantes como, por ejemplo, el mercado de las emisiones de dióxido de carbono. Por este motivo se analizan las condiciones de existencia de mercados y, simétricamente, las causas de la no-existencia de determinados mercados relevantes en el caso del cambio climático. En este contexto se analiza también qué hace posible que existan mercados como el de permisos de derechos de emisión de dióxido de carbono, mercados que juegan un importante papel en la política de mitigación o reducción de las emisiones.

Las dos características centrales del cambio climático en curso son: su carácter de externalidad global, por un lado, y la ausencia de una autoridad supranacional con capacidad operacional para acordar políticas y medidas, implementarlas y hacerlas cumplir, por otro. Estas dos características explican el carácter y las dificultades que deben afrontar las respuestas que se han dado hasta ahora al cambio climático. Su eje central lo constituye el Protocolo de Kioto, que es objeto de una breve explicación.

El capítulo III es el primero de los dos capítulos en los que se exponen las diversas contribuciones de la teoría económica al análisis del cambio climático.

En primer lugar se considera el Análisis Coste-Beneficio (ACB) en su versión estándar. Seguidamente se analiza el problema de la estimación de los impactos (físicos) del cambio climático, así como la cuestión de la valoración económica de los impactos, tanto los impactos de mercado como los llamados de no-mercado. Los primeros (impactos sobre la actividad económica de la agricultura, por ejemplo) tienen los precios de mercado como un referente, directo o indirecto; los segundos, especialmente los que afectan a los sistemas ecológicos de apoyo de la vida, presentan dificultades especiales, que son objeto de análisis.

Un aspecto central –que hace de puente entre el análisis económico y la política económica– lo constituye la estimación del precio social del carbono, que está diseñado para incorporar los efectos externos y modificar los diversos comportamientos en la línea de corregir las externalidades.

El tema del coste social del carbono focaliza la atención sobre los llamados precios sombra, en primer lugar, y, a continuación, sobre la interpretación económica de las variables duales y similares asociadas a los problemas de optimización. Esta interpretación permite formular precisiones relevantes sobre el papel del análisis marginal, asociado a pequeñas modificaciones de la configuración económica vigente.

Por último, las dificultades y los límites de las valoraciones económicas de los impactos de no-mercado invitan a analizar las técnicas de decisión multicriterio, que –básicamente– incorporan los diferentes objetivos en términos de restricciones cuantitativas.

El capítulo IV se centra en los problemas que plantean, por un lado, el riesgo y la incertidumbre y, por otro, los aspectos distributivos, en especial entre generaciones.

El tratamiento del riesgo en el análisis económico se fundamenta, generalmente, en el conocimiento de la distribución de probabilidades de los distintos acontecimientos de los que deriva la situación de riesgo; estas probabilidades son, en general, estimaciones subjetivas. Ahora bien, la incertidumbre en sentido fuerte se caracteriza precisamente por el desconocimiento de esta información; la incertidumbre es ignorancia no probabilizable. El uso común del criterio basado en la esperanza matemática no resulta pertinente en situaciones caracterizadas por irreversibilidades o riesgo de catástrofes, entendiendo éstas como acontecimientos de baja probabilidad pero con elevados daños asociados. En este contexto ha ganado relevancia el criterio de precaución, que privilegia la prevención de los daños.

El cambio climático generará impactos muy diferentes, en especial según las diversas áreas geográficas. Por este motivo hay que integrar las consideraciones distributivas en las evaluaciones de políticas y proyectos. La separación habitual entre eficiencia y equidad que caracteriza el ACB estándar queda corta y la naturaleza de los problemas obliga a incorporar la dimensión distributiva y también la redistributiva.

La distribución de los costes y de los beneficios derivados del cambio climático y de las medidas de mitigación y adaptación durante un largo período plantea complejos problemas asociados a la distribución y a la equidad del proceso. La tasa de descuento que se utiliza para calcular el valor actual de costes y beneficios futuros juega un papel crucial en la toma de decisiones que afectan a la equidad intergeneracional. Existen dos concepciones contrapuestas relativas a cuál es el valor que hay que asignar a la tasa de descuento; una se refiere a los valores de mercado relevantes, en torno a los tipos de interés, y la otra introduce consideraciones éticas relativas a la equidad intergeneracional. De ello resultan dos valores bastante diferentes de la tasa de descuento.

Por último, se apunta a la relación existente entre el cambio climático y la problemática del desarrollo sostenible y la insostenibilidad, que surgió de la consideración de la limitación de los recursos no renovables y de los impactos irreversibles y acumulativos sobre el medio ambiente, y que el cambio climático obliga a analizar con más agudeza.

El capítulo V está centrado en los modelos económicos de evaluación del medio ambiente y del cambio climático. Empieza con una explicación de la evolución de la relación existente entre economía, energía y medio ambiente.

En este marco, el análisis de las políticas de mitigación de las emisiones de carbono se contempla desde la óptica de los tres siguientes instrumentos: políticas de precios, de cambio tecnológico y de regulación. Las primeras tienen como objetivo reducir la demanda de los productos intensivos en emisiones. Las segundas tienen por objeto incentivar a los sectores productivos para que realicen los cambios pertinentes en su estructura tecnológica a fin de reducir el nivel de las emisiones que generan. Una línea corresponde al aumento de la eficiencia y otra tiene como objetivo facilitar la adopción de nuevas tecnologías menos contaminantes. El objetivo de las políticas de regulación es modificar normativamente los comportamientos de las empresas y los consumidores.

Se analiza el medio ambiente como bien de consumo y, en especial, el papel de las externalidades. Por otro parte, se destaca que los modelos de evaluación integrada constituyen el instrumento más utilizado para evaluar cuantitativamente los costes de la mitigación, así como de las diferentes políticas. En esta línea se presenta una tipología de los modelos diferenciando I) los modelos de sistemas energéticos, II) los modelos econométricos, III) los modelos de equilibrio general aplicado (MEGA), IV) los modelos de optimización y, por último, V) los modelos híbridos.

Se presenta una discusión en profundidad de los modelos MEGA, particularmente adaptados para tratar las interrelaciones entre mercados y los efectos indirectos. Una extensa ficha resume las principales características de un modelo MEGA.

A continuación se muestran de forma detallada dos modelos aplicados a la economía española:

a) Un modelo energético de la economía española con 22 sectores y que analiza un *incremento selectivo de los impuestos indirectos* como un instrumento de la política de mitigación, en tres escenarios diferentes. Se analizan también sus efectos sobre otros mercados, como el del trabajo, en el marco del análisis de los impactos indirectos de la política de mitigación.

b) Un modelo, también empírico, que analiza el llamado *efecto rebote* en la economía española, en respuesta a las medidas orientadas a moderar la eficiencia energética.

Por último, el capítulo destaca el carácter interdisciplinario de los modelos de evaluación integral, mencionando los principales.

El capítulo VI tiene como objetivo exponer y evaluar los distintos instrumentos de que dispone la política económica para incidir en el proceso y en los impactos del cambio climático. Las características ya destacadas, específicas del cambio climático, requieren una adaptación y un refinamiento de los instrumentos aplicados a los problemas más convencionales del medio ambiente.

Seguidamente se expone la gama de instrumentos disponibles. En primer lugar, los llamados *instrumentos de regulación* (fijación de estándares y permisos de actividades); en segundo lugar, los *instrumentos de mercado* (impuestos ambientales y subvenciones, así como los derechos de emisión o permisos negociables), y también se analiza un tercer grupo de instrumentos (sistemas de garantía, seguros y compromisos ambientales).

Se exponen los criterios utilizados para escoger unos u otros instrumentos como los más idóneos; en especial, se destacan las ventajas de los instrumentos de mercado. La gran ventaja de estos instrumentos consiste en que dejan que sean las propias empresas, en función de sus costes, las que decidan su propia política, en el marco de unos objetivos generales.

Un impuesto sobre el dióxido de carbono, o sobre el conjunto de gases de efecto invernadero (GEI) lo más extenso posible, es una de las medidas más ampliamente defendidas para hacer internalizar los costes sociales generados por las actividades emisoras de GEI, ya que puede inducir a que los costes sociales queden incorporados en las decisiones. Ello, aunque no puede determinarse con precisión cuál será la reducción final de la contaminación. Otro inconveniente –común al establecimiento de cualquier nuevo impuesto– es su interacción –a menudo escasamente conocida– con el resto del sistema impositivo existente. Finalmente, se expone el debate en torno a la cuestión de la utilización de los recursos obtenidos con el impuesto.

El mercado más importante de permisos de emisión es el de la Unión Europea, cuyas características son objeto de exposición. El tema más debatido, asociado al funcionamiento de los mercados de permisos de emisiones, es el relativo al método de asignación inicial de los derechos de emisión. El establecimiento de una asignación gratuita o, por el contrario, el método de subasta generan consecuencias opuestas desde el punto de vista distributivo. Lógicamente, éste es el aspecto más controvertido del diseño del instrumento que se analiza.

A continuación se presenta una visión global de una serie de instrumentos o mecanismos llamados mecanismos de flexibilidad, diferentes a los contemplados hasta ahora e incluidos en el Protocolo de Kioto. Los dos principales son: a) la Implementación Conjunta (Joint Implementation-JI) y b) los Mecanismos de Desarrollo Limpio (Clean Development Mechanisms-CDM). Ambos corresponden a lo que se llama *mecanismos basados en proyectos*. De acuerdo con el primero, dos países con compromisos de reducción de emisiones consiguen conjuntamente una cierta cantidad de *unidades de reducción de emisiones*, mediante la realización de un proyecto o actuación concreta conjunta de reducción de emisiones en uno de los dos países. De acuerdo con el segundo mecanismo, un país que ha suscrito un compromiso de reducción de emisiones puede cumplirlo mediante reducciones obtenidas en países en desarrollo que no tienen obligación de reducción. Son instrumentos asociados a la transferencia de tecnología.

Un nuevo e importante mecanismo analizado corresponde a los mercados de carbono, en rigor, mercados de permisos de derechos de emisión, en los que una parte paga a otra a cambio de una cierta cantidad de permisos de reducción de emisiones, que el comprador utiliza para cumplir con sus compromisos, sean éstos obligatorios o voluntarios. Las compras de permisos de emisión con la finalidad de cumplir los compromisos cuantitativos de Kioto jugarán, ciertamente, un importante papel en el cumplimiento de los objetivos cuantitativos.

Se considera también el tema de la financiación necesaria para desplegar los diferentes instrumentos: se analiza el papel del Banco Mundial y de varios bancos multilaterales de desarrollo, que han sido muy activos en el despliegue de los distintos mecanismos mencionados, asociados, especialmente, a los mecanismos basados en proyectos. Estas instituciones han generado y facilitado recursos, al mismo tiempo que han aportado su capacidad para ayudar a crear unas condiciones de regulación claras y la estabilidad necesaria para la formación de un mercado mundial de carbono.

Otro tema objeto de consideración es el concerniente a los instrumentos de mercado y de regulación que pueden incentivar la adopción de *medidas de adaptación*, inevitablemente más variadas y dispersas.

El capítulo VII trata de las políticas de innovación tecnológica como instrumento para hacer frente al cambio climático. En primer lugar, se analizan los tipos de conocimientos científicos y tecnológicos que son necesarios para alcanzar el objetivo citado: conocimientos sobre la Tierra y el clima y, también, modelos que permitan hacer previsiones sobre la población, la demanda de energía y otros aspectos socioeconómicos relevantes. De forma especial, se necesita información sobre tecnologías de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, sea para que aumenten la eficiencia energética o bien para que hagan uso de fuentes energéticas alternativas –no fósiles– o bien tecnologías de captura del carbono, incluida la reforestación; otro bloque hace referencia a las tecnologías de adaptación.

En segundo lugar, se analizan los incentivos económicos necesarios en una economía de mercado para desarrollar los tipos de conocimientos científicos y tecnológicos identifica-

dos. En relación con este tema, se expone el llamado doble *fallo del mercado*. En primer lugar, el que deriva de las *externalidades negativas* y, por otro lado, el llamado *fallo dinámico*, que tiene su origen en el hecho de que los precios no incentivan suficientemente al sector privado para que desarrolle la investigación y la innovación necesarias en nuevos procesos. Por este último motivo, no basta con reflejar los costes totales, incorporando las externalidades estáticas: son también necesarias políticas adicionales de investigación e innovación, especialmente las orientadas a tratar la dimensión internacional de las dos externalidades.

En tercer lugar se exponen los principales instrumentos de la política de investigación e innovación, así como los resultados de las políticas ambientales y de innovación utilizadas en el pasado, con la finalidad de hacerlas más efectivas a fin de mitigar o adaptarse al cambio climático. Se analizan los estímulos a la innovación, en especial, en el caso de las energías renovables. También se contempla el proceso de adopción, difusión y transferencia de tecnologías. Se expone una muestra de modelos que tienen como objetivo analizar las diversas alternativas tecnológicas en un contexto económico global y que incorporan restricciones en términos de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

En último lugar, se analizan los efectos previsibles de las diferentes combinaciones de políticas de cambio climático, de investigación e innovación con el propósito de reducir las emisiones e incrementar el bienestar social.

El estudio incluye las direcciones web más relevantes, así como la correspondiente bibliografía por capítulo.

I. Introducción: características e impactos del cambio climático

Josep M. Vegara[1]

1.1. La dinámica del cambio climático

1.1.1. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas

El cambio climático es objeto de una creciente preocupación a medida que resulta cada vez más elevada su verosimilitud así como la verosimilitud de sus impactos. En esta toma de consciencia los científicos han jugado un papel muy relevante, en especial los científicos que gravitan en torno a las Naciones Unidas y el IPCC. El IPCC fue creado en el año 1988 por decisión de la Asamblea General de las Naciones Unidas. Reúne científicos de todo el mundo, encargados de producir informes periódicos sobre el proceso del cambio climático, sus impactos y las medidas que se deben tomar para mitigar sus efectos, así como para adaptarse a él.

Los informes están estructurados de la siguiente forma: a) fundamentos científicos, b) impactos, adaptación y vulnerabilidad y c) mitigación del cambio climático. Los informes del IPCC constituyen la expresión del consenso creciente de la comunidad científica internacional en torno a la cuestión del cambio climático. El último informe –el cuarto o *FAR*–[2] fue presentado en Valencia, en diciembre de 2007. Los sucesivos informes han ido expresando de forma progresiva una creciente convicción sobre la realidad del proceso de cambio climático resultante del calentamiento global. Así, el *FAR* contiene la afirmación relativa al «carácter inequívoco» del calentamiento global, tal y como reproduce la ficha 1.1.

El reflejo de la evidencia empírico-científica tiene expresiones diversas. Así, el llamado Informe Stern ha gozado de una amplia difusión y un fuerte impacto, especialmente porque propugna respuestas enérgicas en el corto plazo que serían rentables socialmente.

El Informe Stern, publicado en el año 2007, fue encargado por el Gobierno británico y se ha convertido en el documento de referencia sobre el tema. En la primera página dice:

«El cambio climático representa un cambio único para la economía: es el mayor ejemplo nunca visto de fallo del mercado. El análisis económico debe ser global, debe tratar horizontes temporales largos, debe tener en su núcleo el riesgo y la incertidumbre, y debe examinar la posibilidad de cambios mayores, no marginales».[3]

1. Agradezco a Manuel Martí-Recober (UPC), a Eric Suñol (New School-NY) y a Joxemari Aizpurua (UPN) sus comentarios y sugerencias.
2. *FAR: Fourth Assessment Report,* IPCC.
3. Stern, N. (2007): *The Economics of Climate Change: The Stern Review,* Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, pág. 1.

Ficha 1.1[4] La posición del IPCC sobre el calentamiento global

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, tal y como se ha hecho patente mediante las observaciones de los incrementos de las temperaturas medias atmosféricas y oceánicas globales, la fusión generalizada de la nieve y el hielo, y el aumento del nivel medio del mar en todo el planeta (véase la figura SPM-3) {3.2, 4.2, 5.5}.

- Once de los doce últimos años (1995-2006) aparecen entre los doce años más cálidos en el registro instrumental de la temperatura de la superficie terrestre[9] (desde 1850). La tendencia lineal actualizada de un período de 100 años (1906-2005) de 0,74 (de 0,56 a 0,92)°C es, por lo tanto, superior a la tendencia correspondiente para el período 1901-2000, que figura en el Tercer Informe de Evaluación, de 0,6 (de 0,4 a 0,8)°C. La tendencia lineal de calentamiento a lo largo de los últimos 50 años (0,13 [de 0,10 a 0,16]°C por década) casi duplica la de los últimos 100 años. El incremento total de temperatura desde el período 1850-1899 hasta el 2001-2005 es de 0,76 (de 0,57 a 0,95)°C. Los efectos de isla de calor urbano son reales, aunque locales, y su influencia sobre estos valores (menos de 0,006°C por década sobre la tierra y de cero sobre los océanos) es negligible {3.2}.

Fuente: IPCC (2007a): *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge, EE UU: Cambridge University Press. Versión catalana del Resumen para los responsables políticos:[5] http://www.ipcc.ch/ipccreports/translations.htm, pág. 17.

Las discrepancias, a veces, se expresan en matices. Así, el Congressional Budget Office de Estados Unidos, desde la prudencia que dicta la distancia de los gobiernos norteamericanos –hasta el momento– sobre la realidad del cambio climático y, especialmente, las políticas iniciadas desde las Naciones Unidas, afirma que:

«Existe un creciente consenso científico en el sentido de que el aumento de las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) y otros gases de efecto invernadero, que resultan de la combustión de fueles fósiles, están calentando gradualmente el clima de la Tierra. La cantidad total de daños asociados con este calentamiento es aún incierta, pero hay algún riesgo de que pueda ser considerable y quizá, incluso, catastrófica. Reducir este riesgo requeriría disminuir el crecimiento de las emisiones de CO_2, lo que implicaría costes que también son inciertos pero que podrían ser sustanciales».[6]

1.1.2. Evolución de la temperatura

La ficha 1.2 explica la evolución de la temperatura media de la atmósfera, de las superficies de nieve y hielo, así como del nivel del mar.[7] El gráfico 1.1 permite visualizar la evolución de la temperatura media, del nivel del mar y también de la superficie de nieve. En todos los casos son visibles las consecuencias del calentamiento global.

4. Las fichas y gráficos del capítulo I de este estudio reproducen de manera literal fragmentos de texto y gráficos del IPCC *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*. Por lo tanto, las referencias que figuran en los mismos indican los apartados del texto original donde se puede consultar la información.
5. El lenguaje relativo a la incertidumbre de las afirmaciones que se hacen en los diferentes informes está estandarizado. Véase www.ipcc.ch/ipccreports/translations.htm, págs. 8-9.
6. CBO (2008), Prólogo.
7. Las unidades ppm corresponden a *partes por millón*.

Ficha 1.2 Evolución de la temperatura oceánica, de las superficies de nieve y glaciares, de los mantos de hielo y el nivel del mar

- Las observaciones realizadas desde 1961 muestran un aumento de la temperatura oceánica global media, que se ha hecho extensivo a profundidades de al menos 3.000 metros, y que los océanos han absorbido más del 80% del calor añadido al sistema climático. Este calentamiento da lugar a la expansión del agua del mar y contribuye al aumento de su nivel (véase la tabla SPM-1) {5.2, 5.5}.
- Los glaciares de las montañas y la innivación han disminuido, por término medio, en ambos hemisferios. Las disminuciones generalizadas en los glaciares y los casquetes de hielo han contribuido a la subida del nivel del mar (los mantos de hielo no incluyen las aportaciones del manto de hielo de Groenlandia ni del manto de hielo del Antártico). (Véase la tabla SPM-1) {4.6, 4.7, 4.8, 5.5}.
- Los nuevos datos obtenidos desde el Tercer Informe de Evaluación revelan que las pérdidas de los mantos de hielo de Groenlandia y el Antártico han contribuido muy probablemente al aumento del nivel del mar durante el período comprendido entre 1993 y 2003 (tabla SPM-1). La velocidad del flujo ha aumentado en algunos glaciares de salida de Groenlandia y la Antártida, que drenan hielo del interior de los mantos de hielo. Al correspondiente aumento en la pérdida de masa de hielo a menudo lo ha seguido una disminución del espesor, reducción o pérdida de las plataformas de hielo o pérdida de las lenguas glaciares flotantes. Esta pérdida dinámica de hielo es suficiente para explicar la mayor parte de la pérdida de masa neta de la Antártida y aproximadamente la mitad de la pérdida de masa neta de Groenlandia. La pérdida de hielo restante de Groenlandia se ha producido por el hecho de que las pérdidas de la fusión han sido superiores a la acumulación debida a las nevadas {4.6, 4.8, 5.5}.
- El nivel medio global del mar ha aumentado a un índice medio de 1,8 (de 1,3 a 2,3) mm por año desde 1961 hasta 2003. El índice se aceleró desde el año 1993 hasta 2003, alrededor de 3,1 (de 2,4 a 3,8) mm por año. No queda claro si la aceleración del índice durante el período 1993-2003 refleja una variabilidad decenal o bien un incremento en la tendencia a más largo plazo. Existe una gran fiabilidad de que el índice observado de la subida del nivel del mar ha aumentado del siglo XIX al XX. Se estima que el incremento total correspondiente al siglo XX es de 0,17 (de 0,12 a 0,22) m {5.5}.

Fuente: IPCC (2007a): *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: The Physical Science Basis.* Cambridge, EE UU: Cambridge University Press. Versión catalana del Resumen para responsables políticos: www.ipcc.ch/ipccreports/translation.htm, pág. 17. Véase también la nota 4 de este capítulo.

Las causas del calentamiento

Un tema crucial es el relativo a la contribución de la actividad humana al fenómeno del calentamiento. El aumento de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) provoca un incremento de la concentración de este gas en la atmósfera, lo que genera un aumento de la temperatura media de la superficie del planeta y de la atmósfera. En este proceso juega un papel importante el llamado *efecto invernadero,* que examinaremos más adelante. El incremento de la temperatura media de la atmósfera y de la superficie del planeta provoca la transformación del clima. En rigor, el papel del dióxido de carbono no es exclusivo, ya que otros gases en la atmósfera, como el metano (CH_4), los llamados CFC, el óxido nitroso (N_2O) y también el vapor de agua, contribuyen al proceso. Para simplificar el texto nos referiremos únicamente al dióxido de carbono o, sencillamente, al carbono.

Desde el inicio de la Revolución Industrial, las emisiones de dióxido de carbono –originadas básicamente por la combustión de combustibles fósiles– han causado un aumento importante de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera; este fenómeno provoca un incremento de la temperatura de la atmósfera, ya que las moléculas de CO_2 retienen una parte de las radiaciones infrarrojas y, al crecer la concentración de CO_2, la temperatura aumenta.

Gráfico 1.1 Evolución histórica de las temperaturas

Cambios en la temperatura, el nivel del mar y la innivación en el hemisferio norte

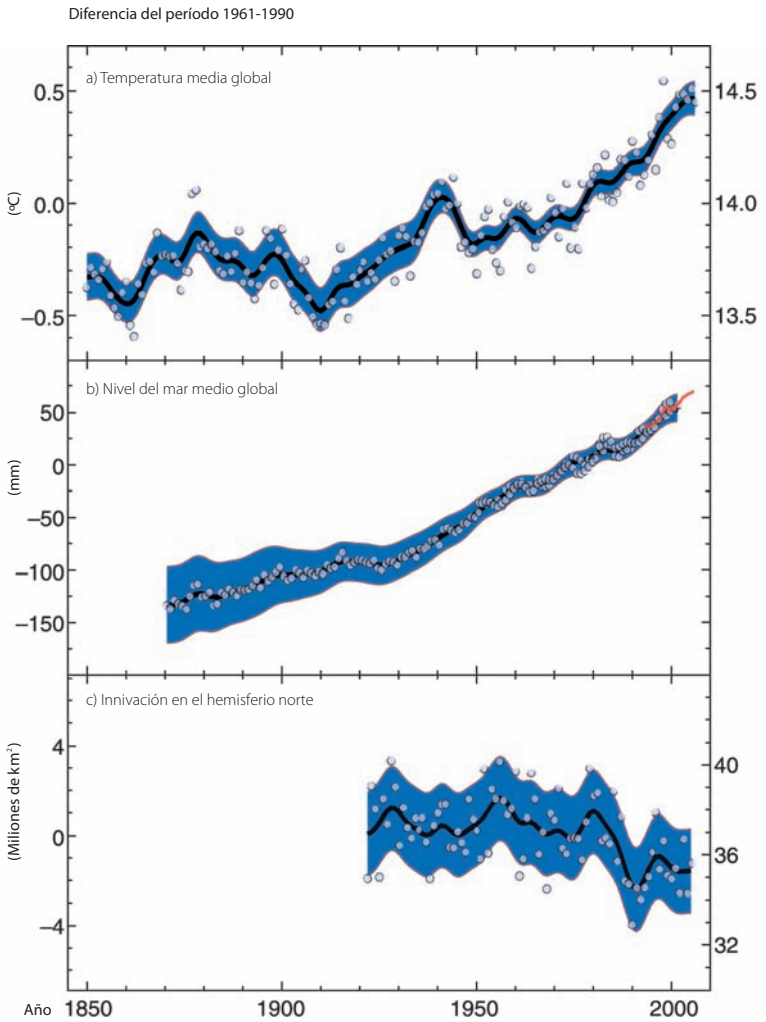


Figura SPM.3. Cambios observados en: (a) temperatura de la superficie global media; (b) aumento del nivel del mar medio global a partir de datos registrados con mareógrafos (azul) y por satélite (rojo), y (c) innivación del hemisferio norte para los meses de marzo-abril. Todos los cambios se expresan en relación con las medias correspondientes para el período 1961-1990. Las curvas alisadas representan valores medios decenales, mientras que los círculos muestran los valores anuales. Las superficies sombreadas son los intervalos de incertidumbre estimados a partir de un análisis exhaustivo de incertidumbres conocidas (a y b) y de las series temporales (c) {FAQ 3.1, figura 1, figura 4.2 y figura 5.13}.

Fuente: IPCC (2007a): *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: The Physical Science Basis.* Cambridge, EE UU: Cambridge University Press. Versión catalana del Resumen para responsables políticos: www.ipcc.ch/ipccreports/translations.htm, pág. 18. Véase también la nota 4 de este capítulo.

La intervención humana en el proceso –su componente antropogénico– merece la siguiente formulación por parte del *FAR*, recogida en la ficha 1.3.

Ficha 1.3 Origen del incremento de la temperatura

La mayor parte del incremento observado en las medias globales de las temperaturas desde mediados del siglo XX es debido muy probablemente al incremento de las concentraciones de gas con efecto invernadero de origen antropogénico. Esto representa un avance desde la conclusión del Tercer Informe de Evaluación, en el sentido de que «la mayor parte del calentamiento observado a lo largo de los últimos 50 años es probablemente debido al aumento de las concentraciones de gas con efecto invernadero». Las influencias humanas discernibles se hacen extensivas a otros aspectos del clima, incluidos el calentamiento oceánico, la media continental de las temperaturas, las temperaturas extremas y los patrones de viento (véase la figura SPM-4 y la tabla SPM-2) {9.4, 9.5}.

Fuente: IPCC (2007a): *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: The Physical Science Basis.* Cambridge, EE UU: Cambridge University Press. Versión catalana del Resumen para responsables políticos: www.ipcc.ch/ipccreports/translations.htm, pág. 22. Véase también la nota 4 de este capítulo.

Evolución futura de la temperatura

EL IPCC –y también otras instituciones y varios expertos[8]– han formulado proyecciones relativas a la evolución futura de la temperatura media. La ficha 1.4 y el gráfico 1.2 expresan las proyecciones del IPCC hasta finales del siglo XXI para diferentes escenarios; en ellas se presentan los datos relativos al aumento de la temperatura (y también al incremento del nivel del mar). Concretamente, la ficha incluye el *mejor valor estimado y el intervalo de probabilidad* relativos a siete escenarios, incluido el que corresponde al mantenimiento de las concentraciones de dióxido de carbono al nivel del año 2000. El intervalo probable oscila entre los 0,3-0,9 grados centígrados del primer caso y los 2,4-6,4 grados del último.

Ficha 1.4 Proyecciones del cambio de temperatura y del nivel del mar

Tabla SPM.3. Proyecciones del calentamiento superficial medio global y aumento del nivel del mar a finales del siglo XXI {10.5, 10.6, tabla 10.7}.

CASO	CAMBIO DE TEMPERATURA (°C EN EL PERÍODO 2090-2099 EN RELACIÓN CON EL PERÍODO 1980-1999)[a]		AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR (m EN EL PERÍODO 2090-2099 EN RELACIÓN CON EL PERÍODO 1980-1999)
	MEJOR VALOR ESTIMADO	INTERVALO PROBABLE	INTERVALO BASADO EN MODELOS, EXCLUIDOS LOS FUTUROS CAMBIOS DINÁMICOS RÁPIDOS DEL FLUJO DE HIELO
Concentraciones constantes del año 2000[b]	0,6	0,3-0,9	NP
Escenario B1	1,8	1,1-2,9	0,18-0,38
Escenario A1T	2,4	1,4-3,8	0,20-0,45
Escenario B2	2,4	1,4-3,8	0,20-0,43
Escenario A1B	2,8	1,7-4,4	0,21-0,48
Escenario A2	3,4	2,0-5,4	0,23-0,51
Escenario A1FI	4,0	2,4-6,4	0,26-0,59

a) Estas estimaciones se evalúan a partir de una clasificación jerárquica de modelos que incluye un modelo climático sencillo, varios modelos de sistema terrestre de complejidad media y un gran número de modelos de circulación general atmosférica y oceánica (AOGCM).
b) La composición constante del año 2000 sólo proviene de los AOGCM.

Fuente: IPCC (2007a): *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: The Physical Science Basis.* Cambridge, EE UU: Cambridge University Press. Versión catalana del Resumen para responsables políticos: www.ipcc.ch/ipccreports/translations.htm, pág. 25. Véase también la nota 4 de este capítulo.

8. Para una caracterización de los diversos escenarios, véase IPCC (2007a), capítulo II.

Gráfico 1.2 Previsiones de evolución de las temperaturas

Medias multimodelo e intervalos evaluados del calentamiento superficial

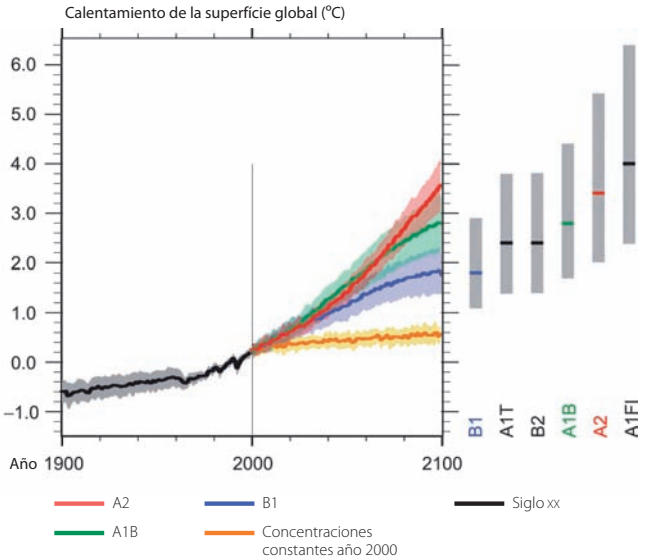


Figura SPM.5. Las líneas continuas son medias globales multimodelo del calentamiento de la superficie (en relación con el período 1980-1999) para los escenarios A2, A1B y B1, representadas como continuaciones de las simulaciones del siglo xx. El sombreado indica el intervalo de desviación estándar (+1) de las medias anuales del modelo individual. La línea naranja corresponde al experimento donde las concentraciones se han mantenido constantes a los valores del año 2000. Las barras grises de la derecha indican la mejor estimación (línea continua dentro de cada barra) y el intervalo probable evaluado para los seis escenarios de referencia del informe SRES. La evaluación del mejor valor estimado y de los intervalos probables en las barras grises incluye los AOGCM a la izquierda de la figura, así como los resultados de una clasificación jerárquica de modelos independientes y restricciones observacionales (figuras 10.4 y 10.29).

Fuente: IPCC (2007a): *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge, EE UU: Cambridge University Press. Versión catalana del Resumen para responsables políticos: www.ipcc.ch/ipccreports/translations.htm, pág. 26. Véase también la nota 4 de este capítulo.

1.2. Las emisiones de CO_2

1.2.1. Evolución

Las emisiones de dióxido de carbono han aumentado desde el inicio de la Revolución Industrial. La ficha 1.5 ilustra su evolución, expresadas en gigatones.[9]

Las emisiones de gases de efecto invernadero de Estados Unidos y de China son actualmente similares, aunque las emisiones anuales por habitante en Estados Unidos son superiores en casi un 50%. Siguen en la lista de emisiones globales Rusia, India y Japón por este orden. Todas las previsiones indican que China superará ampliamente a Estados Unidos durante los próximos años. El orden previsto para 2020 es el siguiente: China, Estados Unidos, India, Rusia y Japón.

9. Gigatones: miles de millones de toneladas.

Ficha 1.5 Evolución de las emisiones de GEI

B. TENDENCIAS EN LAS EMISIONES DE GASES CON EFECTO INVERNADERO

2. Las emisiones de gases con efecto invernadero (GEI) han aumentado desde la época preindustrial, con un incremento del 70% entre 1970 y 2004 (amplio acuerdo, mucha evidencia).[1]

- Desde la época preindustrial, las emisiones crecientes de GEI causadas por las actividades humanas han llevado a un incremento importante de las concentraciones de GEI en la atmósfera [1.3; Resumen del Grupo de Trabajo I].
- Entre 1970 y 2004, las emisiones globales de CO_2, CH_4, N_2O, HFC, PFC y SF_6, ponderadas por su potencial de calentamiento global (PCG), han aumentado en un 70% (un 24% entre 1990 y 2004), de 28,7 a 49,0 gigatones de equivalentes de dióxido de carbono (Gt eq-CO_2).[2] La definición de equivalente de dióxido de carbono (eq-CO_2) es la cantidad de emisiones de CO_2 que provocaría el mismo forzamiento radioactivo que una determinada cantidad emitida de un gas con efecto invernadero bien mezclado o una mezcla de gases con efecto invernadero, multiplicados por sus respectivos PCG para tener en cuenta los diferentes tiempos que se mantienen en la atmósfera [Glosario del IA4 del Grupo de Trabajo I] (véase la figura SPM.1). Las emisiones de estos gases han aumentado a ritmos diferentes. Las emisiones de CO_2 han crecido aproximadamente en un 80% entre 1970 y 2004 (un 28% entre 1990 y 2004) y representaron un 77% de las emisiones antropogénicas totales de GEI en el año 2004.

Fuente: IPCC (2007c): *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*. Cambridge, EEUU: Cambridge University Press. Versión catalana del Resumen para responsables políticos: www.ipcc.ch/ipccreports/translation.htm, pág. 59. Véase también la nota 4 de este capítulo.

Para España, las emisiones de GEI han crecido un 52,3% en 2007 en relación al año 1990. La tendencia al incremento ha dejado paso a una estabilización durante los años 2005, 2006 y 2007.

A nivel de comunidades autónomas, las emisiones totales en términos de toneladas-equivalentes de CO_2 eran en el año 2006 de 433.339 toneladas. Las emisiones por habitante son muy dispares, lo que refleja la variedad de las estructuras de la actividad económica.[10]

El gráfico 1.3 permite visualizar la evolución comparativa de las emisiones con diferentes magnitudes en forma de índices (nivel unidad correspondiente al año 2000).[11]

Emisiones e impactos, directos e indirectos

En relación con la cuantificación de las emisiones y de los impactos, es importante diferenciar las emisiones asociadas a la demanda final de las generadas por la producción necesaria para satisfacer esta demanda final. Para identificar y calcular los impactos totales también es importante diferenciar entre los impactos directos y los indirectos.

Así, por ejemplo, cuando se hace referencia a un automóvil impulsado por una pila de hidrógeno y se afirma que no contamina por la emisión dióxido de carbono, no se menciona el proceso de producción del hidrógeno, que requiere romper –mediante una aportación energética– la molécula de agua. En rigor, hay pues que añadir este gasto energético de forma sistemática y evaluar también las emisiones generadas en el proceso de producción de los bienes de capital necesarios. Así mismo, hay que identificar las emisiones generadas por la producción eléctrica necesaria para producir la electricidad requerida para producir la electricidad que carga las baterías de los coches eléctricos.

10. Véase Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (www.marm.es).
11. Véase también el capítulo VII.

Gráfico 1.3 Evolución comparativa de las emisiones de CO_2 y otras magnitudes

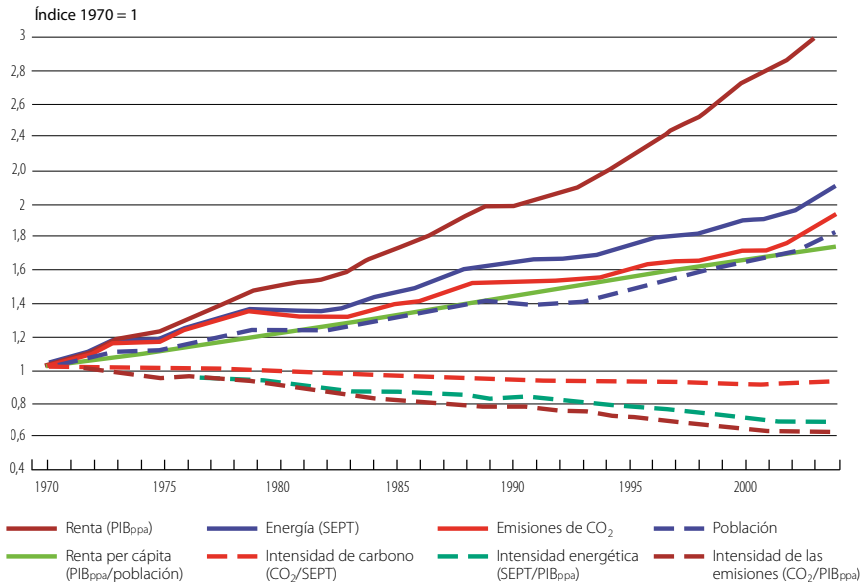


Figura SPM.2. Evolución global relativa, para el período 1970-2004, del producto interior bruto medido en paridad de poder adquisitivo (PIBppa), del suministro de energía primaria total (SEPT), de las emisiones de CO_2 (procedentes de la combustión de combustibles fósiles, quema de emisiones de gas y fabricación de cemento) y de la población. Además se indica con líneas punteadas la evolución de la renta per cápita (PIBppa/población), la intensidad energética (SEPT/PIBppa), la intensidad de carbono y del suministro de energía (CO_2/SEPT) y la intensidad de las emisiones de los procesos productivos (CO_2/PIBppa) [Figura 1.5].

Fuente: IPCC (2007c): *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change.* Cambridge, EEUU: Cambridge University Press. Versión catalana del resumen para responsables políticos: www.ipcc.ch/ipccreports/translation.htm, pág. 62. Véase también la nota 4 de este capítulo.

Como es sabido, el modelo empírico *input-output* permite estimar los efectos indirectos de las emisiones generadas por los diversos elementos que componen la demanda final. Estas cues-tiones han sido tratadas por Manresa y Sancho,[12] y también por Alcántara, Padilla y Roca.[13] El trabajo de Manresa, Sancho y Vegara[14] contiene una metodología general que permite calcular la cantidad –directa o indirecta– de cualquier *input*, producido o no, incorporado en cualquier producto, sea de trabajo, de energía o de carbono, por ejemplo.

1.2.2. El efecto invernadero

La energía solar que llega al planeta es parcialmente reflejada por su superficie. Ahora bien, la presencia de varios gases en la atmósfera –en especial el dióxido de carbono, pero también el metano (CH_4), los llamados CFC, el óxido nitroso (N_2O) y también el vapor de agua– reflejan hacia la superficie parte de esta energía solar, del mismo modo que suce-

12. Manresa, A. y Sancho, F. (1997).
13. Alcántara, Padilla y Roca (2007).
14. Véase Manresa, A., Sancho, F. y Vegara, J. M. (1998) y Vegara, J. M. (1979).

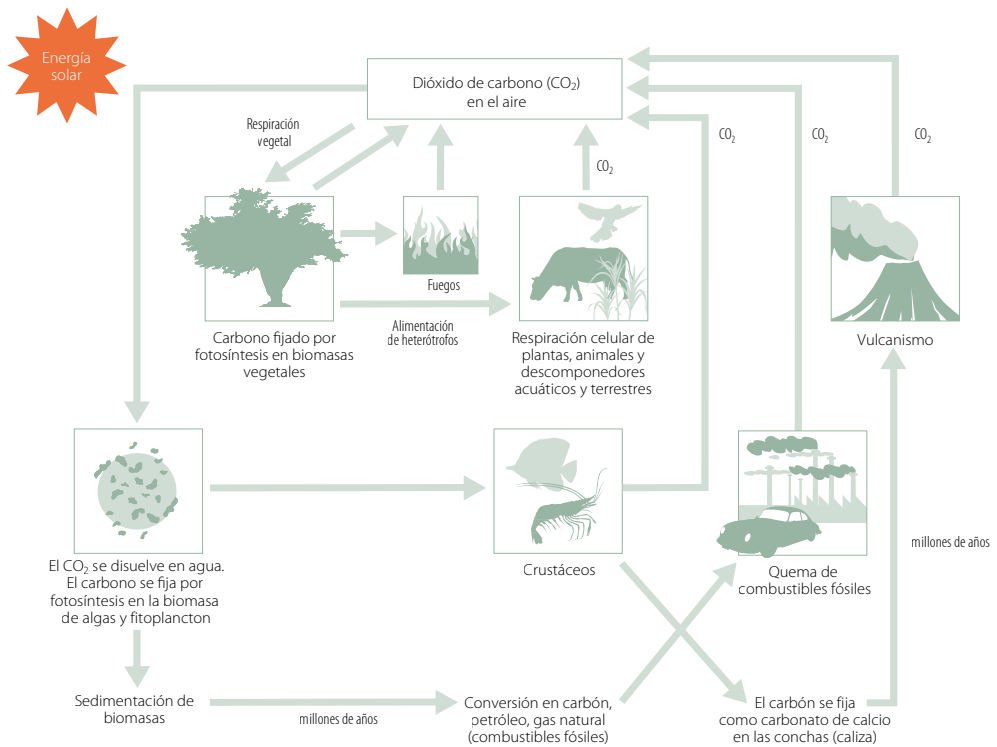
de en un invernadero utilizado para acelerar la maduración de flores: por eso se habla del *efecto invernadero*. Entonces, si aumenta la concentración en la atmósfera de los llamados *gases de efecto invernadero* (GEI), al incrementarse la parte de la energía solar reflejada, se provoca un aumento adicional de la temperatura media de la atmósfera. El proceso opera de la misma forma que un invernadero convencional.

1.2.3. El ciclo del carbono

Este conjunto de interacciones debe ser analizado en el marco del llamado *ciclo del carbono,* que refleja la visión integral de los flujos del carbono –adiciones y sustracciones–, así como la evolución de los *stocks* resultantes, y que se puede contemplar en el gráfico 1.4.

Destaca el papel de la vegetación, que –mediante la función clorofílica– absorbe carbono utilizando la energía solar. La vegetación y también los océanos absorben cerca de la mitad de las emisiones, las cuales han roto el equilibrio natural del ciclo del carbono mediante una aportación exógena del mismo.

Gráfico 1.4 **El ciclo del carbono**



Fuente: Vegara, J. M. (coord.); Barracó, H.; Colldeforns, M.; Relea, F. y Rodríguez, P. (2004): *Introducción al Medio Ambiente y a la Sostenibilidad*. Barcelona: Vicens Vives, pág. 30.

1.3. El *stock* y la circulación

Stock y circulación: relevancia

La fuerte dinámica, la alta circulación general de la atmósfera, facilita extraordinariamente la difusión de los gases de efecto invernadero, de forma que el nuevo flujo de emisiones se distribuye rápidamente por toda la atmósfera, tendiendo a uniformizar las concentraciones.

Así mismo, el período de permanencia en la atmósfera de las moléculas de dióxido de carbono es muy elevado, de manera que el impacto en el proceso del cambio climático no lo genera el flujo neto de emisiones, sino el *stock acumulado*. Este fenómeno agrava las dificultades del proceso de reducción de la *concentración de dióxido de carbono*, factor clave del proceso de cambio climático.

El dióxido de carbono tiene una notable permanencia en la atmósfera; por eso son relevantes el *stock* residente y las emisiones netas –o sea, las emisiones brutas menos las absorciones naturales (de los bosques y el océano, por ejemplo)– que incrementan el *stock*.

1.4. Los impactos

El aumento de la temperatura de la superficie del planeta y de la atmósfera provoca cambios en el clima, lo que conlleva varios efectos, como la fusión de glaciares y del hielo ártico. El aumento del nivel del mar causado por la dilatación térmica y la fusión del hielo es un impacto cargado de consecuencias patentes sobre las zonas costeras, los deltas y las islas pequeñas del Pacífico, donde provoca importantes movimientos de población. También habrá impactos sobre el régimen de lluvias, la malnutrición y el estrés térmico, y se producirán daños irreversibles en diferentes ecosistemas. Por el contrario, el aumento de la temperatura puede tener consecuencias positivas sobre la productividad de ciertos cultivos agrícolas.

Una de las características importantes de los impactos es su variación *regional*, por grandes áreas. No es lo mismo un aumento de 2 °C en una zona cálida que el mismo aumento de temperatura en Siberia, donde puede provocar el deshielo del suelo congelado (*defrost*), fenómeno cargado de consecuencias. El deshielo de zonas árticas abrirá nuevas vías de tránsito marítimo y también acarreará conflictos internacionales por el control de los recursos submarinos de la zona.

El volumen II del *FAR* del IPCC contiene una explicación exhaustiva del tema. A continuación se reproducen dos cuadros resumen en la ficha 1.6.[15]

15. El Informe Stern, en sus capítulos 3 a 6, presenta un resumen del tema. El libro de Folch, R. (2008) contiene una presentación pedagógica de los impactos sobre el clima.

Ficha 1.6 Ejemplos de posibles impactos específicos según el IPCC

Tabla SPM.1. Ejemplos de los posibles impactos del cambio climático debido a los cambios en los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, según proyecciones de mediados-finales del siglo XXI. No se tienen en cuenta los posibles cambios o desarrollos en la capacidad adaptativa. Se pueden encontrar ejemplos de todos estos datos en los capítulos de la evaluación completa (véase la fuente indicada en la parte superior de las columnas). Las dos primeras columnas de esta tabla (sombreadas en amarillo) se extraen directamente del Resumen para los responsables políticos del Grupo de Trabajo I (tabla SPM.2). Las estimaciones de probabilidad de la columna 2 se refieren a los fenómenos relacionados en la columna 1.

FENÓMENOS Y DIRECCIÓN DE LA TENDENCIA[a)]	LA PROBABILIDAD DE LAS TENDENCIAS FUTURAS BASADA EN PRONÓSTICOS PARA EL SIGLO XXI MEDIANTE EL USO DE ESCENARIOS DEL INFORME SRES	EJEMPLOS DE LOS PRINCIPALES IMPACTOS PREVISTOS POR SECTORES			
		AGRICULTURA, SILVICULTURA Y ECOSISTEMAS [4.4, 5.4]	RECURSOS HÍDRICOS [3.4]	SALUD HUMANA [8.2, 8.4]	INDUSTRIA/ ASENTAMIENTOS/ SOCIEDAD [7.4]
Días y noches más calurosos y menos fríos; más frecuencia de días y noches más calurosos y cálidos en la mayor parte de los territorios	Virtualmente seguro[b)]	Incremento del rendimiento de las cosechas en entornos más fríos; reducción del rendimiento de las cosechas en entornos más cálidos; proliferación de las plagas de insectos	Efectos sobre los recursos hídricos dependientes de la fusión de la nieve; efectos en algunos abastecimientos de agua	Reducción de la mortalidad humana debido a la inferior exposición al frío	Reducción de la demanda energética para calefacción; incremento de la demanda de refrigeración; disminución de la calidad del aire en las ciudades; reducción de la disrupción del transporte debido a la nieve y el hielo; efectos sobre el turismo invernal
Frentes cálidos/ olas de calor. Aumento de la frecuencia en la mayor parte de los territorios	Muy probable	Reducción del rendimiento de las cosechas en las regiones más cálidas debido a las olas de calor; aumento del peligro de incendios forestales	Más demanda de agua; problemas con la calidad del agua, como por ejemplo brotes de algas	Incremento del riesgo de mortalidad relacionada con el calor, especialmente para la gente mayor, los enfermos crónicos y las personas muy jóvenes y socialmente aisladas	Reducción de la calidad de vida de las personas que viven en regiones cálidas sin gozar de las viviendas adecuadas; impactos sobre la gente mayor, las personas muy jóvenes y los pobres
Episodios de fuertes precipitaciones. Aumento de la frecuencia en la mayoría de zonas	Muy probable	Daños en las cosechas; erosión del suelo; imposibilidad para la plantación de cultivos debido al terreno anegado	Efectos adversos en la calidad de las aguas de superficie y las aguas subterráneas; contaminación del suministro de agua; la escasez de agua se puede aliviar	Aumento del riesgo de muertes, daños, enfermedades infecciosas, respiratorias y cutáneas	Perturbación de los asentamientos, comercio, transporte y sociedades debido a las inundaciones; presiones sobre las infraestructuras urbanas y rurales; pérdidas en la propiedad

Ficha 1.6 Ejemplos de posibles impactos específicos según el IPCC (continuación)

FENÓMENOS Y DIRECCIÓN DE LA TENDENCIA[a]	LA PROBABILIDAD DE LAS TENDENCIAS FUTURAS BASADA EN PRONÓSTICOS PARA EL SIGLO XXI MEDIANTE EL USO DE ESCENARIOS DEL INFORME SRES	EJEMPLOS DE LOS PRINCIPALES IMPACTOS PREVISTOS POR SECTORES			
		AGRICULTURA, SILVICULTURA Y ECOSISTEMAS [4.4, 5.4]	RECURSOS HÍDRICOS [3.4]	SALUD HUMANA [8.2, 8.4]	INDUSTRIA/ ASENTAMIENTOS/ SOCIEDAD [7.4]
Aumenta el área afectada por la sequía	Probable	Degradación del suelo, reducción del rendimiento de las cosechas/ daños en los cultivos e incapacidad de cultivar; incremento de las muertes del ganado; más riesgo de incendios forestales	Estrés hídrico generalizado	Más riesgo de escasez de alimentos y agua; más riesgo de malnutrición; más riesgo de enfermedades transmitidas por el agua y los alimentos	Escaseces de agua para los asentamientos, la industria y las sociedades; reducción de los potenciales de generación hidroeléctrica; potencial de migración de la población
Aumento de la actividad de los ciclones tropicales intensos	Probable	Daños en las cosechas; desarraigo por el viento (descuaje) de los árboles; daños en los arrecifes de coral	Los cortes de corriente causan alteraciones en el suministro público de agua	Más riesgo de muertes, daños y enfermedades transmitidas por el agua y los alimentos; trastornos por estrés postraumático	Alteración por las inundaciones y los fuertes vientos; retirada de la cobertura de riesgo en regiones vulnerables por parte de las aseguradoras privadas; potencial de migraciones de la población; pérdidas en la propiedad
Más incidencia del nivel del mar, extremadamente alto (excluidos los *tsunamis*)[c]	Probable[d]	Salinización del agua de irrigación, los estuarios y los sistemas de agua dulce	Disminución de la disponibilidad de agua dulce debido a la intrusión de agua salada	Más riesgo de muertes y daños por ahogamiento en las inundaciones; efectos sanitarios relacionados con la migración	Costes de la protección del litoral frente a los costes del traslado de los usos del suelo; potencial para el movimiento de las poblaciones y las infraestructuras; véase también, arriba, los ciclones tropicales

a) Véase la tabla 3.7 del Cuarto Informe de Evaluación del Grupo de Trabajo I para consultar las definiciones.
b) Calentamiento de los días y las noches más extremo cada año.
c) El nivel del mar extremadamente alto depende del nivel medio del mar y de los sistemas climáticos regionales. Aquí se define como el 1% más alto de los valores horarios del nivel del mar observados en una estación durante un período de referencia concreto.
d) En todos los escenarios, el nivel medio del mar global previsto para 2100 es más alto que en el período de referencia [Cuarto Informe de Evaluación del Grupo de Trabajo I 10.6]. El efecto de los cambios en los sistemas climáticos regionales sobre los extremos del nivel del mar no se ha evaluado.

Fuente: IPCC (2007b): *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.* Cambridge, EE UU: Cambridge University Press. Versión catalana del Resumen para responsables políticos: www.ipcc.ch/ipccreports/translation.htm, pág. 48-49. Véase también la nota 4 de este capítulo.

II. Un fallo del mercado global

Josep M. Vegara

2.1. Externalidades y bienes públicos

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) constituyen una externalidad global y el clima es un bien público, según los esquemas conceptuales del análisis económico. Por este motivo, el análisis de las externalidades y de los bienes públicos permite clarificar los aspectos básicos que explican el componente humano del cambio climático. Para tratar estos dos temas resulta útil distinguir, inicialmente, el conjunto de conceptos básicos[1] siguientes:

- **Derechos de propiedad:** son las instituciones que regulan las formas de apropiación de los diversos bienes y recursos. La propiedad puede ser individual o colectiva, privada o pública.[2]
- **Exclusión:** la capacidad de impedir que un agente pueda apropiarse de, o bien, utilizar una mercancía determinada.
- **Rivalidad en el consumo:** existe rivalidad en el consumo cuando el consumo de un bien por parte de un consumidor o empresa disminuye la cantidad disponible para los demás (el consumo de una mercancía corriente –un café, unos zapatos– excluye a los demás consumidores).
- **Costes de transacción:** conjunto de costes generados por una transacción mercantil, comercial. Incluye los costes de información sobre las características físicas y de los derechos de propiedad adquiridos, así como las condiciones de precio y de cumplimiento del contrato formal o informal (gestión del mantenimiento o de las posibles reclamaciones, etc.).

Externalidades

Las externalidades pueden ser *positivas* (la vacuna contra la malaria es una externalidad positiva pues, a parte del efecto preventivo sobre la persona vacunada, la vacuna reduce el riesgo de contagio para las demás personas) o *negativas* (cualquier forma de polución constituye un ejemplo de externalidad negativa); las actividades de investigación y de educación, por ejemplo, generan importantes externalidades positivas. Por otra parte, las externalidades que afectan a la producción o al consumo se denominan *externalidades técnicas*; las que sólo afectan a las rentas reciben el nombre de *externalidades pecuniarias*.

1. Dado que en este capítulo no se pretende profundizar en la cuestión energética, y con el objetivo de simplificar la exposición, no nos referiremos al tema de los recursos naturales no reproducibles. Sobre este tema resulta útil consultar Dasgupta, D. y Heal, G. (1979), Kahn, J. R. (1998) y Pearce, D. y Turner, R. K. (1995), entre otros. Sí que haremos referencia, sin embargo, a los sistemas ecológicos de apoyo de la vida.
2. Respecto al complejo tema de los derechos de propiedad sobre los sistemas ecológicos, véase Hanna, S. S., Folke, C. y Mäler, K.-G. (1996).

Los agentes que producen los efectos externos negativos no pagan la totalidad de los costes que generan y no tienen, por lo tanto, ningún incentivo para rehuir o eliminar la externalidad. Éste es el caso de los costes derivados de la descontaminación de las aguas vertidas al río. En estos casos, los agentes deciden sobre el nivel de contaminación sin considerar sus efectos. Las medidas correctoras de las externalidades (impuestos ecológicos, estándares, etc.) pretenden que los agentes que las provocan las internalicen y, en consecuencia, modifiquen su comportamiento.

Las externalidades pueden ser locales o globales. Un ruido producido por una instalación fabril tiene unos impactos en un área determinada, con unos efectos que decrecen en función de la distancia al punto emisor: se trata de una *externalidad local.* Las emisiones de dióxido de carbono tienen otro carácter: consideradas las características mencionadas en el capítulo I, sus efectos son independientes del punto de emisión, ya que el aumento de la concentración de carbono resultante se uniformiza a nivel de toda la atmósfera. Las emisiones de GEI constituyen una *externalidad global.*

Los bienes públicos

Cuando un bien tiene las características de un bien público, no hay oferta privada porque no existen los incentivos económicos necesarios. En primer lugar, la posibilidad de apropiación del bien público sin pagar un precio conduce a un precio cero. En estas condiciones, el sector privado no proporcionará el bien público –mediante el mercado– y, en consecuencia, la oferta de bienes públicos será insuficiente o simplemente no existirá. Un ejemplo clásico de bien público es –como ya se ha explicado– la defensa de un país; consideradas las tecnologías de defensa, el coste adicional de proteger a un ciudadano es nulo y, por otra parte, no es viable excluir a nadie de la protección defensiva. Otro ejemplo son los faros que transmiten información relevante para la navegación.

Los bienes públicos implican que los consumidores o las empresas no tienen ningún incentivo para revelar sus preferencias relativas a ellos, porque esperan que, en definitiva, habrá oferta (privada o pública). Este comportamiento corresponde al llamado *free rider* (*polizón*), que viaja sin billete.

Por otra parte, una *reducción de emisiones* de GEI tiene las características de un bien público global, pues no existe rivalidad en el consumo de las nuevas condiciones atmosféricas –el carácter global ya se ha comentado previamente– y tampoco se puede producir exclusión de las mismas; por lo tanto, habrá polizones.

Es relevante destacar que, en general, muchas mejoras ambientales tienen carácter de bienes públicos: por ejemplo, es prácticamente imposible excluir a nadie de gozar de los resultados de una calidad ambiental (del aire, por ejemplo) y, por otra parte, el precio de gozar de ésta es cero. Como en el caso de los bienes públicos, los coloquialmente llamados *males públicos* –que producen desutilidad a los consumidores o pérdidas a las empresas– se caracterizan por el hecho de que no existe la posibilidad de exclusión del uso y tampoco hay rivalidad

(es el caso del calentamiento global o de las emisiones de CO_2, por ejemplo; también es el caso de la polución química o sonora). En este contexto, el propio clima (si es satisfactorio) se puede considerar como un *bien público global*:[3] cumple las condiciones de la definición en términos de no-exclusión y ausencia de rivalidad. Gallástegui y González caracterizan el clima en los siguientes términos:

«El clima de la Tierra es además un bien público puro de naturaleza global, aspecto que (…) genera serios problemas en su gestión al no existir un organismo regulador con competencias sobre el mismo. Otro hecho que complica la gestión del clima de la Tierra es que, al tratarse de un bien público, no existen derechos de propiedad asignados a este bien, con lo que hay menos incentivos para cooperar en su preservación tal y como la naturaleza nos lo proporciona.»[4]

2.2. Las condiciones de existencia de mercados

Las externalidades y los bienes públicos están asociados a la ausencia de mercados de los bienes correspondientes.

El problema de las externalidades es un caso particular de la incapacidad de existencia de determinados mercados. Las externalidades surgen porque no existen ciertos mercados, como es el caso del mercado del carbono. Como consecuencia, los precios de los productos que generan la externalidad son inferiores a los niveles que estarían vigentes si incorporasen el coste de la externalidad; esto genera distorsiones en el sistema de precios y también reduce el incentivo para innovar en tecnologías alternativas que reduzcan las emisiones. Por eso se habla de *fallos del mercado, estáticos y dinámicos.*[5]

Los *mercados* son instituciones sociales en las que se intercambian voluntariamente dos mercancías o, más a menudo, mercancías por dinero.[6] Para que las transacciones mercantiles sean regulares, es decir, no esporádicas, son necesarias determinadas condiciones, en especial la *apropiabilidad* de las mercancías y también unos *costes de transacción* reducidos. Los componentes de los costes de transacción son, básicamente, los costes de búsqueda y de información, de negociación, de formalización y de cumplimiento.

Así pues, las causas básicas de la ausencia de mercados hay que buscarlas en los siguientes aspectos:

3. Véase Gallástegui, C. y González, M. (2008).
4. Gallástegui, C. y González, M. (2008), pág. 58.
5. En relación a los aspectos más teóricos y generales, Arrow destaca que la teoría económica moderna ha refinado gradualmente las condiciones por las que el sistema de precios puede no conducir a una asignación eficaz u óptima de los recursos. La mayor parte de las discusiones han girado alrededor de tres razones principales: indivisibilidades, no apropiabilidad e incertidumbre, y alrededor de conceptos: rendimientos crecientes, externalidades, bienes públicos, costes de transacción y fallos del mercado, que permiten, entre otros, acotar la insuficiencia o los límites de la validez teórica del sistema de precios cuando ciertas acciones, aunque puedan producir una ventaja privada, pueden acabar provocando un coste social neto. Arrow, K. E. (1985), pág. 64. Sobre las implicaciones en el equilibrio general, véase Mas-Colell, A. y Whinston, D. W. (1995), Cap. II.
6. La teoría del equilibrio general supone que existen todos los mercados necesarios, incluso los de las externalidades y los de futuros. Arrow, pág. 66.

- **Costes de búsqueda y de información:** asociados a la detección de oferentes o de demandantes y conocer sus condiciones; las características de las mercancías y las condiciones de la transacción, etc. Cuando hay información asimétrica entre la parte compradora y la vendedora –como suele pasar en el caso de los coches de segunda mano no certificados– es difícil que existan los mercados correspondientes.[7]

- **Costes de negociación:** son muy diferentes según el tipo de mercado y, en especial, el número de agentes; por ejemplo, el coste de negociación es nulo en el caso de un supermercado; puede ser elevado –en términos de tiempo– en una tienda turca de alfombras.

- **Costes de formalización:** del simple hecho del intercambio como formalización de la operación en un comercio de Barcelona, por ejemplo, a las complejidades del pago a crédito o los costes adicionales si hace falta la intervención de un fedatario público.

- **Costes de cumplimiento:** las condiciones de mantenimiento y la entrega de recambios, en el caso de los bienes duraderos; la gestión de las eventuales reclamaciones afectan a los costes reales; las eventuales sanciones, también.

En este contexto, resulta pertinente plantearse cómo es posible que hayan aparecido los llamados *mercados de derechos/permisos de emisiones de GEI,* precisamente en el campo del medio ambiente, caracterizado por la ausencia de mercados importantes que serían necesarios para el funcionamiento global de la economía y del medio ambiente.

2.3. Los mercados de derechos de emisiones

Los mercados de derechos de emisiones de GEI constituyen un importante instrumento de las políticas de reducción de las emisiones; conviene, por lo tanto, analizar las condiciones que hacen posible la existencia de estos mercados.

En primer lugar hay que precisar que –como su nombre indica– la mercancía que se intercambia en estos mercados no es el dióxido de carbono u otros GEI, sino derechos para emitir determinadas cantidades de GEI. Estos mercados son instrumentos para alcanzar un objetivo cuantitativo de emisión máxima relativo a grupos determinados de emisiones. Una vez fijado este objetivo, una autoridad pública procede a distribuir inicialmente los derechos entre los agentes (las empresas). Este complejo proceso inicial es una de las condiciones de existencia y funcionamiento de los mercados de derechos de emisiones.

Dada la distribución inicial –gratuita o en régimen de subasta–, unos agentes están interesados en comprar más permisos –porque esta operación maximiza sus ganancias– y otros quieren venderlos, por la misma razón. Este proceso permite una asignación eficiente del esfuerzo reductor de emisiones.[8]

7. Véase Macho, I. y Pérez Castrillo, D. (2005).
8. Las primeras experiencias de mercados de permisos de emisiones se desarrollaron en Estados Unidos en relación con la contaminación por dióxido de azufre. El Protocolo de Kioto recogió este instrumento como herramienta principal respecto al objetivo de reducir las emisiones de GEI.

La apropiabilidad de los permisos viene facilitada por su naturaleza jurídica de derecho o permiso que es fácilmente apropiable y transmisible. La misma razón limita los costes de búsqueda y de información. Los costes de formalización no son elevados, dada la naturaleza estándar de los permisos. El sistema de verificación del cumplimiento del volumen de permisos asignados exige dispositivos de medida y procedimientos de certificación de las emisiones, y también conlleva el riesgo de multas.

Los mercados de permisos existen porque hay una autoridad pública que los establece y que controla la observancia de las asignaciones finales. Esta autoridad asume también parte de los costes de creación y funcionamiento de los mercados de permisos. El capítulo VI contiene un análisis profundizado de los mercados de permisos de emisiones.

2.4. Las características del problema y de las respuestas

Las especiales características del cambio climático tienen consecuencias sobre las características de las políticas diseñadas con la finalidad de hacerle frente. Tratándose de una externalidad global, planetaria, y en ausencia de autoridad internacional con capacidad de decisión operacional, la comunidad internacional ha desarrollado el llamado Protocolo de Kioto, que constituye el referente más claro y global de las políticas de los diferentes Estados que lo han firmado. Véase la ficha 2.2. Los capítulos VI y VII profundizan en el tema.

Una externalidad global exige medidas coordinadas a nivel planetario que permitan controlarla, de forma compatible con los intereses contrapuestos de los países subdesarrollados/emergentes y los desarrollados. Históricamente, son éstos los que han causado los efectos acumulativos –derivados del proceso de industrialización en un marco institucional determinado–, de forma que los primeros no quieren que las políticas del cambio climático les dificulten sumarse al proceso. Los países subdesarrollados y los emergentes no querían, pues, asumir los costes correspondientes, que serían un obstáculo adicional para seguir la trayectoria de la industrialización que habían llevado a cabo los países actualmente industrializados.

Por otra parte, la ausencia de autoridad internacional operativa deja a la cooperación internacional multilateral el grueso de la definición de las políticas, mientras que, en principio, los Estados asumen las funciones ejecutivas. Hacen falta, sin embargo, procedimientos que aseguren el cumplimiento y la confianza mutua en el respeto de las reglas de juego.

Este conjunto de condicionantes explica las características básicas del Protocolo de Kioto (PK). Después de dos años de negociaciones se celebró la Conferencia de las Partes de Kioto, que adoptó el llamado Protocolo de Kioto[9] en el año 1997, que estableció mecanismos de actuación por parte de organismos ya existentes.

La ausencia de Estados Unidos –el primer emisor mundial de GEI– modificó la eficacia final del PK.[10] Por otra parte, la presencia final de la Federación Rusa –que redujo sus emi-

9. Véanse las fichas 2.2 y 2.3.
10. PK = Protocolo de Kioto.

siones debido a su crisis industrial– facilitó derechos de emisión excedentes en el mercado internacional.

La vigencia del PK llega hasta el año 2012; actualmente ha empezado ya el proceso de su evaluación con vistas a hacer las propuestas correspondientes para el llamado *After-Kyoto*.

Ficha 2.1 El precedente de Kioto: Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (UNCED)

El proceso que condujo al Protocolo de Kioto arranca con la **Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (UNCED),** celebrada en Río de Janeiro en junio de 1992. La Conferencia había sido acordada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en el año 1989.

Antes, había habido un precedente importante: el Protocolo de Montreal (1987), relativo a la reducción de la capa de ozono causada por las emisiones de los aerosoles y que provocaba un aumento del riesgo de cáncer debido a las radiaciones solares. Fue un éxito, en buena parte debido a la disponibilidad de tecnologías alternativas, de sustitución. No es éste, precisamente, el caso de las emisiones de dióxido de carbono, el efecto invernadero y el cambio climático.

La Conferencia de Río reunió 178 gobiernos y generó los siguientes acuerdos, con fuerza legal para los firmantes:

1. La Convención Marco sobre el Cambio Climático. Es un texto que vincula legalmente, aunque no es operacional.

2. La Convención sobre la Diversidad Biológica. Es un texto que también vincula legalmente. Los acuerdos detallados después de éste no tienen fuerza legal, no constituyen tratados.

3. La Agenda 21.

4. La Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.

5. Los Principios sobre la Gestión de los Bosques.

La Convención Marco sobre el Cambio Climático fue adoptada el 9 de mayo de 1992 y se abrió a la firma en la Conferencia de Río. El mes de marzo de 1994 habían firmado la Convención Marco 189 países, llamados Partes. Prevé la posibilidad de adoptar protocolos más operacionales. La **Conferencia de las Partes (COP)** se reúne anualmente.

El debate de la Convención se centró en el artículo 2. Se adoptaron compromisos de información sobre emisiones, por ejemplo, respecto a las COP. Se definió un mecanismo de actuación, pero no se implementó.

La **primera Conferencia de las Partes de Berlín (COP1)** se celebró en el año 1995.

Ficha 2.2 El Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas

El Protocolo de Kioto (PK) fue aprobado el 11 de diciembre de 1997, y constituye un marco legal jurídico internacional para los países que lo han ratificado. El PK hace un tratamiento diferenciado de los países desarrollados y de los subdesarrollados o emergentes. Incluye compromisos cuantitativos para el período 2008-2012, concretamente, una reducción del 5%, al final del período, en relación a los niveles de 1990. Los objetivos afectan a los 38 países industrializados del Anexo I del Protocolo. Por otra parte, la UE es considerada como una unidad.

El PK incluye también los llamados Mecanismos Flexibles, es decir: a) los Mecanismos de Desarrollo Limpio (Clean Development Mechanisms-CDM) y b) la Implementación Conjunta (Joint Implementation-JI).

Los CDM permiten que los países industrializados ganen permisos de emisión mediante la financiación de proyectos limpios que reduzcan las emisiones en los países subdesarrollados.

Artículo 12. «a) …Las Partes no incluidas en el Anexo I se beneficiarán de las actividades de proyectos que tengan por resultado reducciones certificadas de las emisiones; y b) Las Partes incluidas en el Anexo I podrán utilizar las reducciones certificadas de emisiones resultantes de esas…»

La JI es bastante parecida al CDM, con la particularidad de que hace referencia a países –Partes– que están incluidos en el Anexo I y, por lo tanto, que deben cumplir objetivos de reducción cuantificados. Los créditos de emisiones derivados de actividades CDM se pueden incorporar a las cuotas de los permisos de emisión.

Artículo 6. «Implementación Conjunta entre Partes, Anexo I. A los efectos de cumplir los compromisos contraídos en virtud del artículo 3, toda Parte incluida en el Anexo I podrá transferir a cualquier otra de estas Partes, o adquirir de ella, las unidades de reducción de emisiones resultantes de proyectos encaminados a reducir las emisiones antropogénicas por las fuentes o incrementar la absorción antropogénica por los sumideros de los gases de efecto invernadero en cualquier sector de la economía…».

Así pues, los objetivos cuantitativos de reducción de emisiones pueden aumentarse mediante los efectos de los proyectos CDM y los JI. Son los mecanismos llamados de flexibilidad.

En marzo de 1998 se produjo la apertura del proceso de firma y ratificación por parte de los países. Hay reglas de juego relativas a la puesta en vigor del Protocolo. Aprobación, ratificación por parte de los Estados y puesta en vigor. Finalmente, supuso un marco legal internacional basado en la construcción de un consenso. De todos modos, EE UU no ratificó el PK. La Federación Rusa no lo firmó inicialmente, pero al final lo ratificó.

El Protocolo de Kioto fue aprobado el 11 de diciembre de 1997 y quedó pendiente de ratificación por las diversas Partes. Se adoptaron dos condiciones para que entrase en vigor: que fuera aprobado por 55 Partes del llamado Anexo A, las cuales representasen más del 55% del total de las emisiones de dióxido de carbono de las Partes relacionadas en el citado Anexo; el cumplimiento de las dos condiciones permitió la entrada en vigor del PK.

La Unión Europea acordó el 25 de abril de 2002 el cumplimiento conjunto de los compromisos del PK; se trata de una decisión cargada de consecuencias.

III. El análisis economía-cambio climático (I)

Josep M. Vegara

3.1. El análisis coste-beneficio

El análisis coste-beneficio (ACB) es una metodología para evaluar proyectos desde una óptica pública y, en consecuencia, requiere evaluar todos los costes y todos los beneficios, privados y sociales, que pueden derivar de la implantación de los proyectos. En el ACB se consideran relevantes sólo las preferencias de los consumidores afectados directa o indirectamente por las decisiones objeto de análisis.

El ACB se fundamenta en la teoría del excedente del consumidor de Hicks; en este marco, en ausencia de efectos externos, y en condiciones de competencia perfecta, los precios de mercado constituyen una buena medida de la *disposición a pagar*. La valoración monetaria de los impactos no está exenta de críticas, especialmente las relativas a los impactos no evaluados por los mercados. La metodología convencional implica considerar óptima la distribución de la renta vigente.

El ACB opera con magnitudes monetarias y, con esta finalidad, se han desarrollado procedimientos de evaluación (monetaria) de los impactos. El criterio de selección es el beneficio neto actualizado no negativo.

La presencia de efectos externos obliga a ajustar los precios de mercado porque éstos no constituyen indicadores del valor social. Es necesario, pues, calcular los llamados «precios sombra» (*shadow prices*), «precios de cálculo» o «precios sociales», que incorporan los costes sociales. La disposición de precios sombra es aún más indispensable cuando intervienen bienes para los que no hay mercados. En este contexto, la necesaria utilización de los precios sombra plantea la necesidad de estimar el correspondiente al dióxido de carbono (o al carbono), así como su evolución temporal.

3.2. ACB y valoración de impactos

La valoración de los impactos no internalizados por los mercados es un elemento clave del enfoque del ACB. Un tema es evaluar económicamente el impacto de una reducción de la actividad turística, donde hay un mercado de referencia, y otro realizar una valoración económica de la destrucción de un sistema ecológico.

El ACB convencional ha desarrollado un conjunto de procedimientos para evaluar las externalidades medioambientales: los métodos del *coste de viaje*, de los *precios hedónicos* y de la *evaluación contingente*.[1] Los dos primeros métodos analizan los comportamientos

1. Véase Azqueta, D. (2002), y también Willis, K. G., Button, K. y Nijkamp, P. (ed.) (1999) y la Parte II de Mäler, K.-G. y Vincent, J. R. (2005).

observados y el tercero –evaluación contingente– investiga las reacciones a los cambios potenciales planteados en una encuesta. Examinémoslos brevemente.

- ***Coste de viaje.*** Se aplica especialmente en relación a los parques naturales y similares. Consiste en estimar el valor que un individuo asigna a un parque natural mediante la estimación del precio implícito en la visita, o sea, el coste de los desplazamientos, el acceso y la estancia. La estimación se realiza mediante técnicas de encuesta sobre comportamientos.
- ***Precios hedónicos.*** Se derivan de la hipótesis que afirma que los individuos demandan las mercancías en función de sus características o atributos particulares. Este enfoque se aplica, por ejemplo, al ruido o a la calidad del aire, considerando que el precio de la vivienda refleja también la intensidad de estas características ambientales. En este marco, se derivan funciones de demanda que permiten estimar el excedente del consumidor y, en definitiva, la valoración económica de los bienes/males ambientales analizados. El mismo enfoque se aplica a dos salarios correspondientes a dos situaciones de riesgos laborales, para efectuar la estimación económica de los riesgos asociados.
- En tercer lugar está el método de la ***evaluación contingente***. Éste analiza directamente la disposición potencial de los individuos a pagar por un cambio en un determinado elemento de calidad ambiental. Opera utilizando técnicas de encuesta para estimar una curva de la demanda potencial. Obviamente, exige familiaridad de los entrevistados con los impactos investigados.

Por otra parte, los modelos llamados de *Integrated Assessment* –que se explicarán en el capítulo V– incorporan funciones que expresan la relación existente entre el nivel de emisiones o la temperatura y los distintos impactos. Esto es, por supuesto, más exigente que estimar simplemente impactos puntuales.

En cualquiera de los métodos, los beneficios derivados de las diversas políticas de reducción de las emisiones corresponden a las *reducciones de daños* que derivan de la reducción de los diferentes impactos. Ello requiere conocer cómo los daños varían en función de los impactos.

3.2.1. Evaluación de los impactos del cambio climático

Uno de los procedimientos para estimar los impactos del incremento de la temperatura consiste en comparar regiones con clima diferente e inferir los cambios que se producirían en una de las regiones si tuviera las condiciones climáticas de otra región. A nivel más básico se utilizan también experimentaciones en laboratorio o, evidentemente, aplicaciones de las leyes de la física: las variaciones del volumen del agua según la temperatura, por ejemplo.

El libro de Griffin[2] contiene dos contribuciones –capítulos 5 y 6– que analizan las evaluaciones de los impactos del cambio climático, diferenciándolos en: a) impactos de mercado

2. Griffin, J. M. (ed.) (2003).

y b) impactos de no-mercado.[3] Algunos ejemplos de los primeros son los impactos sobre la productividad agrícola (reflejada en los beneficios agrícolas y en el valor de la tierra) y los requerimientos de energía (medibles con el gasto energético) y de infraestructuras (reflejados en los costes de desmantelar o relocalizar estructuras y equipamientos –esfuerzos necesarios para hacer frente, por ejemplo, al incremento del nivel del mar). Los segundos no se reflejan en los mercados de forma directa, aunque pueden producir efectos parciales e indirectos. El caso paradigmático es el impacto del cambio climático sobre el funcionamiento de los sistemas ecológicos.

En Estados Unidos, donde se destina un mayor volumen de recursos para estimar los impactos de mercado del cambio climático, se han utilizado principalmente dos aproximaciones: a) los experimentos controlados en el laboratorio, con el uso posterior de técnicas de simulación, y b) la evidencia *cross-section*, comparando regiones caracterizadas por diferencias de temperatura.

El primer trabajo sistemático en Estados Unidos para medir los impactos de mercado del cambio climático fue llevado a cabo por la Environment Protection Agency y se publicó en el año 1989. Mendelsohn y Neumann editaron un segundo estudio en 1999. El tercer informe fue realizado por el US Global Change Research Program y difundido en el año 2001. Una de las conclusiones significativas de los tres informes, según el libro de Griffin, es la constatación de que la magnitud de los impactos –el punto a partir del cual los beneficios se transforman en daños– varía según los sectores (agricultura, madera, energía, agua, recursos costeros, salud, migración, polución, etc.).

Entre los trabajos de los impactos de no-mercado del cambio climático, hay que destacar el estudio realizado por Smith, Lazo y Hurd.[4] Este libro enfatiza que el cambio climático probablemente tendrá impactos importantes sobre los ecosistemas globales. En concreto, los autores anticipan un movimiento general de los ecosistemas y de las especies hacia los polos y hacia mayores altitudes, como consecuencia de las superiores temperaturas globales. Ello podría dar lugar a una reducción o a una pérdida de algunos ecosistemas y a la expansión de otros. Así mismo, los autores señalan que los cambios rápidos probablemente serán más destructivos que las transformaciones más graduales.

3.2.2. Evaluación económica de los impactos del cambio climático

La evaluación económica de los impactos de mercado no presenta excesivas dificultades. Disponer de la información relativa a los precios de mercado directos facilita, sin duda, la evaluación económica de los impactos. Se pueden utilizar los precios de mercado o relaciones diversas con éstos, como se hace cuando se aplican los métodos hedónicos. Véanse, por ejemplo, los distintos estudios existentes sobre la agricultura y el sector turístico.[5] La

3. Véanse las contribuciones contenidas en Mendelsohn, R. (2003) y Smith J. B., Lazo, J. K. y Hurd, H. (2003), en Griffin, J. M. (ed.) (2003).
4. Smith, J. B., Lazo, J. K. y Hurd, H. (2003), en Griffin, J. M. (ed.) (2003).
5. Mendelsohn, R., Nordhaus, W. D. y Shaw, D. (1994).

evaluación económica de los impactos de no-mercado concentra las dificultades del tema. Por eso nos centraremos en este caso.

Evaluación económica de los impactos de no-mercado

Los tipos generales de métodos de evaluación de impactos económicos de no-mercado se clasifican en: a) *los métodos de preferencia revelada (observed or revealed preference)* y b) *los métodos de preferencia afirmada/expuesta (stated preference).*

Los métodos de *preferencia revelada* operan a partir de las elecciones observadas en los comportamientos e incluyen el coste del viaje, el salario hedónico, el valor hedónico de la propiedad y enfoques basados en las conductas de prevención. Los métodos de *preferencia afirmada/expuesta* (*stated preference*), como es el caso de la evaluación contingente por encuesta, investigan las preferencias potenciales relativas a cambios planteados en la encuesta.[6]

El citado estudio de Smith, Lazo y Hurd explica estos métodos de evaluación económica aplicados a los impactos sobre los ecosistemas naturales. El balance de los autores es que, en conjunto, parece que estamos lejos de ser capaces de obtener estimaciones de los daños globales no-monetarios del cambio climático que sean creíbles y útiles. No obstante, el libro también destaca que a nivel más regional sí es factible formular el valor monetario de muchos impactos de no-mercado y que estas estimaciones resultan de gran utilidad.[7]

Otros autores como, por ejemplo, Ambrosi y Hourcade también enfatizan las dificultades que hay que afrontar para hacer una valoración económica de los impactos de no-mercado.[8]

Los límites de las evaluaciones/valoraciones monetarias de los impactos

Llegados a este punto es necesario plantear la cuestión de los límites de la evaluación de los impactos en términos monetarios, especialmente cuando los daños afectan a sistemas ecológicos indispensables para la vida humana. Cuando están en juego daños irreversibles en los sistemas mencionados, no parece viable realizar una estimación monetaria de los daños si la única alternativa es mantener unas determinadas condiciones de funcionamiento de dichos sistemas.[9]

A pesar de que la estimación en términos monetarios de los impactos es ciertamente útil desde el punto de vista de la evaluación de decisiones, no hay que olvidar la necesidad de

6. Sobre este tema, véase Mitchell, R. C. y Carson, R. T. (1989), Freeman, A. M. (1993) y Garrod, G. y Willis, K. G. (1999), citados por Mendelsohn.
7. Costanza *et al.* (1997), págs. 134-135.
8. Ambrosi, Ph. y Hourcade, J. Ch. (2003).
9. Tal y como ha destacado Pearce, hay casos en los que la emisión del contaminante supera la capacidad de absorción de la naturaleza. Éste no es, por ejemplo, el caso del ruido, pero sí es el caso del cadmio, del mercurio o del plomo, que son inasimilables. La consecuencia es que el *stock* de estos metales en la naturaleza aumenta con la polución y no se puede reducir. En este caso, las emisiones que se acumulan en el *stock* generan un impacto irreversible. Dado que las medidas de control inciden sobre los flujos y cualquier flujo aumenta –en este caso– el *stock*, no existe medida correctora efectiva. El *stock* de cadmio no se puede reducir; se traslada a las generaciones futuras. Éste sería un caso claro. Ahora bien, desde este punto de vista, el caso de los GEI es intermedio entre este caso y el del ruido, dado el elevado período de residencia de las emisiones de GEI en la atmósfera. ¿Cómo evaluar el impacto económico de una acumulación irreversible de contaminantes tóxicos?

evaluar las metodologías concretas en cada caso. Un enfoque diferente consiste en estimar las valoraciones implícitas en ciertas decisiones públicas, como es el caso, por ejemplo, del valor de la vida humana.

En relación con el tema de la evaluación de sistemas ecológicos, resulta de interés el trabajo colectivo dirigido por Daily.[10] Los autores señalan los límites de los métodos convencionales, pese a propugnar una evaluación en unidades comparables de impacto sobre el bienestar humano; precisan que hacer esto conlleva, típicamente, utilizar unidades monetarias. Indican también que no es necesaria una exactitud absoluta en las estimaciones y que, a menudo, basta con establecer cotas inferiores o superiores.[11]

Así mismo, también son interesantes las reflexiones metodológicas sobre este tema formuladas por Heal.[12] Este autor menciona la dificultad de valorar monetariamente los servicios de los ecosistemas y explica que, incluso cuando se pueden cuantificar –utilizando precios que reflejan su disponibilidad–, no es evidente que las valoraciones que se obtengan reflejen la importancia social de los servicios. Este autor puntualiza que, cuando el impacto sobre los ecosistemas no es pequeño, los precios de mercado, si existen, infravaloran seriamente el valor económico que se pierde con motivo de su destrucción. Esto es así porque el precio de cualquier objeto o servicio aumenta cuando pasa a ser más escaso.

Las reflexiones metodológicas sobre este tema formuladas por G. Heal[13] son muy articuladas y pertinentes:

«En resumen, los economistas querrían idealmente valorar los servicios de los ecosistemas asignándoles precios de mercado o derivando precios de las transacciones de mercado. Existen relativamente pocos casos en los que esto se puede hacer. A pesar de todo, cuando ello es posible, las valoraciones basadas en el mercado resultantes no es seguro que reflejen la importancia social de los servicios o la magnitud de las pérdidas que sufriríamos si estos servicios se eliminasen. Los precios basados en el mercado expresan el valor que para la sociedad tiene una pequeña variación, en más o en menos, del servicio. Desde el punto de vista operacional, esto es normalmente correcto, pues en general de lo que se trata es de evaluar pequeños cambios en las disponibilidades.»

Por otra parte:

«Por desgracia, algunos de los impactos humanos sobre ecosistemas importantes no son precisamente pequeños [...]. En estos casos, los precios de mercado –cuando existen– infravaloran seriamente el valor económico que se pierde con motivo de su destrucción. ¿Por qué los precios de mercado proporcionarán una infravaloración? ¿Por qué, típicamente, el precio de una mercancía o de un servicio aumenta cuando pasa a ser más escaso [...]?».[14]

10. Véase Daily *et al.* (2000).
11. Pearce hacía la misma observación relativa al precio social del carbono. Véase la sección 3.6. sobre las decisiones multicriterio.
12. Heal, G. (1982).
13. Heal, G. (1982).
14. Heal, G. (1982), pág. 191.

La argumentación es muy clara y se relaciona con el contenido. Seguidamente, G. Heal se plantea también la especial dificultad de valorar los *sistemas ecológicos de apoyo de la vida* como, por ejemplo, el agua.[15] El autor añade que la limitada capacidad de valorar estos servicios no debería incomodarnos si lo que nos preocupa realmente es su conservación ya que, para ello, no se necesita ninguna cuantificación monetaria. De hecho, el prerrequisito económico de la conservación quizá reside en el diseño de un sistema de incentivos que haga que los propietarios de estos servicios los quieran mantener. Por ejemplo, conservar los bosques debería ser más atractivo que eliminarlos para plantar café, plátanos o cacao.[16]

«De lo contrario, ¿podríamos evaluar la pérdida de una parte significativa, pero no total, de un sistema de apoyo de la vida? En principio podríamos hacerlo, pero es muy difícil. Consideremos un caso concreto: el agua. [...]

La conclusión que emerge de este análisis es que la teoría económica probablemente no puede, en realidad, valorar los servicios de los sistemas terrestres de apoyo a la vida en cualquier forma que no sea utilizando precios de mercado que los valoran en el sentido de indicar el valor de un pequeño cambio en su disponibilidad. Esta limitada capacidad de valorar no debería incomodarnos. Si nuestra preocupación es conservar estos servicios, entonces la valoración es, en gran parte, irrelevante. Permítanme destacar lo siguiente: *la valoración no es ni necesaria ni suficiente para la conservación; conservamos muchas cosas que no valoramos y no conservamos muchas cosas que sí valoramos.*

Así pues, ¿cuál es el prerrequisito económico de la conservación? Reside en los incentivos: para conservar los sistemas hay que dar a sus propietarios incentivos para conservarlos. Debemos hacer la conservación más atractiva que cualquier otro uso.»

En cualquier caso, con la finalidad de evaluar políticas globales de cambio climático, parece razonable afirmar que es una ventaja disponer de estimaciones de los valores económicos de los impactos. En este contexto es relevante preguntar: ¿qué método alternativo se propone con la finalidad de explorar las alternativas existentes a nivel de análisis y formulación de políticas globales? ¿Qué alternativa existe, de hecho, a la valoración económica? ¿Deben establecerse límites cuantitativos a determinados impactos? En realidad, éste ha sido el enfoque elegido en el marco del PK en relación con las emisiones de GEI: fijar las emisiones máximas permitidas. Ahora bien, fijar un estándar cuantitativo a nivel planetario y distribuirlo por países es una cosa y, otra muy diferente, incorporar en un modelo integrado estándares que no hay que superar y en relación con los diferentes ecosistemas, la mayoría regionales. Volveremos sobre el tema al hablar de las decisiones multicriterio.

La respuesta a esta problemática se puede relacionar con la cuestión analizada por Weitzman[17] desde el punto de vista de las alternativas de regulación del medio ambiente: ¿hay que aplicar

15. Véase Vegara, J. M. (coord.); Barracó, H., Colldeforns, M., Relea, F. y Rodríguez, P. (2004), cap. 1.
16. Vegara, J. M. (coord.); Barracó, H., Colldeforns, M., Relea, F., Rodríguez, P. (2004), pág. 192.
17. Weitzman, M. (1974). Este tema será tratado en el capítulo V.

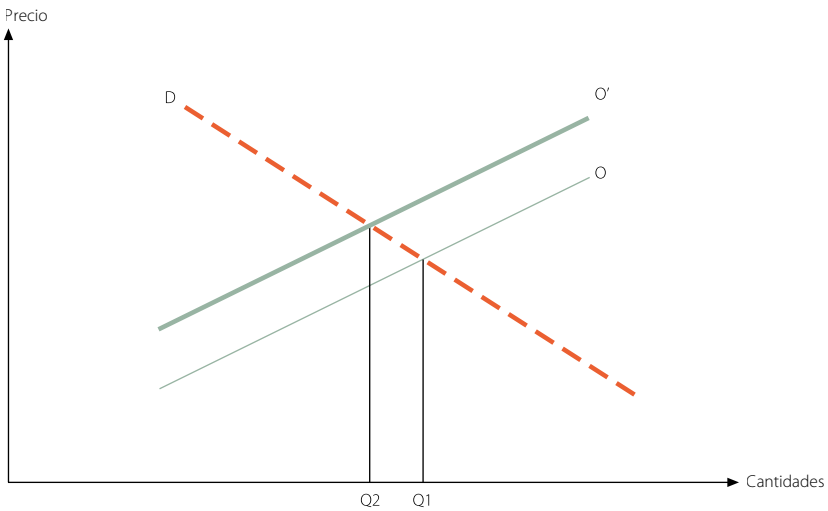
medidas sobre los precios o sobre las cantidades? Si se quiere intervenir sobre los precios, hay que disponer de estimaciones de la valoración económica de todos los impactos,[18] para poder fijar el precio social.

3.3. El coste social del carbono

El tema del coste social del carbono (CSC) está estrechamente relacionado con el tema de las políticas. La curva de oferta corresponde a la curva de los costes marginales; la adición de los costes marginales sociales –derivados de la evaluación del coste social del carbono– permite establecer el nuevo equilibrio (parcial) precio-cantidad, que corresponde a un nivel de emisiones menor. El nuevo precio debe incorporar la externalidad y constituir la base de la toma de decisiones en el nuevo contexto regulado. Monetizar los daños permite estimar el coste social del carbono, o sea, asociado a una unidad adicional y correspondiente a una fecha.

Considérese el gráfico 3.1 Si en el gráfico que representa las curvas de oferta y demanda (O y D) se añade a la primera curva el coste social del carbono, la nueva curva de oferta (O'), conjuntamente con la curva de demanda, determina un nuevo precio y una nueva oferta, inferior a la anterior (se reduce de Q1 a Q2). Obsérvese que, aunque el coste social sea constante, el nuevo precio resulta modificado (dependiendo de la elasticidad-precio de la demanda).

Gráfico 3.1 El coste marginal social: oferta y demanda



18. Sobre las cuestiones relacionadas con las políticas económicas, véase el capítulo VI.

En términos conceptuales, D. Pearce (2005) define el coste social del carbono:

«Es el valor monetario de los daños globales provocados por la emisión de una tonelada adicional de carbono en algún momento del tiempo. La referencia temporal habitual es el período corriente, pero "el coste del daño marginal" de las emisiones futuras cabe esperar que aumente con el tiempo como consecuencia de: a) el hecho de que los gases de efecto invernadero se acumulan en la atmósfera y b) el aumento de la valoración relativa de los daños del calentamiento global resultante del aumento de la renta».[19]

Por este motivo, Pearce define el coste (marginal) del carbono –CSC– en términos del c*oste actualizado de los daños incrementales* generados por una tonelada adicional durante su período de residencia en la atmósfera.[20] El autor analiza varias estimaciones realizadas del coste social del carbono, así como de las metodologías utilizadas, y concluye que es viable estimar el coste marginal de las emisiones de GEI.[21]

Mendelsohn[22] considera también que el objetivo debe ser minimizar los costes totales –actualizados– asociados a la reducción de los daños netos o al esfuerzo de mitigación de las emisiones de GEI. En consecuencia, si un país invierte en el esfuerzo de mitigación por debajo del nivel que iguala su coste marginal al CSC, estará invirtiendo por debajo del nivel requerido.[23] Por otra parte, dado que cada país tiene interés en evitar la inversión en mitigación, existirá falta de inversión si no hay mecanismos correctivos.

Mendelsohn –al igual que Pearce– presenta varias estimaciones realizadas del CSC. Por otra parte, los trabajos de Tol[24] analizan la distribución estadística de las diversas estimaciones efectuadas del precio del carbono y hallan una amplia dispersión. Parece, pues, que es un tema primordial y nada fácil.

La contribución de Tol[25] enfatiza el papel clave del valor del CSC para la definición de las políticas y también para la coordinación de las mismas (sector energético y sector transportes, por ejemplo). En sus conclusiones, el autor destaca que las estimaciones de los costes marginales de los daños del CO_2 son inciertas y que generalmente están sesgadas hacia arriba.[26] Esto es así porque mayoritariamente las estimaciones altas se fundamentan en posiciones éticas fuertes y con relativamente poca lógica. Por ejemplo, «un coste marginal del orden de 15 $/tC[27] parece justificado. Una estimación del coste marginal

19. Pearce, D. (2005): «The social cost of carbon» en Helm, D. (2005), págs. 106-107.
20. Recuérdese la sección 1.3. Este aspecto –dinámico– había sido estudiado en Ulph, A. y Ulph, D. (1994).
21. Pearce, D. (2005): «The social cost of carbon» en Helm, D. (2005), pág. 131.
22. Mendelsohn, R. (2005).
23. Esta afirmación enlaza con el uso que se puede hacer de la información contenida en los llamados precios de cálculo. Véase la siguiente sección.
24. Tol, R. S. J. (2002a) y (2002b).
25. Tol, R. S. J. (2005).
26. Pág. 165.
27. $/tC: Dólares por tonelada de carbono.

del daño del CO_2 de 50 $/tC, o más, no puede defenderse con nuestros conocimientos actuales».[28]

«En resumen, las estimaciones de los costes marginales de los daños del CO_2 son inciertas, pero no tanto como para que cualquier cifra funcione. Por cada razón para incrementar las mejores conjeturas corrientes, hay otra para reducir las estimaciones. Ahora bien, es exigible prudencia, dado que la incertidumbre parece sesgada hacia la derecha. Las estimaciones altas del coste marginal de los daños se fundamentan, típicamente, en posiciones éticas fuertes que, a menudo, no están de acuerdo con los estándares morales aceptados y pueden ser defectuosas desde el punto de vista lógico.»

El aspecto más incierto de las distintas estimaciones del CSC son –evidentemente– las evaluaciones económicas de los daños generados por el cambio climático. Ya hemos examinado las dificultades existentes en el proceso de evaluación económica de los impactos de no-mercado; por este motivo, no puede extrañar que las estimaciones del CSC sean aún dispersas.

3.4. Precios de cálculo y coste social del carbono

En términos de precios sociales, es obvio que éstos cumplen claramente su función en la asignación de recursos en el marco, no obstante, de *decisiones marginales* o *incrementales*. De aquí deriva también la relevancia de los *precios sombra o precios de cálculo*.[29] El concepto de precio sombra o precio de cálculo corresponde a unos precios no fijados por el mercado pero que se utilizan para la toma de decisiones públicas. Muy a menudo se calcula utilizando técnicas de optimización; por este motivo se analiza el concepto y el papel de las *variables duales* en los modelos basados en la programación matemática (o de las variables adjuntas, en el caso de la teoría del control). Véase la ficha 3.1, sobre la interpretación económica de las variables duales.

Una cuestión conexa es la de la equivalencia formal entre una variable dual y una restricción, tal y como la formula la llamada teoría de la separabilidad, expuesta en la ficha 3.2.

Una ventaja de los llamados Modelos de Evaluación Integral (IAM) de optimización es que proporcionan directamente los precios sombra y, por consiguiente, el coste social del carbono. Una limitación de los precios sombra es que no están pensados para simular el comportamiento efectivo de los agentes en los mercados.

La equivalencia formal entre restricciones y variables duales asociadas es relevante porque prefigura el debate entre impuestos o estándares como instrumentos de la política medioambiental. Efectivamente, el diseño de medidas concretas exige también la consideración de otros aspectos como, por ejemplo, las dificultades al fijar el estándar o el nivel del im-

28. Pág. 165.
29. En inglés: *shadow prices.*

Ficha 3.1 La interpretación económica de las variables duales

En el marco de un problema de optimización sometido a restricciones en forma de desigualdad –que limitan los valores que pueden tomar las variables–, el valor en el óptimo de las llamadas variables duales asociadas a cada restricción tiene una interpretación económica que deriva de aplicar la interpretación matemática general a cada problema. La interpretación general es la siguiente: el valor de la variable dual en el *óptimo* mide en cuánto se modifica el valor de la función objetivo cuando se modifica de forma marginal, incremental, el término independiente de la restricción correspondiente.

Consideremos dos ejemplos: a) si la función objetivo consiste en la minimización del coste y una restricción concreta expresa que la oferta debe ser superior a la demanda exógena, la variable dual expresa en cuánto aumenta el coste de producción si se incrementa de forma marginal la demanda, es decir, el coste marginal correspondiente a la configuración óptima; b) si la empresa minimiza los costes de producción y la restricción expresa que la utilización de permisos de emisión debe ser inferior o igual a la disponibilidad de los mismos, la variable dual expresa la variación (reducción) de coste que deriva de disponer de una variación marginal de la disponibilidad de permisos; c) si la función objetivo corresponde a la maximización de las ganancias y la restricción expresa también la satisfacción de la demanda, el valor en el óptimo de la variable dual expresa el beneficio marginal.

Así pues, retomando el ejemplo b), si el valor de la variable dual en el óptimo es û, la compra en el mercado de permisos de emisiones de un permiso adicional le permitirá una reducción de su coste igual a û; por lo tanto, si û es superior al precio de mercado de un permiso, resultará rentable introducir una mejora de reducción de las emisiones de dióxido de carbono, siempre y cuando el coste sea inferior a û. Los precios sombra o de cálculo permiten evaluar decisiones marginales, en el margen de la configuración óptima.

En el caso de los modelos de optimización llamados de «control óptimo», la interpretación de las variables adjuntas es similar.

Fuente: Véase Vegara, J. M. (1975): *Programación matemática y cálculo económico. Teoría y aplicaciones*. Barcelona: Vicens Vives.

puesto, los problemas asociados al cumplimiento de la regulación o las dificultades relativas de adaptación a los cambios del entorno.[30]

Otra cuestión relevante es el hecho de que las políticas estructurales y los grandes proyectos modifican la estructura de precios vigente, de forma que en este contexto no se pueden utilizar los precios actuales (ni los precios de mercado ni los precios sombra vigentes). La alternativa es integrar los diseños alternativos del proyecto en un modelo de economía global, es decir, integrando oferta y demanda en un marco intertemporal. Este enfoque se desarrolló a partir de los años setenta, especialmente en relación con los temas energéticos.[31]

30. Estas cuestiones se tratarán en el capítulo VI. Véase Vegara, J. M. (1987).

31. Véase Goreux, L. M., Manne, A. (eds.) (1973), Blitzer, Ch. R., Clark, P. B., Taylor, L. (1975); Goreux, L. M. (1977), Dervis, K., De Melo, J., Robinson, S. (1982). Véase también Drèze, J., Stern, N. (1990). Los grandes proyectos han de ser formalizados utilizando variables que sólo pueden tomar los valores 0 o 1 (variables enteras, binarias) que no son susceptibles de variación marginal. Obsérvese que si sólo hay un gran proyecto, por ejemplo, se pueden calcular los precios sombra que resultan en las dos alternativas correspondientes a la adopción y al rechazo del proyecto; con esta finalidad se puede fijar el valor de la variable binaria, alternativamente, igual a cero y a la unidad y calcular las variables duales convencionales; su interpretación es la convencional pero relativa a una decisión concreta sobre el proyecto. Si hay dos proyectos, se pueden calcular los precios sombra asociados a las cuatro alternativas que generan; ahora bien, si hay n proyectos habrá 2^n alternativas, este valor se dispara y este enfoque pasa a ser inviable. Véase Vegara (1987).

Ficha 3.2 Separabilidad: equivalencia formal entre variables duales y restricciones

Es importante destacar que, en un modelo de optimización sometido a restricciones, existe una equivalencia *formal* entre una restricción y un precio dual o precio sombra asociado a la restricción. Así, consideremos un modelo de programación matemática correspondiente a la maximización de las ganancias de una empresa sometida a varias restricciones, incluida una restricción que expresa la limitación de sus emisiones (limitación impuesta por la autoridad pública). En este caso, el nivel de las emisiones se expresa en función de los niveles de producción de la empresa. Si nos preguntamos ahora si existe la posibilidad de obtener la misma configuración óptima que en el caso anterior pero suprimiendo la limitación de las emisiones (generando un modelo reducido), la respuesta es afirmativa. Si se cumplen, sin embargo, determinadas condiciones formales, hay que restar de la función objetivo la expresión del nivel de emisiones de la empresa multiplicado por el *precio de cálculo de las emisiones en la solución óptima del problema inicial*, o sea, con la restricción sobre las emisiones incorporada en el modelo global.

La primera figura corresponde a un programa con tres restricciones; la función objetivo por maximizar –f(.)– aumenta cuando se desplaza hacia la derecha. Así pues, el óptimo corresponde a $(\hat{x}_1,\hat{x}_2)$, punto en el que sólo las restricciones a_1 y a_2 están activas. En la figura 2 se ha eliminado la restricción a_3, que –al no estar activa– no juega ningún papel, así como también la a_1. Resulta intuitivo que, sin la restricción a_1, para obtener el mismo óptimo hay que modificar la función objetivo: esto es lo que explica la teoría de la separabilidad, que expresa de forma rigurosa qué hay que hacer.

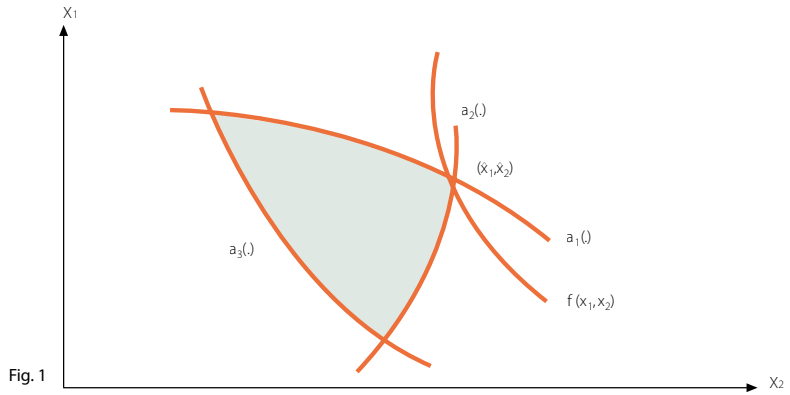


Fig. 1

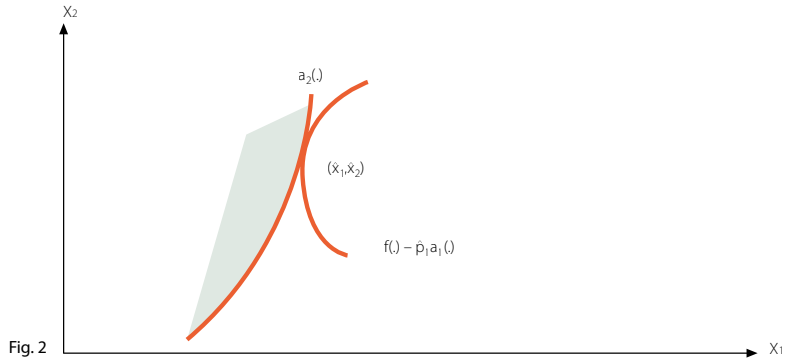


Fig. 2

Fuente: Véase Vegara, J. M. y Sebastián C. (1974).

3.5. Decisiones marginales asociadas a una configuración de la economía

Cuando los precios sombra deben utilizarse no para evaluar decisiones en el margen de la configuración económica vigente, sino en el margen de una diferente, considerada óptima de acuerdo con algún criterio y que, en este caso, hay que determinar, surge un problema. Esto es especialmente relevante cuando las modificaciones que introduce el proyecto o la política objeto de evaluación no son marginales. En este caso, son los nuevos precios de cálculo –los precios con el proyecto o la política incorporados– los relevantes para evaluar nuevas decisiones. Con demasiada frecuencia se olvida este aspecto, que, ciertamente, complica el proceso de evaluación. Baumol y Oates, en un artículo del año 1971 sobre la fiscalidad medioambiental, identificaron claramente este problema. Estos autores puntualizan que el nivel del impuesto óptimo sobre una actividad que genera una externalidad no es igual al daño marginal neto que genera en las condiciones iniciales, sino al daño que causaría si el nivel de actividad fuera óptimo. Por lo tanto, si ya es complicado estimar el daño generado en las condiciones vigentes, aún menos probable es poder evaluar el daño que se produciría en un mundo óptimo, que no puede ser nunca experimentado ni descrito en forma cuantitativa.[32]

Por otra parte, Dasgupta, Mäler y Barrett[33] explican en su trabajo el funcionamiento del proceso de elección secuencial de proyectos de inversión. Este sistema, denominado «proceso de gradiente», valora en cada etapa pequeños proyectos de inversión mediante las evaluaciones marginales sociales de bienes y servicios vigentes, y acepta sólo los proyectos rentables. De este modo, bajo determinadas condiciones, se conduce la economía hasta el programa óptimo.[34]

Los autores[35] también señalan que este proceso de selección de proyectos sólo es razonable cuando se trata de un sector pequeño, ya que en este caso tiene sentido que las evaluaciones marginales dejen intacto el resto de la economía, de forma que se permanezca en el mundo del *equilibrio parcial*. No obstante, los modelos de *equilibrio parcial* constituyen un terreno inadecuado en el que construir modelos de calentamiento global, pues éste tendrá efectos económicos globales sobre las posibilidades de producción. Esto significa que la economía del bienestar del calentamiento global necesita desarrollarse en el contexto de la economía de la optimización, tal y como lo desarrolló Nordhaus en el año 1994 y Nordhaus y Yang en 1996.

«Los primeros modelos de calentamiento global fueron modelados de esta forma (por ejemplo, Nordhaus 1977). Los modelos resultaron instructivos. Los modelos de *equilibrio parcial*, sin embargo, constituyen un terreno inadecuado en el que construir modelos de calentamiento global, pues éste tendrá efectos económicos globales sobre las posibilidades de producción. Esto significa que la economía del bienestar del calentamiento global nece-

32. Baumol, W. J. y Oates, W. E. (1971), pág. 152.
33. Dasgupta, P., Mäler, K.-G. y Barrett, S. (1999), pág. 54; incluido en Portney y Weyant (eds.) (1999).
34. Dasgupta, P., Mäler, K.-G. y Barrett, S. (1999), pág. 54; incluido en Portney y Weyant (eds.) (1999), pág. 54.
35. Sobre el proceso de gradiente, véase Arrow, K. y Hurwicz, L. (1958).

sita desarrollarse en el contexto de la economía de la optimización. Esto se desarrolló por parte de Nordhaus (1994) y Nordhaus y Yang (1996)...»

En definitiva, los métodos de evaluación marginal presuponen que las pequeñas variaciones se producen en torno a una configuración óptima, que hay que conocer para proceder a realizar la evaluación. Los manuales de evaluación de proyectos de las Naciones Unidas y de la OCDE se sitúan en esta línea.[36]

3.6. Decisiones multicriterio

Existe un enfoque alternativo a los que se han expuesto hasta ahora para tratar el tema de la evaluación de los impactos; consiste en aplicar las llamadas técnicas de *programación multicriterio*, especialmente las que permiten tratar problemas en los que el objetivo es optimizar una función determinada manteniendo otros objetivos formulados en términos de cotas superiores o inferiores, que hay que no superar, según el caso. Así, por ejemplo, una cota superior puede expresar el siguiente objetivo cuantitativo: el nivel de emisiones de CO_2 a nivel de un sector económico, en un Estado, no puede ser superior a un valor dado.

Obsérvese que en esta variante de optimización, los precios sombra de las cotas superiores o inferiores tienen la interpretación económica conocida. Así, si la restricción expresa que el nivel de emisiones de dióxido de carbono no puede ser superior a un valor dado y se trata de minimizar el coste, el precio de cálculo asociado a la restricción expresa el coste marginal de las emisiones. Si otra cota expresa el número máximo de vidas humanas que se plantea perder, el precio de cálculo asociado a la restricción expresa la valoración –en el margen– de una vida humana. Este valor se puede utilizar para evaluar las medidas que permiten reducir las pérdidas de vidas humanas, en el margen.

Es más, cuando se cumplen las condiciones para aplicar la *separabilidad*, ésta permite afirmar que el problema inicial con todas las cotas es equivalente a otro en el que no se incluye la cota que expresa el número máximo de vidas humanas que se plantea perder, pero en el que se incorpora esta expresión en la función objetivo multiplicada por el precio de cálculo correspondiente.[37] O sea, que en la función objetivo se añade el número de vidas humanas que se pueden perder, según las diversas alternativas recogidas por el modelo multiplicado por el *valor económico (marginal) de una vida humana* (en el óptimo). Hay quien, a este valor, lo denomina *valor óptimo de la vida humana*, pero esto son ganas de marear la perdiz y puede facilitar una crítica de raíz ideológica sin fundamento.

Cuando no hay función que se deba optimizar, es decir, cuando sólo hay objetivos en términos de cotas inferiores y superiores, la anterior interpretación no es válida: se elige, sim-

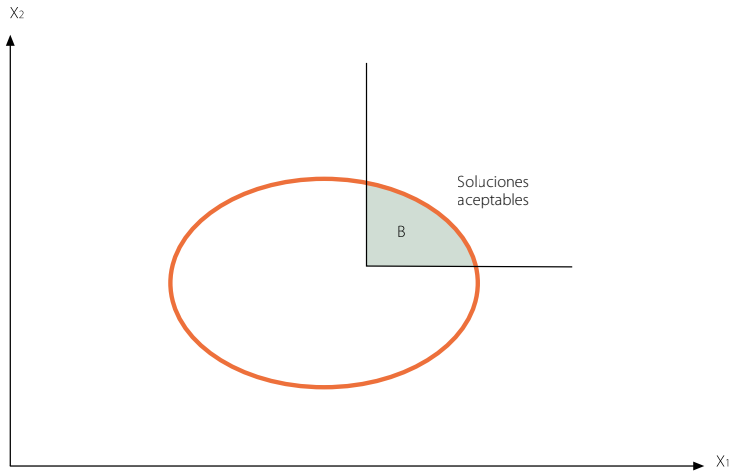
36. Elaborados por Dasgupta, P., Marglin, S. y Sen, A., así como por Little, I. M. D. y Mirrless, J. A. Véase ONUDI (1972) y OCDE (1969). Por otra parte, es interesante destacar que el trabajo colectivo de Arrow *et al.* (1958) analiza la evaluación de proyectos en un marco de lo que llaman economías imperfectas, es decir, economías que adolecen de un mando débil o, incluso, malo.
37. Relativo al óptimo del problema inicial. Recuérdese la sección 3.3.

plemente, una solución compatible con el conjunto de las restricciones. Para una visión general de los diferentes métodos disponibles, véase R. Janssen, G. Munda (1999) y G. Munda (2008).

Ficha 3.3 Decisiones multicriterio

Las soluciones aceptables, satisfactorias –en el sentido de H. A. Simon– están definidas por el conjunto de restricciones y, de entre ellas, se trata de seleccionar la óptima según la función objetivo. Por ejemplo, las dos cotas inferiores, relativas a X_1 y X_2, limitan el conjunto de soluciones factibles que pertenecen a la zona B y de entre las que se elegirá la solución óptima. En otros casos no existe función objetivo y los algoritmos de optimización se utilizan para generar soluciones compatibles con el conjunto de restricciones.

Valores de los criterios factibles



Fuente: Vegara, J. M. (coord.); Barracó, H., Colldeforns, M., Relea, F. y Rodríguez, P. (2004): *Introducción al Medio Ambiente y a la Sostenibilidad.* Barcelona: Vicens Vives.

IV. El análisis economía-cambio climático (II)

Josep M. Vegara

4.1. Incertidumbre y riesgo

El tema del riesgo y la incertidumbre ocupa un lugar central en la problemática del cambio climático. Una cuestión esencial es la distinción entre riesgos probabilizables e incertidumbres no probabilizables, a menudo objeto de una cierta confusión en la literatura. En este contexto resulta útil hacer algunas precisiones iniciales. Según el libro de Hirshleifer y Riley, un clásico sobre el tema,[1] hay que distinguir entre: a) *acciones alternativas*, x; b) *estados de la naturaleza*, s; c) *consecuencias*, c (x, s), y d) *función de probabilidad subjetiva de los estados de la naturaleza,* p(s). La *función utilidad* depende de las acciones y de los acontecimientos: v(x,s). El enfoque de los autores se basa en las *probabilidades subjetivas* relativas a los acontecimientos o estados de la naturaleza.

La función v(s) representa la *función elemental de utilidad*, definida sobre las consecuencias, incluidas las probabilidades de las mismas. Es necesario derivar la *función de utilidad* definida sobre las acciones; para ello hay que operar con utilidades cardinales, medibles. El criterio aplicado es la regla de la utilidad esperada.

El método de utilidad esperada plantea algunas cuestiones. Por ejemplo, Hirshleifer y Riley rehúsan explícitamente la distinción formulada por Knight entre *riesgo e incertidumbre*, defendida también por Keynes. Según Hirshleifer y Riley, es preciso recuperar el concepto de incertidumbre como manifestación de ignorancia no probabilizable para tratar determinados problemas suscitados, entre otros, por el cambio climático.

Las diversas contribuciones de Arrow, relativas a *risk* y *risk-bearing*, también están formuladas en términos de situaciones probabilizables. Es interesante constatar que en el año 1977 –conjuntamente con L. Hurwicz– publicó una aproximación al concepto de *ignorancia,*[2] considerando que en este caso todos los estados de la naturaleza son igualmente probables.[3]

Otra cuestión que se plantea cuando el criterio de decisión es la esperanza matemática es la suscitada por la presencia de *irreversibilidades.*

Por otra parte, cuando problemas como el cambio climático exigen diferenciar claramente situaciones de riesgo de aquéllas en las que existe ignorancia –ignorancia relativa pero, en definitiva, ignorancia–, se plantea el tema de la pertinencia del llamado *Principio de Precau-*

1. Hirshleifer, J. y Riley, J. G. (1992).
2. Arrow, K. y Hurwicz, L. (1977).
3. De hecho, en este enfoque se presupone que se conocen los diferentes estados potenciales, ya que, de lo contrario, la condición de equiprobabilidad no es operacional.

ción en relación con la toma de decisiones bajo condiciones de incertidumbre. Estos temas los examinaremos a continuación.[4]

El tema del riesgo está estrechamente vinculado a los seguros. Chichilnisky y Heal,[5] entre otros, han tratado esta cuestión. Destacan que los sistemas de seguros no implican tomar medidas para reducir el riesgo que existe objetivamente; sirven, sin embargo, para paliar las consecuencias –los daños– que sufren los agentes afectados. En este contexto, el principio del seguro *mutualista* –de larga tradición– permite compensar a los damnificados que pertenecen a un colectivo con probabilidades no conocidas de ser damnificados; si todo el mundo tiene la misma probabilidad de ser damnificado y este hecho es conocido, no se creará el sistema de seguro mutualista o bien, si se crea, no puede garantizarse su viabilidad.

Por eso, Chichilnisky y Heal proponen un segundo enfoque –un marco institucional– que pretende cubrir las incertidumbres relativas a la distribución global de los efectos adversos.[6] Ilustran el marco institucional con un ejemplo. Suponen que Estados Unidos y la Unión Europea tienen percepciones diferentes del riesgo de sufrir las consecuencias del cambio climático, y Estados Unidos es más optimista. En esta circunstancia se dan condiciones para que Estados Unidos pueda vender un seguro a la Unión Europea.

En términos más globales, califican los riesgos asociados con el cambio climático de *escasamente comprendidos*, *endógenos*, *colectivos e irreversibles*.[7]

4.2. Irreversibilidades

Una decisión irreversible es la que resulta de la ejecución de una decisión humana, o sea, de una decisión con consecuencias irreversibles. Más concretamente, Claude Henry[8] definió una *decisión irreversible* afirmando que «reduce por un plazo largo la variedad de elecciones posibles en el futuro». Los ejemplos que planteó son el derribo de la catedral de Notre-Dame o bien la eliminación de un bosque; son ejemplos claros.

El enfoque convencional para tratar las decisiones en situaciones de riesgo consiste en sustituir un coste o un beneficio aleatorio por su esperanza matemática, con lo que se transforma el carácter del problema. Henry cuestiona este enfoque, ya que muestra que con demasiada frecuencia conduce a adoptar decisiones irreversibles en el sentido definido. El punto de partida de Henry era, en particular, un contexto en el que la decisión era relativa al trazado de una nueva autopista que implicaba la destrucción de una masa

4. La constitución de seguros requiere, como es sabido, que los riesgos estén repartidos de forma diferenciada entre la población; en el caso extremo, si todo el mundo está en las mismas condiciones en términos de riesgo, no es posible compensar los riesgos y, por consiguiente, no puede haber un sistema de seguros sostenible. El desarrollo de seguros para hacer frente a los riesgos derivados del cambio climático debe considerar esta cuestión. Véase Mills, E. *et al.* (2005).
5. Chichilnisky, G. y Heal, G. (1993).
6. Chichilnisky, G. y Heal, G. (1993), pág. 71.
7. Schneider, S. *et al.* (2002) analiza los riesgos asociados al cambio climático, especialmente los que derivan de las insuficiencias de los conocimientos científicos.
8. Henry, C. (1974).

forestal importante. La opción es entre preservación y desarrollo del proyecto. El enfoque convencional consistiría en sustituir las variables aleatorias presentes en el problema por sus esperanzas matemáticas.

Arrow y Fisher[9] trataron –el mismo año– un problema similar, relacionado también con la asignación de recursos y el medio ambiente. En su trabajo presentan un modelo sencillo de dos períodos con una decisión irreversible y demuestran que el valor esperado de los beneficios en condiciones de incertidumbre es inferior al valor de los beneficios en condiciones de certeza. En este caso, incertidumbre significa también acontecimientos probabilizables. Ahora bien, su análisis también induce a replantear el criterio de decisión habitual si hay irreversibilidades. Éste es, a menudo, el caso del cambio climático.

Tanto Arrow-Fisher y Henry (1974) como el manual de Laffont,[10] y el conjunto de trabajos reunidos en Boyer (ed.),[11] enfatizan que el criterio de maximización de la esperanza matemática de la utilidad debe ser completado con un término correctivo, reflejando la mayor o menor flexibilidad de la estrategia elegida y de su aptitud para beneficiarse de la mejora de la información. En este sentido, las teorías del valor de opción introducen irreversibilidades en el cálculo económico.

El cambio climático presenta irreversibilidades, tanto en diversos impactos como desde la perspectiva de varias decisiones que exigen un tratamiento singular, más allá del uso de las esperanzas matemáticas.

Catástrofes

Hay otro aspecto relacionado con el riesgo y la incertidumbre, que es la problemática de las catástrofes. Éstas –entendidas como acontecimientos poco probables pero con impactos graves– plantean la exigencia de un tratamiento adaptado a las probabilidades relevantes, es decir, las correspondientes a los extremos de una hipotética función de distribución de probabilidades.[12] El instrumento adecuado es la llamada *estadística de los extremos*.

Weitzman (2007b) analiza las catástrofes, caracterizadas como acontecimientos poco probables y con impactos muy elevados. En este marco, el autor se centra en el análisis de la distribución de probabilidades de los llamados *valores extremos*. Se trata de un interesante enfoque, dentro del marco del enfoque probabilístico estricto.[13]

9. Arrow, K. y Fisher, A. C. (1974). Otro trabajo relevante sobre este tema es Freixas, X. y Laffont, J. J. (1984).
10. Véase Laffont, J. J. (1986).
11. Boyer, R., Chavance, B. y Godard, O. (eds.) (1991).
12. Embrechts, P., Klüppelberg, C. y Mikosch, T. (2003).
13. Los valores extremos eran ya objeto de consideración a finales de los años setenta, pero en un contexto diferente. Por ejemplo: los modelos de selección de inversiones de Électricité de France (EdF) dimensionaban las capacidades de producción para satisfacer la demanda de las horas punta y ésta se consideraba como una variable aleatoria. Esta demanda no era la media, sino la correspondiente a un valor extremo superior, con el fin de acotar el riesgo de fallo a un valor aceptable.

Weitzman (2007b) presenta una aproximación más pragmática y operacional, centrada en la identificación de las catástrofes potenciales, su estudio y la formulación de planes de contingencia. Véase también Embrechts, Klüppelberg y Mikosch.[14]

No-linealidades

Uno de los aspectos que complica el tratamiento formal del tema que nos ocupa es la existencia de no-linealidades, básicamente en la modelización del clima o bien de la integración economía-clima. Por ejemplo, la relación de la temperatura con diferentes impactos se presenta bajo la forma de una función cuadrática (de modo que el coste marginal difícilmente será constante). Este tema ha sido tratado en el panorama contenido en Rial *et al.*[15]

Un caso especial de incertidumbre radical se presenta cuando hay presencia de *bifurcaciones*, en un contexto de lo que se llama dinámica de caos. El ejemplo ilustrativo clásico es el siguiente: cuando se lanza una pelota siguiendo la arista de un tejado de doble vertiente, unas veces caerá por una vertiente y en otras ocasiones por la otra, sin seguir un patrón probabilístico. Se dice que es un fenómeno caótico que presenta una bifurcación. El librillo de Prigogine[16] o el libro de Medio[17] constituyen una buena introducción para economistas de este nuevo enfoque.

El Principio de Precaución

La distinción entre riesgo e incertidumbre es pertinente. No se trata de una baraja de nombres; se puede adoptar una nueva terminología, pero existen motivos para rescatar la distinción.

La ignorancia, parcial o total, existe. No se trata de una discusión nominalista. Si los agentes no pueden –por la razón que sea– estimar sus probabilidades subjetivas, no se puede adoptar la maximización de la esperanza matemática como criterio de decisión. En relación con el tema de la incertidumbre, hay muchos campos para profundizar.

Ya se ha indicado que Arrow y Hurwicz enfocaron el tema de la ignorancia de los estados de la naturaleza en términos de considerarlos equiprobables, sin renunciar al enfoque probabilístico. Un paso más consiste en abandonar este enfoque; es lo que han hecho los autores que proponen el llamado *Principio de Precaución*.

El Principio de Precaución ha sido formulado en el marco de las actividades de las Naciones Unidas relacionadas con el medio ambiente. El Principio tiene varias formulaciones pero, fundamentalmente, dice que, cuando hay consecuencias muy graves, irreversibles, sobre el medio ambiente, no se puede esperar que la información obtenida con posterioridad sea suficiente para aplicar medidas correctoras. En otras palabras: la falta de certeza científica completa no debe utilizarse como una razón para retrasar las medidas coste-efectivas destinadas a prevenir la degradación ambiental.

14. Véase Embrechts, P., Klüppelberg, C. y Mikosch, T. (2003).
15. Véase Rial, J. A. *et al*. (2004).
16. Prigogine, I. (1997).
17. Medio, A. (1992).

Sobre el Principio de Precaución, véase el conjunto de artículos recopilados por O'Riordan y Cameron.[18] La contribución de Pearce destaca la frecuente disparidad existente entre las estimaciones de las probabilidades individuales/subjetivas de los riesgos y las estadísticas/objetivas o bien las formuladas por los expertos; también expresa la dificultad –detectada empíricamente– de estimar probabilidades redundantes, bajas.[19] El autor explica que las personas, muy a menudo, no se comportan de acuerdo con las predicciones del valor esperado ni de la utilidad esperada.[20] Así mismo, si los individuos tienen una alta aversión al riesgo, existe una base sólida para el Principio de Precaución, especialmente cuando las probabilidades son muy bajas y los riesgos potenciales muy elevados, cuando el riesgo es involuntario y cuando se trata más de un riesgo de pérdida que de una ganancia.[21]

Consideremos un ejemplo que no guarda relación con el medio ambiente: el caso del peligro de atentado en la aviación. Las medidas de control adoptadas ante el riesgo de atentado terrorista, poco probable pero de consecuencias graves e irreversibles, han sido costosas y molestas para los viajeros, pero que quieren eliminar toda posibilidad de atentado. Estas medidas no derivan de cálculos probabilísticos, sino, más bien, de un enfoque en la línea del Principio de Precaución.

4.3. Distribución y equidad. Equidad intergeneracional

4.3.1. Cambio climático y distribución

El cambio climático está cargado de consecuencias sobre la distribución, entre personas, grupos sociales, países y también entre generaciones. El análisis coste-beneficio (ACB) convencional no aborda la dimensión distributiva. Sin duda, hay que incorporar los efectos de proyectos y políticas sobre la distribución. Efectivamente, tal y como escribe Bradford, el ACB no nos permite extraer ninguna conclusión sobre si una política que supera el test *debería* ser aplicada o rechazada, ya que el simple agregado de beneficios y costes no nos dice nada sobre quién sale beneficiado con ello.

El ACB convencional opera en el marco del *Principio de Compensación*, que afirma que si, potencialmente, los ganadores –como consecuencia de la adopción del proyecto seleccionado– pueden compensar a los perdedores y aún disponen de un beneficio neto, hay que adoptar el proyecto. El Principio de Compensación no exige que ésta sea efectiva, sino sólo que exista la posibilidad de que se produzca. Este enfoque puede ser aceptable para evaluar proyectos marginales, pero no lo parece en el caso general que incluye cambios estructura-

18. O'Riordan, T. y Cameron, J. (1994).
19. Pearce, D. (1994), págs. 140-143.
20. Pág. 137. Pearce precisa inicialmente que la *neutralidad respecto al riesgo* equivale al concepto de valor esperado, según el cual las probabilidades multiplican las ganancias (o las pérdidas) y, por lo tanto, tratan de forma simétrica ganancias y pérdidas; la *aversión al riesgo* se expresa mediante el concepto de utilidad esperada, según el cual se ponderan más fuertemente las pérdidas que las ganancias.
21. Pearce, D. (1994), pág. 144.

les. Por ejemplo, es radicalmente insuficiente en el caso que nos ocupa, porque los impactos sobre la distribución constituyen un aspecto central del cambio climático.

También hay que tener en cuenta, como destaca Pearce, que los efectos acumulativos de las diversas inversiones de un proyecto sobre la distribución pueden ser importantes. Ignorar los cambios distributivos equivale a aceptar la distribución inicial de la renta como socialmente preferida cuando, de hecho, la distribución se modifica en el tiempo debido a «políticas deliberadas».[22] Éste es, en general, el caso del conjunto de los *proyectos* y de las *políticas* destinadas a luchar contra el cambio climático.

Por otra parte, el dilatado horizonte temporal en el que se plantean los impactos del cambio climático, así como la alternativa de tomar –o no– costosas medidas de mitigación en un horizonte relativamente corto para evitar o mitigar impactos perniciosos, plantea el tema de la equidad entre las sucesivas generaciones. Una dimensión inevitable es la relativa a la distribución intergeneracional, que se discute más adelante (sección 4.3).

Las cuestiones distributivas que acompañan a los impactos del cambio climático también tienen una dimensión espacial, ya que varían según los países. Para ilustrar este hecho, Mendelsohn, Dinar y Williams,[23] por ejemplo, utilizan dos indicadores de los impactos del cambio climático en los sectores económicos que operan en mercados y correspondientes a los distintos países: los impactos per cápita y el impacto sobre el PIB. Los autores predicen que los países pobres sufrirán el grueso de los daños derivados del cambio climático mayoritariamente por su localización y, en menor grado, por su situación de riqueza y tecnología. Esto es así porque estos países están situados en latitudes bajas, donde el calentamiento adicional de la temperatura tiene un mayor impacto.[24]

La tasa de descuento: efectos cuantitativos

El ACB opera en términos de ganancias netas actualizadas, para lo que necesita de la *tasa de descuento o de actualización* $(1/(1+r)^t)$, donde t se refiere al número de períodos. Así, tal y como se refleja en la ficha 4.1, una tasa de descuento alta reduce considerablemente el valor actual de los costes futuros –o de los beneficios– y viceversa. Por ejemplo, considerando un valor monetario de un euro a 100 años, una tasa de descuento del 2% da un valor actual de 0,138 a los 100, mientras que si la tasa es del 6% el valor se reduce a un valor actual de 0,003. Este aspecto tendrá una relevancia notable en los debates sobre las políticas.

22. Pearce, D. (1973), pág. 34. El capítulo IV de Albi, E. (1989) contiene varios métodos *ad hoc* para incorporar la distribución en el ACB. Un análisis global de los aspectos distributivos en el marco del ACB puede verse en Londero, E. (1996), así como en Legrand, J. (1991). El trabajo de Munasinghe, M., Meier, P., Hoel, M., Hong, S. W. y Aaheim, A. (1996) analiza el ACB desde la óptica específica del cambio climático.
23. Mendelsohn, R., Dinar, A. y Williams, L. (2006).
24. Mendelsohn, R., Dinar, A. y Williams, L. (2006), págs. 159-178.

Ficha 4.1 **Los efectos de la tasa de descuento**

AÑOS	FACTORES DE DESCUENTO	
r =	0,06	0,02
1	0,943	0,980
2	0,890	0,961
3	0,840	0,942
4	0,792	0,924
5	0,747	0,906
6	0,705	0,888
7	0,665	0,871
8	0,627	0,853
9	0,592	0,837
10	0,558	0,820
20	0,312	0,673
30	0,174	0,552
40	0,097	0,453
45	0,073	0,410
50	0,054	0,372
100	0,003	0,138

4.4. La tasa de descuento social

Introducción

Los argumentos relativos a la tasa de preferencia temporal pura desde una óptica individual –relacionados con la *impaciencia*– no son directamente pertinentes desde una óptica social. Desde una perspectiva individual se explica la *impaciencia* basándose en el hecho de que, normalmente, si se avanza un período la disponibilidad de una suma monetaria, se puede obtener en el siguiente período dicha suma más una rentabilidad. Desde una perspectiva social, hay que argumentar desde cero.

La tasa social de actualización o de descuento debe reflejar las preferencias sociales o las colectivas/públicas. El enfoque social del tema es necesariamente diferente al enfoque individual, privado, que puede elegir el tipo de interés de los bonos del Tesoro, por ejemplo, como tasa de actualización sin riesgo. Desde el punto de vista social también se contempla la tasa de descuento como relacionada con la equidad entre las diversas generaciones.

El trabajo colectivo de Arrow *et al*.[25] –incorporado en el Informe del IPPC de 1995– presenta la literatura sobre el tema bajo los dos epígrafes: a) el enfoque prescriptivo y b) el enfoque descriptivo. El primero se sitúa en una óptica normativa, da lugar a tasas relativamente bajas y favorece el gasto en mitigación y adaptación, mientras que el segundo observa qué pasa en los mercados, genera tasas más elevadas y desincentiva el gasto.

La formula sintética

La formula sintética[26] expresa la tasa de descuento –e– en términos del producto del tipo de preferencia temporal pura –r–, más el producto de la elasticidad marginal de la renta –x–, multiplicada por la tasa de crecimiento del consumo per cápita –g–. La formulación más simple se expresa en términos de una tasa constante en el tiempo.[27] Concretamente:

$$\text{Tasa de descuento: } e = r + xg$$

El tipo de preferencia temporal pura –r–, o mejor, la tasa de preferencia por el presente, expresa la preferencia social pura por el presente, con independencia de cualquier otro factor.

Tasa de crecimiento –g– expresa que la mejora de las condiciones de vida en una economía se toma en consideración introduciendo la tasa de crecimiento esperada de la renta per cápita futura.

La elasticidad marginal de la utilidad respecto a la renta –x– refleja una hipótesis común en la economía convencional: la tasa de crecimiento de la utilidad de la renta (per cápita) disminuye al aumentar la renta per cápita. Si se opera en términos de utilidades cardinales y en el marco de la hipótesis de utilidades marginales decrecientes, una transferencia de rentas altas hacia rentas bajas genera un excedente; la redistribución no se considera y, por lo tanto, es neutra.

Así pues, de la formulación indicada se desprende que si la tasa de crecimiento esperada de la renta per cápita futura es cero, la tasa de descuento coincide, obviamente, con la tasa temporal pura. Se plantea inmediatamente la cuestión de si la previsión de la tasa de crecimiento de la renta per cápita puede llegar a ser negativa. Nada lo impide: éste sería el caso evocado por Martínez Alier y Roca[28] y corresponde a una situación resultante del deterioro ambiental y del agotamiento de los recursos no reproducibles. La formulación es coherente; lo que hay que argumentar es la previsión de la tasa de crecimiento. Dasgupta, Mäler y Barrett también lo admiten.[29]

25. Arrow *et al.* (1996).
26. La demostración de la fórmula puede verse en Perman, R., Ma, Y. y McGilvray, M. J. (1996) y también en Heal, G. M. (1998).
27. Hay formulaciones en las que la tasa de descuento es función del tiempo, especialmente la preferencia temporal pura.
28. Martínez Alier, J. y Roca, J. (2000), pág. 211.
29. Dasgupta, P., Mäler, P. y Barrett, S. (1999), págs. 51-52.

Las consideraciones de igualdad

Desde un punto de vista ético, Arrow se pregunta por qué los individuos no deben ser considerados iguales independientemente de la generación a la que pertenecen. La opción ética *estricta* para la igualdad conduce, por consiguiente, a elegir una tasa pura social de preferencia temporal igual a cero. Ahora bien, la posición de Arrow no se agota en esta afirmación, como veremos más adelante. Llegados a este punto es útil destacar que Dasgupta, Mäler y Barrett (1999) afirman, pertinentemente, refiriéndose a los diferentes valores de la tasa de descuento, que:

«estas tasas no constituyen material ético en bruto, sino material derivado de la mucho más fundamental justicia entre generaciones».[30]

En efecto, a menudo, las consecuencias que se derivan de aplicar un criterio ético ilustran sobre el propio criterio; por ejemplo, la aplicación del criterio de Rawls[31] en el sentido de beneficiar a los grupos en peores condiciones puede –si es aplicado sin restricciones– hacer aparecer un nuevo grupo en la peor situación, y sustituyendo por lo tanto al anterior, aspecto no previsto y carente de justificación ética, e incluso contradictorio. La afirmación de Dasgupta, Mäler y Barrett es pertinente.

Las consideraciones éticas y la elección social

En el marco de la teoría del crecimiento óptimo, Geoffrey Heal[32] expone su formulación en términos de tasa de descuento decreciente en el tiempo; un caso concreto correspondería a una función hiperbólica, como resulta intuitivo. Su formulación está vinculada a los trabajos teóricos de G. Chichilnisky y a la evidencia empírica contenida –entre otras– en el libro editado por Lowenstein y Elster.[33] Heal comenta lo siguiente sobre la base empírica:

«Sugiere que la tasa de descuento que los individuos aplican a los proyectos futuros depende de, y se reduce, con la distancia en el tiempo. Para períodos cortos, hasta quizá cinco años, utilizan tasas de descuento incluso más altas que muchas tasas comerciales, en la región del 15% aún mucho más. Para proyectos que se extienden hasta los diez años, la tasa de descuento implícita se acerca más a las tasas estándar. Cuando el horizonte se amplía, la tasa de descuento implícita se reduce, hacia la región del 5% para un horizonte de treinta a cincuenta años y baja hasta un 2% para los cien años. Parece también –a partir de la evidencia empírica disponible– que la tasa de descuento utilizada por los individuos, así como la forma en que ésta cambia con el tiempo, dependen de la magnitud de la modificación de la renta que conlleva».[34]

Por otra parte, Arrow (1999) es otro ejemplo de este enfoque cuando señala que la consideración de las generaciones futuras no puede comportar cargas exageradas sobre la generación actual, en términos de una tasa de ahorro exagerada. Así, afirma que la consideración

30. Dasgupta, P., Mäler, K.-G. y Barrett, S. (1999), pág. 51.
31. Rawls, J. (2005).
32. Heal, G. (1998).
33. Véase Lowenstein, G. y Elster, J. (1992).
34. Heal, G. (1998), págs. 61-62.

de una tasa temporal pura cero implica una tasa de ahorro elevada para la generación actual y que ello no resulta aceptable en términos éticos:

«En consecuencia, mi conclusión en el sentido de una fuerte exigencia para que todas las generaciones sean tratadas por igual, contradice la intuición muy fuerte de que no es moralmente aceptable demandar tasas de ahorro excesivamente altas a una generación cualquiera o, incluso, a todas».[35]

El autor hace referencia al trabajo ya citado de G. Chichilnisky, así como a la evidencia empírica utilizada por esta investigadora. Sus consideraciones la llevan a proponer una tasa pura de descuento temporal positiva, decreciente con el tiempo. El razonamiento formal está contenido en un trabajo anterior correspondiente a 1995. En este trabajo, por otra parte, Arrow explica que si –desde un punto de vista descriptivo– se toma la tasa de rentabilidad, en términos reales de los bonos del Tesoro, ésta había sido del 1% en Estados Unidos durante el período 1889-1978.

El Informe Stern y la tasa de descuento

El tema de la equidad intergeneracional y de la tasa de descuento es un tema central en el debate suscitado por el Informe Stern. El Informe adopta la posición consistente en tratar a las generaciones futuras de la misma forma que la actual.[36] Este enfoque conduce, lógicamente, a elegir una tasa de descuento reducida: esta opción ha sido ya discutida. Examinemos los argumentos utilizados por Nordhaus y Weitzman.

Nordhaus, en su extenso comentario sobre el Informe Stern, lo critica globalmente.[37] Su análisis se centra, sin embargo, en la tasa de descuento utilizada:

«El Informe propone hipótesis éticas que generan tasas de descuento muy bajas. Combinado con otras hipótesis, este hecho magnifica los impactos en el futuro lejano y racionaliza reducciones profundas de las emisiones y, evidentemente, en todos los consumos, hoy. Si sustituimos la tasa de descuento por valores más convencionales utilizados en otros análisis de calentamiento global para los consumidores o para las empresas, los resultados dramáticos del Informe desaparecen…».[38]

Por su parte, Weitzman M. (2007a) formula la misma crítica; más en concreto destaca lo siguiente:

35. Arrow, K. (1995), pág. 16, y también Arrow *et al.* (1996).
36. Cline, W. R. (1992) publicó uno de los primeros estudios sobre economía y clima. Adoptó una posición similar a la del Informe Stern en relación con la tasa de descuento.
37. Nordhaus, W. D. (2007), págs. 686-702.
38. Nordhaus, W. D. (2007), pág. 689.

«El valor actual de una pérdida dada por calentamiento global en los cien años futuros, a una tasa de interés r = 6 por ciento, diferente a la de Stern, es una centésima parte del valor actual de la misma pérdida calculada a la tasa de Stern de r = 1,4 por ciento, utilizada».[39]

Este aumento de Weitzman consiste simplemente en destacar que si observamos una tabla con tasas de actualización-años y nos fijamos en los correspondientes factores de descuento, el valor correspondiente a la tasa de descuento utilizada por Nordhaus es una centésima parte del factor de descuento correspondiente a la tasa de descuento utilizada por Stern. Conviene añadir que el factor de descuento afecta a los costes pero también a los beneficios. Los cálculos de Weitzman no subvierten, sin embargo, los de Stern. Por otra parte, Weitzman insiste con razón en la necesaria reproducibilidad de los cálculos presentados por Stern. Este punto de procedimiento es claramente pertinente, tal y como se explicará en el capítulo V.

Arrow ha intervenido en este debate sobre el Informe Stern. Afirma que un simple cálculo permite demostrar que el resultado básico de Stern –o sea, que la mitigación es mejor que seguir la tendencia actual, es decir, el *business as usual* (BAU)– se mantiene para cualquier tasa de preferencia temporal inferior al 8,5%, valor superior incluso al valor utilizado por Nordhaus.

Hay que decir, por último, que la tasa de descuento es, indiscutiblemente, un tema central del debate teórico y cargado de incuestionables repercusiones sobre las decisiones y las políticas que es preciso desarrollar en relación con el cambio climático. Es, sin duda, el más cargado de implicaciones, no sólo por los efectos de la lógica del interés compuesto, sino también porque afecta a todas las magnitudes económicas, sean costes o beneficios.

Ficha 4.2 Generaciones futuras

Para analizar explícitamente la cuestión de las consecuencias sobre las generaciones futuras de las decisiones actuales, se utilizan fundamentalmente dos enfoques básicos: el primero considera un *agente representativo* y el segundo se basa en considerar *generaciones superpuestas*. Los resultados no son muy diferentes, pero los modelos en términos de generaciones superpuestas son más transparentes e interpretables.

En el método típico del agente representativo, sus preferencias son aditivas y separables en el tiempo y su función de utilidad depende del consumo. Incorpora una tasa de preferencia temporal y un horizonte temporal infinito.

Howarth y Norgaard (1995), en una contribución relativa al cambio medioambiental global, polemizan con el enfoque del agente representativo. Destacan que: «el uso de modelos de una única generación esconde la relación existente entre la eficiencia en la asignación de recursos y la equidad intergeneracional en las economías competitivas intertemporales. Un modelo adecuado para tratar este problema, el modelo de generaciones supervisadas, debe tener como mínimo dos características esenciales:

1. Debe considerar una secuencia de generaciones con dotaciones de activos transferidas desde cada generación a las siguientes.

2. Estas generaciones deben superponerse, permitiendo intercambios competitivos de mercancías y servicios entre ellas».

39. Weitzman, M. (2007a), pág. 708.

Su modelo de crecimiento incorpora externalidades generadas por el uso de la energía y supone que el gobierno maximiza una función social de bienestar con un horizonte finito. En este análisis cada generación vela sólo por su propio interés y, posteriormente, los autores exploran el caso en el que hay tendencias altruistas en los individuos. En esta segunda formulación con un componente de altruismo, el bienestar de un individuo es función de su propio consumo y del bienestar de sus hijos.

En un trabajo posterior, Howarth (1996) compara los dos métodos en un ejemplo numérico que examina también las interacciones entre la tasa de descuento y la distribución del bienestar según las respuestas al cambio climático.

Estos enfoques no eliminan la relevancia de la tasa de descuento en relación con la equidad intergeneracional. En su formulación, la tasa de descuento juega un papel crucial. El enfoque explícitamente intergeneracional obliga a plantear el tema de la medida de la utilidad, la comparación interpersonal, etc., como lo hacen también otros enfoques que se han expuesto en este estudio. En relación con estas cuestiones, son interesantes las diversas posiciones recogidas en A. Sen y B. Williams (1982), especialmente las contribuciones de Sen y Williams, Hare, Rawls y Hahn.

La contribución de Uzawa

Seguramente, la obra más ambiciosa sobre el tema que nos ocupa, escrita desde la economía ortodoxa y encarando las respuestas que el calentamiento global y el cambio climático plantean al análisis económico, es el trabajo de Hirofumi Uzawa, publicado en el año 2003.[40] Uzawa explica que:

«El presente estudio constituye un producto de mi intento de modificar y ampliar las premisas de la teoría económica ortodoxa para hacerlas suficientemente amplias para poder analizar el fenómeno del desequilibrio medioambiental, en especial el calentamiento global, y hallar las disposiciones institucionales y las medidas de política que permitirán alcanzar la configuración óptima, en la que el componente natural y el institucional estarán combinados armónicamente para conseguir el estado estacionario ideal, o estado sostenible, utilizando la terminología de moda hoy en día, tal y como profetizó de forma elocuente John Stuart Mill en su obra clásica *Principles of Political Economy* […]», págs. X-XI.

Uzawa destaca dos aspectos del calentamiento global que la teoría económica ortodoxa –siguiendo su terminología– trata con dificultad. El primer aspecto se relaciona con la consideración preferente de recursos escasos sometidos a derechos de propiedad privada y que se intercambian en los mercados; este enfoque impide –escribe Uzawa– captar el carácter de capital social fijo[41] que tiene la atmósfera. El segundo aspecto se refiere a los problemas

40. Uzawa, H. (2003), págs. X-XI.
41. El concepto de capital social fijo (*social overhead capital*) ha sido formulado por el propio Uzawa. Incluye el medio ambiente natural, las infraestructuras y el capital institucional, entre otros; está relacionado con las externalidades estáticas y dinámicas, y permite analizar las implicaciones para la estructura intertemporal óptima de los recursos escasos.

de equidad entre generaciones y entre países. La teoría económica ortodoxa –escribe Uzawa– se plantea problemas de eficiencia, pero no de equidad. Así:

«[…] el problema del calentamiento global ofrece una oportunidad única para examinar de nuevo las premisas de la teoría económica tradicional y buscar un marco teórico que nos capacite para analizar los problemas dinámicos y de equidad que comportan los trastornos, las rupturas (*disruptions*) medioambientales. Este marco lo proporcionan la teoría del crecimiento óptimo y la teoría del capital social fijo».[42]

Uzawa explora modelos cada vez más complejos. El primer modelo que formula es estático y su unidad de análisis son los estados. La función de producción de cada país incluye como *output* las emisiones de dióxido de carbono del propio país. El modelo incluye también una función de utilidad que expresa el bienestar de cada país en función del vector del consumo del país, así como de la cantidad total de emisiones que emiten el conjunto de los países (tal y como corresponde al fenómeno del calentamiento global); los mercados correspondientes a las mercancías se suponen competitivos.

Por otra parte, y dado que el calentamiento global tiene las propiedades de los bienes públicos, hay que introducir ordenamientos institucionales que permitan gestionar el problema. En primer lugar, explora las soluciones de mercado sin impuestos correctores sobre las emisiones. Inicialmente, cada país carga un impuesto a las emisiones de dióxido de carbono a una tasa propia del país, proporcional a la renta nacional.

En este contexto, Uzawa introduce una *función de utilidad mundial*, que presupone utilidad cardinal, y que depende de los consumos de los diferentes países y de sus respectivas emisiones. Uzawa explora la existencia de un óptimo social; éste implica necesariamente una tasa impositiva uniforme.

A continuación introduce un mercado de permisos de emisión. Se distribuyen inicialmente la totalidad de las emisiones. Todo esto en el contexto de la *función social de utilidad*. La función de utilidad depende de las mercancías y también de los *stocks* de capital medioambiental. En esta formulación analiza la distribución de los recursos y de la renta resultante de diversos esquemas de distribución inicial de los permisos.

El siguiente paso es el análisis dinámico, indispensable, ya que los problemas de calentamiento global son genuinamente dinámicos; los *stocks* acumulados de carbono en la atmósfera son relevantes y, por otra parte, el calentamiento global tiene efectos intergeneracionales. El marco formal es la teoría del crecimiento óptimo. La nueva función de utilidad lo es del consumo y de la concentración de dióxido de carbono; ésta refleja el *stock* de carbono residente en la atmósfera. En un primer modelo no hay absorción de carbono por parte de bosques y océanos.

42. Uzawa, H. (2003), pág. 17.

Por último analiza el calentamiento global utilizando la teoría de juegos, concretamente, en términos de un juego cooperativo. Los jugadores son los distintos países que eligen estrategias relativas a los niveles de consumo y de emisiones. Su *pay-off* es igual a su utilidad. La primera parte trabaja con el supuesto de utilidades cardinales, comparables interpersonalmente. Con posterioridad, considera el caso alternativo sin transferencias de utilidades.

Uzawa propone la creación de un Fondo Internacional para la Mitigación de la Atmósfera, aunque considera que no es previsible su creación a corto plazo. Este Fondo, con funciones básicas de equidad internacional, redistribuiría entre países la recaudación derivada del impuesto sobre el carbono. Es la fórmula que propone para considerar simultáneamente eficiencia y equidad.

4.5. Cambio climático y sostenibilidad

Finalmente, conviene destacar que la problemática del cambio climático está estrechamente relacionada con la correspondiente a la sostenibilidad y el desarrollo sostenible,[43] inicialmente conectada con el agotamiento de los recursos no reproducibles y los daños en los sistemas ecológicos. Seguidamente se exponen estas cuestiones de forma muy resumida, con la finalidad de introducir el tema de la sostenibilidad.

Un sistema, un proceso, es insostenible cuando su dinámica no se puede mantener a largo plazo. Un concepto relevante en el marco de este trabajo es el de *desarrollo sostenible*. El Informe Brundtland contiene la definición inicial de *desarrollo sostenible*:

«Está en manos de la humanidad que el desarrollo sea sostenible, es decir, que garantice la satisfacción de las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras».[44]

Las causas identificadas de insostenibilidad del desarrollo son: en primer lugar, el agotamiento de los recursos no reproducibles sin su sustitución por recursos renovables; en segundo lugar, la destrucción del equilibrio de los sistemas ecológicos de apoyo de la vida,[45] y, en tercer lugar, el cambio climático.

En este contexto aparecen dos temas centrales: a) las formas de capital y su sustituibilidad y b) la equidad entre generaciones. La clasificación relevante de las formas de capital es la siguiente: a) capital físico (maquinaria, ordenadores, etc.); b) capital humano (información, conocimientos, etc.); c) recursos no reproducibles (*stock* de petróleo, *stocks* de minerales, etc.); d) recursos renovables (bosques, agua, etc.); e) recursos y sistemas ecológicos (el clima, la capa de ozono, etc.).

43. Véase el conjunto de artículos con diversas orientaciones contenidos en Goldin, I. y Alan Winters, L. eds. (1995), Köhn, J., Gowdy, J., Hinterberger, F. y Van Der Straaten, J. (eds.) (1999), y Dragun, A. K. y Jakobsson, K. M. (1997). Una aportación reciente e innovadora de K. Arrow en Arrow *et al.* (2004). Vegara, J. M. (coord.) *et al.* (2004), capítulos IV y VI.
44. Comisión Mundial del Medio Ambiente y el Desarrollo (1998), pág. 88.
45. Recuérdense las observaciones de Heal en la sección 3.2.2.

La transmisión de un período al siguiente y entre generaciones del *stock* terminal de capital es fundamental para la sostenibilidad. En este marco se distingue entre sostenibilidad débil y sostenibilidad fuerte. La *sostenibilidad débil* es la que se formula en términos de dejar a las generaciones futuras, como mínimo, las mismas opciones, las mismas condiciones de las que dispone la generación actual. Por otra parte, la *sostenibilidad fuerte* analiza los distintos tipos de capital de forma separada, considerando que es necesaria la transmisión a las generaciones futuras de *stocks* no menores de las diversas formas de capital, pero teniendo en cuenta las posibilidades de sustitución que realmente existen entre ellas. En este contexto, es difícilmente admisible la hipótesis de sustituibilidad completa entre todas las formas de capital; lo más patente es lo que implica a los sistemas ecológicos de apoyo general de la vida.

En este contexto conceptual, está claro que el reto del cambio climático se ha incorporado a la problemática del desarrollo sostenible/insostenible actual por méritos propios.

V. Modelos económicos para la evaluación del medio ambiente y del cambio climático

Ana Isabel Guerra
Ferran Sancho

5.1. Introducción

El reto más crítico al que se enfrenta actualmente la sociedad es posiblemente el del cambio climático inducido. A pesar de algunas dudas fruto de las dificultades intrínsecas de medir las características del fenómeno, el consenso científico es innegable sobre el hecho de que las actividades humanas están afectando al clima de forma global, como consecuencia del incremento de las emisiones de gases como el CO_2 generados en la combustión de los fueles de origen fósil. La incertidumbre existente sobre el grado concreto en que las temperaturas han aumentado no puede ocultar que la tendencia ha sido a la alza y, lo que es más relevante, a una tasa creciente.

Las circunstancias que afectan al cambio climático son globales, pero las responsabilidades son locales, en la medida en que los países pueden definir y aplicar sus propias políticas de mitigación dentro del marco que los acuerdos internacionales, como el protocolo de Kioto, marcan. Por lo tanto, hay que evaluar las posibilidades de éxito o, más modestamente, incidir en el control del problema que las políticas de mitigación pueden tener. En este capítulo exploramos estas posibilidades tomando como marco de referencia la economía española y algunas de las actuaciones que se han adoptado o se podrían llegar a adoptar si el marco regulador gubernamental así lo decidiese. El resultado de estas posibles actuaciones se puede medir, aunque sea aproximadamente, gracias al hecho de disponer de modelos económicos que reproducen con bastante fidelidad las características estructurales de la economía, tanto desde la perspectiva de la producción como de la demanda. El papel de los modelos económicos no es otro que el de construir el marco necesario para llevar a cabo medidas y evaluaciones de forma rigurosa con el contexto económico y coherente con la repercusión esperada de las medidas adoptadas o adoptables.

5.2. La relación entre economía, energía y medio ambiente

Fue a partir de la crisis del petróleo del año 1973 cuando los economistas empezaron a mostrar un interés científico sostenido por las interacciones existentes entre energía y economía. Se iniciaron análisis tanto de carácter cualitativo como cuantitativo, con el objetivo de entender el funcionamiento de los mercados energéticos y el papel que éstos tenían dentro del conjunto del sistema económico. Con posterioridad, en los años ochenta, tomó impulso el concepto de crecimiento sostenible y, en consecuencia, no sólo era importante conocer las interacciones entre energía y economía, sino también las de ambas con el medio ambiente.

La interacción entre economía, energía y medio ambiente, siendo compleja, se puede resumir de forma rápida y simple. Si visualizamos una economía como un conjunto de sectores productivos y de consumo que interaccionan entre sí, el subconjunto de los sectores energéticos tiene la función de proveer al resto de sectores y unidades productivas de los bienes, llamados *inputs* energéticos, que son necesarios para producir los otros bienes y servicios. Tanto la producción de *inputs* energéticos como su uso en el resto de actividades productivas conllevan, por razones de tipo fisicoquímico, la aparición de un abanico de nuevos productos, o subproductos, que tienen efectos adversos en el medio ambiente y que no son el objeto directo ni deseado de las actividades productivas. Se trata de las emisiones de gases contaminantes, de los que el dióxido de carbono, CO_2, es el más conocido.

La naturaleza de la relación existente entre nivel de actividad económica y nivel de emisiones sigue teniendo un grado importante de ambigüedad. Hay economistas que consideran que, en el caso de las emisiones de dióxido de carbono, existe una relación en forma de U invertida. Es la llamada hipótesis de la curva medioambiental de Kuznets. Este supuesto considera que existe una relación directa y creciente entre renta per cápita y nivel de emisiones, hasta llegar a un punto de inflexión en que se produce un cambio de signo (Holtz-Eakin y Selden, 1995). Según esta hipótesis, en las primeras etapas de desarrollo económico las emisiones aumentan, pero disminuyen o se estabilizan una vez alcanzado un estadio determinado de madurez en el desarrollo (Huntington, 2005). La explicación radica en el cambio estructural que altera la base económica de las economías avanzadas en la medida en que, primero, los sectores de los servicios adquieren más peso económico y son por naturaleza menos emisores directos de gases contaminantes y, segundo, por el desarrollo y la adopción de tecnologías productivas más limpias.

En los análisis realizados hasta el momento se ha encontrado evidencia empírica que, a pesar de que puede ser debatida (Seppala *et al.*, 2001), avala el cumplimiento de la hipótesis de Kuznets para el conjunto de las economías desarrolladas[1] (Schmalensee *et al*., 1998) y para casos más particularizados (Sun, 1999). No obstante, también hay estudios que han encontrado una relación diferente entre crecimiento y emisiones, bien cuando se han analizado casos a nivel regional (Roca y Alcántara, 2001) o bien cuando se ha contrastado esta hipótesis únicamente para el conjunto de países industrializados (Wei Ming Huang *et al*., 2008). Las diferencias encontradas se pueden explicar, entre otras razones, por el tipo de gases contaminantes considerados, por si el análisis se ha hecho a nivel global o sólo regional, y también por el tipo de metodología empleada a la hora de estimar la relación.

Queda fuera de duda que la relación entre nivel de actividad económica y deterioro del medio ambiente es evidente, e incluso si es correcta la hipótesis de que en las economías más desarrolladas esta relación puede debilitarse en el tiempo, ello no quita relevancia al hecho

1. Para un comentario crítico de esta evidencia, véase Seppala *et al.* (2001).

de que es necesario emplear medidas y políticas que reduzcan el problema. Esto se debe a que el efecto marginal de las emisiones tiene, en el tiempo, un impacto cada vez más severo debido al nivel de contaminantes que ya se acumulan en la atmósfera.

5.3. El medio ambiente como bien de consumo

Los efectos adversos del cambio climático inducido pueden clasificarse en efectos directos (no-mercado) y efectos indirectos (mercado). Los primeros están relacionados con la degradación de los espacios naturales *per se*, mientras que los segundos se deben al efecto que éstos tienen sobre los mercados. Algunos ejemplos de las consecuencias directas, o efectos de no-mercado, a gran escala, del cambio de las temperaturas medias son: los procesos de desertificación, la consiguiente alteración de los ecosistemas y los efectos negativos que esto comporta sobre la biodiversidad; el aumento del nivel del mar debido a los deshielos polares;[2] los cambios en los regímenes pluviométricos y las alteraciones de los cultivos; el aumento de la frecuencia e intensidad de fenómenos naturales con efectos devastadores (como los monzones), y los efectos adversos sobre las condiciones de la salud mundial (incrementando la probabilidad de aparición de malaria, dengue y fiebre amarilla). Los efectos directos también tienen una traslación a los mercados, afectando de forma global a la economía. El efecto más significativo se da, sin embargo, en aquellos sectores cuya viabilidad depende de forma directa de los recursos medioambientales. Es el caso de la pesca, la agricultura o el propio turismo. Para intentar evaluar el impacto económico del cambio climático es preciso, pues, tener presentes tanto los efectos directos como los indirectos.

La valoración de los costes económicos que supone el cambio climático requiere un análisis cuantitativo exhaustivo y extenso de sus efectos. Uno de los instrumentos más utilizados hasta ahora por los analistas han sido los denominados modelos de valoración integrada, donde se integran la economía global, el medio ambiente y el cambio climático. Estos modelos cuantifican los costes derivados del cambio climático desde la perspectiva de la economía medioambiental –es decir, partiendo del hecho de que es la actividad económica la causante del deterioro– y estiman el impacto económico como la diferencia entre el valor del PIB en dos escenarios: uno es el escenario hipotético en el que no habría cambio climático y el otro es el escenario en que este cambio se produce.

Justo es decir que, a pesar de las notables diferencias en los resultados, las conclusiones que se derivan de estos estudios muestran la urgencia y la necesidad de adoptar políticas de mitigación para corregir el fallo del mercado asociado a las emisiones. La intervención del gobierno se puede justificar por dos motivos. El primero tiene que ver con el hecho de que el impacto de las emisiones es creciente en el tiempo y puede dar lugar, incluso, a consecuencias catastróficas. La intervención del gobierno se justifica, pues, por razones de

2. Estimado hasta ahora alrededor de 50 centímetros. En caso de llegar a 1 metro, esto supondría la pérdida de hasta un 1% de la tierra disponible en Egipto y hasta un 6% en Holanda, por ejemplo.

eficiencia, reduciendo así el impacto económico derivado de la externalidad negativa del cambio climático y la probabilidad de grandes desastres naturales. La segunda está relacionada con el hecho de que los costes sociales son más elevados para las economías en desarrollo que para las economías más ricas. En este caso, la justificación se basa en la búsqueda de equidad para los efectos distributivos adversos que puede tener el cambio climático.

5.4. Las políticas de mitigación

El objetivo que comparten las políticas medioambientales relacionadas con el cambio climático es el de alcanzar un nivel sostenible de emisiones. Este nivel se define como aquél que permitiría que el planeta depurase por sí mismo los gases contaminantes acumulados en la atmósfera. De acuerdo con el análisis de Stern (2007), y en las condiciones actuales, alcanzar un nivel estabilizador de emisiones supondría reducir el nivel de emisiones relativo al PIB mundial en un 25% en el año 2050. Los instrumentos de las políticas medioambientales con las que se debería trabajar para lograr este objetivo deberían ser extraídos de tres grandes categorías de medidas: políticas de precios, políticas de cambio tecnológico y políticas de regulación.

5.4.1. Políticas de precios

El objetivo de estas acciones está encaminado a reducir el uso y la demanda de aquellos productos que son intensivos en emisiones contaminantes. Dentro de estas medidas se encuentran los llamados impuestos *pigouvianos* (Pigou, 1920), que hacen que los precios reflejen, además de los costes privados, los costes externos generados por las emisiones. En otras palabras, que reflejen el coste social. El impuesto contemplaría el daño o externalidad causado por las emisiones y permitiría acercarnos a un nivel de emisiones socialmente óptimo. Una medida alternativa para lograr el mismo objetivo sería pagar subvenciones a los receptores de las emisiones. De acuerdo con el teorema de Coase (1960), en condiciones ideales ambas medidas son equivalentes desde el punto de vista de la eficiencia. Dicho de otro modo, no importa si el responsable de las emisiones es quien debe compensar a las víctimas o si es la víctima quien debe ser compensada.

Por desgracia, estas condiciones ideales no se dan en la práctica. Cuando se comparan los efectos de los dos instrumentos, tanto a corto como a largo plazo, resulta que las subvenciones conllevan mayores pérdidas de eficiencia. En el corto plazo, las subvenciones facilitan la permanencia de empresas ineficientes en el mercado. El efecto a largo plazo podría ser incluso peor si las subvenciones acabasen provocando la entrada de más empresas en el mercado y, por lo tanto, se incrementasen aún más las emisiones. Las subvenciones, por otra parte, requieren captar recursos de otras fuentes, lo que no ocurre con los impuestos. Ésta es la razón por la que la aplicación de los impuestos *pigouvianos* es la política de mitigación preferida dentro de las políticas de precios de los planificadores.

5.4.2. Políticas de cambio tecnológico

En esta categoría se incluyen las políticas que tienen como finalidad incentivar los sectores productivos para que efectúen los cambios pertinentes en su estructura tecnológica a fin de reducir el nivel de las emisiones que generan. Dentro de esta categoría pueden distinguirse dos subcategorías. Una primera consiste en políticas orientadas a mejorar la eficiencia en el uso y la producción de energía contaminante. La segunda persigue facilitar que las empresas adopten nuevas tecnologías que hagan uso de fuentes energéticas más respetuosas con el medio ambiente (por ejemplo, adoptar energía solar o hidrógeno a partir de la biomasa). Este conjunto de políticas, en particular las de la segunda subcategoría, tienen unos efectos más a largo plazo que las políticas de precios y ello es debido a que el proceso de innovación tecnológica y su posterior aplicación para las unidades productivas requiere tiempo. Stern (2007) destaca que las políticas de cambio tecnológico serían las más indicadas para reducir de forma drástica el nivel de las emisiones. En la práctica, no obstante, inducir a las empresas a incorporar este cambio tecnológico requiere que se pongan en funcionamiento otras medidas a corto plazo, como son promover a través de subvenciones la inversión en I+D o bien arbitrar impuestos de forma que las tecnologías más avanzadas y limpias acaben siendo las menos costosas.

5.4.3. Políticas de regulación

La regulación consiste en el uso del arsenal legal para conseguir modificar normativamente el comportamiento de las empresas y de los consumidores con la finalidad de reducir las emisiones. Es lo que en literatura se llama regulación directa. Un ejemplo es el de las denominadas «restricciones» del nivel de emisiones. De forma parecida a las políticas de precios, las de regulación se dejan notar más a corto plazo. Ahora bien, en términos de eficiencia, los resultados pueden ser diferentes según el grado de incertidumbre y el horizonte temporal en que se comparen.

En presencia de incertidumbre sobre el coste de las emisiones y sobre el coste que supone el control de las emisiones, ambas perspectivas acaban siendo equivalentes en términos de eficiencia. Weitzman (1978) demostró, sin embargo, que ante la presencia de incertidumbre sobre los costes marginales de las emisiones, la regulación directa generaba menos pérdidas de eficiencia si, sobrepasado un determinado nivel de emisiones, el daño marginal crecía considerablemente. Esto es así a largo plazo, ya que los beneficios marginales del control de las emisiones son más inelásticos (la variación acumulada del nivel de emisiones tendrá un efecto considerable sobre los problemas medioambientales). A corto plazo, los beneficios son más elásticos y, en consecuencia, las políticas de precios generan menores pérdidas de eficiencia.

Stern (2007) propone aplicar políticas de precios conjuntamente con políticas de incentivos a corto plazo y combinarlas con políticas a más largo plazo relacionadas con la sustitución hacia tecnologías más limpias. Las políticas de incentivos con efectos a corto plazo deberían ser suficientemente flexibles como para que pudiesen adaptarse a cualquier nueva

información obtenida sobre los costes generados por las emisiones. Todo ello aumentaría la eficacia y la eficiencia de las políticas de mitigación, a la vez que reduciría los costes de la incertidumbre existente.

5.5. Evaluación de los costes de mitigación

La protección de la calidad del medio ambiente, un bien deseable en la terminología de los economistas, conlleva necesariamente unos costes. Estos costes deberían ser considerados, no obstante, como una inversión que permite reducir el riesgo y los elevados costes que pueden resultar de las situaciones derivadas del cambio climático inducido por las actividades económicas. En la medida en que las políticas de mitigación estén bien planificadas y bien coordinadas se reducirá el grado de incertidumbre, así como los costes que se derivan de ella. Una planificación adecuada requiere una evaluación previa de las políticas en cuanto a sus efectos directos e indirectos. Hemos comentado anteriormente que, a la hora de medir el impacto económico del cambio climático inducido, los modelos de valoración integrada eran una buena herramienta metodológica, ya que intentaban captar los efectos directos e indirectos. Sin embargo, por la naturaleza de los efectos indirectos, los modelos económicos de alcance macroeconómico son posiblemente una metodología más adecuada. Dentro de estos modelos se pueden distinguir cuatro grandes categorías:

a) **Modelos de sistemas energéticos.** Son modelos con una base de ingeniería que incorporan una descripción exhaustiva de las tecnologías productoras de energía. Permiten evaluar los costes asociados a alcanzar un cierto nivel de demanda para diferentes tecnologías, de forma que es posible identificar y seleccionar las menos costosas. Presentan, no obstante, la dificultad de que no permiten averiguar los efectos sobre el total de la economía, ya que se centran exclusivamente en la exploración de los sectores energéticos.[3]

b) **Modelos econométricos.** Utilizan estimaciones econométricas para simular los efectos de las políticas de mitigación.[4]

c) **Modelos de equilibrio general aplicado (MEGA).** Estos modelos tienen una doble vertiente macro y microeconómica. Por un lado, representan el conjunto de una economía y permiten visualizar los efectos agregados (macro). Por otro lado, clasifican la economía en un conjunto de sectores productivos y de consumo, de forma que es posible ver el detalle específico del funcionamiento de un sector (micro). La cadena de interdependencias entre los sectores hace que estos modelos capten adecuadamente tanto los efectos directos como los indirectos.[5]

3. En relación con el sector siderúrgico y el calentamiento global, puede citarse el trabajo de Rao *et al.* (2006).
4. Uno de los ejemplos que es preciso destacar en relación con el cambio climático es el de Lutz *et al.* (2005) para Alemania. El modelo POLES es utilizado por la Comisión Europea para tratar los problemas energéticos.
5. El modelo PAGE 2002 (Hope, Ch. (2003)) ha sido utilizado para elaborar el Informe Stern. Markal (Labriet, M., Loulou, R. y Kanudia, A. (2005)) está centrado en el sector energético e incorpora restricciones medioambientales. Un ejemplo de estos modelos referido a España se puede encontrar en Manresa y Sancho (2005). Véanse también los trabajos de Labandeira y Rodríguez (2007) y el de González Ruiz de Eguino (2007).

d) **Modelos de optimización.** Se caracterizan por el uso de una función objetivo que permite seleccionar una solución óptima en el marco del modelo.[6]

e) **Modelos híbridos.** Son modelos que integran o combinan los tres modelos «puros» anteriores en función de las ventajas particulares que pueden aportar cada uno de ellos (Böhringer, 1998; McFarland *et al.*, 2004). Así, por ejemplo, los modelos de sistemas energéticos complementan a los modelos MEGA ofreciendo información más detallada sobre las tecnologías de producción energética, mientras que los modelos econométricos aportan estimaciones sobre características estructurales de la economía que pueden ser necesarias en el funcionamiento de estos modelos.

Vistas las propiedades y características de estas herramientas de análisis, se puede afirmar que los modelos de equilibrio general aplicados son la plataforma principal a la hora de analizar y evaluar los efectos indirectos o de mercado de las políticas de mitigación. Las herramientas metodológicas comentadas, como se desprende de los modelos híbridos, acaban ejerciendo un papel complementario sobre el desarrollo de los modelos de equilibrio general. A continuación ofrecemos una descripción más en profundidad de los MEGA y la pertinencia que tienen los efectos indirectos en la evaluación de políticas y, especialmente, en el caso medioambiental.

5.6. Las interconexiones entre mercados en la evaluación de políticas

El primer economista que destacó la relevancia que tenían las interconexiones entre mercados para el desarrollo de una economía fue Hirschman (1958). La justificación de su argumento se apoyaba en el concepto de eficiencia. Una mayor interconexión entre mercados implica un mayor número de posibilidades a la hora de distribuir los recursos de que dispone una economía, lo que puede dar pie a una asignación más flexible de los recursos y a una estructura productiva más eficiente. Hirschman observó que las interdependencias entre mercados también condicionaban los resultados de las políticas económicas aplicadas, de modo que en algunos casos incluso podían ser mucho más efectivas de lo que se preveía. El hecho de que una política se articule en un mercado concreto no puede ocultar que sus efectos se acabarán extendiendo de forma indirecta al resto de mercados, tanto si éstos tienen o no una conexión inmediata con el mercado en cuestión. Las interconexiones entre dos mercados pueden ser directamente visibles, o no serlo de forma directa pero sí de forma indirecta mediante diferentes grados de separación, no necesariamente visualizables a primera vista.

Los modelos de equilibrio general no son más que una formulación teórica que permite abstraer de forma relativamente simple la realidad económica en la que los mercados interaccionan entre sí. Las interconexiones, que van desde simples relaciones de compraventa de bienes intermedios o finales hasta tener en cuenta el rol de la complementariedad o de la sustitución entre bienes, hacen que cualquier modificación en los precios de los bienes o

6. RICE es uno de los primeros modelos economía-clima.

en la estructura de producción que esté motivada por la aplicación de una política determinada acabe haciéndose notar sobre el conjunto de sectores de la economía. Y de nuevo, esto sucede tanto a través de los impactos directos como de los indirectos. Por este motivo, los modelos de equilibrio general son herramientas muy útiles a la hora de efectuar análisis y evaluaciones que tengan en consideración el carácter de alcance global que en general se sigue en las actuaciones de política económica. La ficha 5.1 contiene la formulación de las características básicas de los modelos de equilibrio general computacional.

Ficha 5.1 Características sintéticas de un MEGA

Bienes y sectores:

Incluye una clasificación de sectores productivos diferenciados, de los cuales un subconjunto son sectores energéticos. Por el nivel de agregación empleado, cada sector produce un único bien o servicio. El grado de agregación sectorial es siempre un equilibrio entre la disponibilidad de datos y el tipo de pregunta que se formula. En la práctica, los modelos más habituales tienen entre 20 y 40 sectores productivos. Se procura agregar los sectores afines sobre los que no es relevante la cuestión planteada y mantener la desagregación más amplia posible sobre los que recae directamente el interés de la investigación. En los modelos de corte medioambiental, por ejemplo, se mantienen todos los sectores energéticos, pero no hace falta mantener una distinción tan fina para el resto.

Empresas:

Cada sector productivo dispone de una tecnología productiva que combina bienes domésticos y bienes importados para ofrecer un bien final agregado. A su vez, el bien doméstico proviene de combinar valor añadido y materiales, mientras que el valor añadido es el resultado de combinar dos factores primarios: trabajo y capital. Por otra parte, el bien doméstico y el bien importado pueden, o no, ser sustituibles entre sí.

Consumidores:

Los agentes privados obtienen utilidad del consumo actual y del consumo futuro (ahorro). Los bienes de consumo son siempre sustituibles entre sí, con elasticidad de sustitución constante y unitaria (caso Cobb-Douglas). Al mismo tiempo, los agentes privados son los propietarios de los factores primarios que son ofrecidos en los mercados de factores y de los que los agentes privados obtienen ingresos que constituyen sus rentas. Las rentas disponibles son siempre las rentas netas, dado que las rentas de los agentes privados están sujetas a la interacción fiscal con el sector público (que grava rentas y aporta transferencias sociales).

Sector Público:

El gobierno actúa como recaudador de impuestos y como agente canalizador de gasto. Los impuestos que recauda contemplan las grandes figuras del sistema impositivo, tanto desde la perspectiva de la imposición directa (impuesto sobre la renta) como indirecta (IVA, cuotas a la Seguridad Social, impuestos indirectos sobre la producción y los productos, aranceles). El gasto del gobierno tiene una parte endógena y otra exógena. La primera incluye transferencias que están indexadas con la evolución de la economía, como son las partidas para compensación del paro. Entre las segundas está el consumo y la inversión pública propiamente dicha, que son magnitudes sobre las que el gobierno puede decidir su nivel *ex ante*. La diferencia entre ingresos y gastos es el déficit o superávit del sector público. Si el déficit es una variable bajo control político, entonces el gasto público no indexado se ajusta a las directrices de control del déficit. Si, por el contrario, el gobierno prioriza las decisiones sobre el nivel de gasto no indexado, entonces el déficit pasa a ser una variable endógena.

Sector Exterior:

El sector exterior describe las decisiones sobre las importaciones en función del principio de Armington, por el cual la producción doméstica y la de los otros países son sustitutos imperfectos. El grado de sustitución está gobernado por un parámetro de elasticidad que, en función de los precios domésticos y de los precios internacionales, permite

Ficha 5.1 Características sintéticas de un MEGA (continuación)

determinar la composición óptima de bienes producidos localmente o importados. La demanda de bienes importados es, por lo tanto, una magnitud endógena. Las exportaciones, en contraste, son decisiones que se toman por agentes no incluidos en el modelo y se formulan de forma paramétrica. El déficit del sector exterior es, en consecuencia, una magnitud endógena.

Mercado de trabajo:

El mercado de trabajo presenta fricciones que impiden la plena ocupación del factor trabajo. Estas fricciones se modelizan con una elasticidad de respuesta del salario real a la tasa de paro. La demanda de trabajo está vinculada a los precios de los factores primarios y al nivel de producción de las empresas. La oferta de trabajo es elástica al salario real hasta alcanzar el nivel máximo de ocupación, donde pasa a ser inelástica. Se produce paro cuando la demanda de trabajo de las empresas se formula en la sección elástica de la oferta. El trabajo no ocupado obtiene una renta compensatoria del gobierno en forma de transferencia por paro.

Conducta de los agentes económicos:

El comportamiento de todos los agentes es racional en el sentido de que consumidores y empresas persiguen alcanzar de la mejor manera posible sus objetivos de bienestar y de beneficios. El comportamiento racional de consumidores y empresas implica que las fuerzas de los mercados se estructuren en demandas y ofertas de bienes y servicios y de factores primarios.

Equilibrio micro y macro:

El funcionamiento global de la economía está sujeto a las condiciones de equilibrio entre ofertas y demandas. En un equilibrio de todos los mercados, con la posible excepción del mercado de trabajo, éstos se gobiernan por precios que garantizan la compatibilidad entre ofertas y demandas. Al mismo tiempo, las recaudaciones del sector público permiten realizar los planes de gasto del gobierno. El equilibrio micro garantiza, sin embargo, el balance de las magnitudes macroeconómicas, de forma que el PIB desde la perspectiva de las rentas coincide con el PIB desde la perspectiva del gasto. Esta igualdad garantiza que el flujo circular de la renta no presente fugas.

Emisiones de gases:

El volumen de emisiones de gases como el CO_2 se formula como un subproducto de la actividad productiva. Se asume una tecnología de emisiones que está vinculada al nivel de uso de *inputs* energéticos contaminantes. La tecnología se formula basándose en coeficientes técnicos elaborados por agencias estadísticas nacionales o internacionales. En la medida en que las políticas de mitigación alteran el nivel y composición de la producción, también alteran de forma indirecta el nivel de emisiones.

Informaciones complementarias:

Con una estructura similar a la presentada en el presente recuadro, existen muchas otras versiones alternativas de modelos de equilibrio general. Un elemento diferenciador es el grado de agregación de los modelos MEGA. Otro elemento diferenciador se basa en las elasticidades que gobiernan las variables económicas, pero éste es un factor de tipo empírico que se puede parametrizar. También es relevante la modelización del sector público en cuanto al número y características de los impuestos contemplados. Todos estos factores introducen variabilidad y, por lo tanto, es habitual, y de hecho conveniente, efectuar análisis de robustez para acotar el grado de variabilidad plausible en los resultados de los modelos. Una familia diferente de modelos son los dinámicos o multiperíodo. Estos modelos suelen tener una estructura más limitada en cuanto a desagregación, dado que no existen datos desagregados para períodos consecutivos. Los modelos dinámicos acaban siendo muy agregados por este problema de datos. Por otra parte, los modelos dinámicos son muy sensibles a las condiciones iniciales y la incertidumbre existente sobre los parámetros hace que los resultados tengan un grado de variabilidad considerable. Por último, la agregación imprescindible en estos casos hace que no pueda visualizarse el proceso de reasignación de recursos que tiene lugar a nivel sectorial cuando se aplican políticas con especificidad sectorial, como es el caso de la política impositiva.

La incidencia de una política económica puede ser estudiada, haciendo uso de un modelo de equilibrio general, desde una perspectiva cualitativa o cuantitativa. En el caso cualitativo, los modelos teóricos de equilibrio general son suficientes para ofrecer una indicación sintética acerca de cuál es la dirección de los efectos plausibles de una política sobre las principales variables de tipo macroeconómico (por ejemplo, los niveles de precios, producción, consumo o inversión, entre otros). Ahora bien, en el caso en que es necesario disponer de resultados cuantitativos para concretar el grado en que las variables económicas serán afectadas, entonces se hace imprescindible compaginar el enfoque teórico con un complemento estadístico que dote de contenido numérico, construido sobre datos del mundo real, al modelo en cuestión. Ésta es la opción metodológica por la que optan los modelos de equilibrio general aplicado, o MEGA, con el fin de poder ofrecer valoraciones cuantitativas de las políticas. La base estadística sobre la que se construyen los modelos de equilibrio general aplicado se basa fuertemente en los datos de Contabilidad Nacional, las tablas *input-output*, las encuestas de consumo y las estadísticas tributarias y de comercio exterior. Toda esta información se combina y compila en lo que se conoce como matriz de contabilidad social. Esta matriz es una tabla numérica ordenada que contiene el mismo número de filas que de columnas y donde el valor de cada celda representa un flujo económico entre dos agentes. El conjunto de todas las celdas ofrece una visión desagregada del flujo circular de la renta y el grado de detalle es totalmente compatible con las cifras agregadas de la Contabilidad Nacional. Esta doble visión micro-macro que incorporan las matrices de contabilidad social las hace ser especialmente valiosas para la puesta en marcha de los modelos de equilibrio general aplicado.

Un modelo de equilibrio general aplicado se puede ver, de forma muy simplista, como un sistema de ecuaciones en el que las distintas fuerzas del mercado (ofertas y demandas) están representadas en forma de ecuaciones que se ajustan entre ellas para garantizar la compatibilidad entre lo que se demanda y lo que se produce. Las variables que se deben determinar son los precios y las cantidades intercambiadas entre los agentes económicos. El modelo debe ofrecernos dos puntos de comparación. El primero corresponde a la situación inicial, en que se representa la economía en un estado de referencia previo al de cualquier actuación del gobierno. El segundo corresponde a la situación hipotética, en que se ha implementado una política de interés a través de la simulación de un *shock*. La simulación del *shock* introducido permite averiguar los efectos sobre la economía mediante una comparativa entre el estado inicial de referencia (antes de la política) y el estado final simulado (después de la política). Es evidente que los resultados están condicionados a la estructura que describe la economía. Así, el grado de sustitución entre *inputs* y factores productivos, el grado de sustitución entre los bienes de consumo desde la perspectiva de los consumidores, o los tipos de reglas de cierre del sector público por lo que respecta a su gasto, entre otros, pueden afectar a los resultados que los modelos cuantifican. El abanico de variabilidad de los resultados se pondera habitualmente realizando un análisis de sensibilidad, de modo que se pueden establecer intervalos razonables para acotar el grado de incertidumbre que inevitablemente acompaña al desarrollo de todo modelo económico con contenido empírico.

En el caso concreto de las políticas medioambientales de mitigación, una evaluación apropiada de sus efectos requiere complementar los datos económicos de la Contabilidad Nacional con datos específicos referidos al medio ambiente. Las Naciones Unidas (1993), por ejemplo, han propuesto la creación del Sistema de Cuentas Económicas y Medioambientales (SEEA es el acrónimo en inglés) con el fin de evaluar de forma integrada las políticas de mitigación. En este sistema contable se añaden a las cuentas económicas tradicionales otras que tienen que ver con el nivel de emisiones y con los bienes medioambientales. Con esta combinación de datos se facilita que en la evaluación de las políticas de mitigación se tenga en cuenta el impacto no sólo en los indicadores económicos, sino también en los medioambientales.

Un ejemplo empírico de un MEGA energético de la economía española

En la literatura económica disponemos de un variado repertorio de modelos de equilibrio general aplicado. Algunos han sido diseñados para el análisis de medidas de corte medioambiental. Un ejemplo es el modelo de Manresa y Sancho (2005) para la economía española, algunos de cuyos resultados pasamos a ilustrar y comentar a continuación.

El modelo de la economía española distingue entre 22 sectores productivos diferenciados. Estos sectores están construidos siguiendo la clasificación de las tablas *input-output* españolas producidas por el Instituto Nacional de Estadística. El número de sectores de las tablas *input-output* se ha consolidado en 22 por criterios de afinidad productiva, excepto los sectores energéticos, que se mantienen en el grado de detalle más amplio contemplado en las tablas oficiales. Cada uno de estos sectores es, a la vez, un proveedor de *inputs* para el resto de sectores y un suministrador de bienes para satisfacer la demanda final (consumo privado, consumo público, formación bruta de capital, exportaciones). Por consiguiente, hay dos fuentes de demanda en el modelo: la demanda intermedia de las empresas, en concepto de los *inputs* que requieren para llevar a cabo sus actividades de producción, y la demanda final. El total de demanda debe ser satisfecha por el total de producción que se genera en la economía. El balance entre oferta y demanda está condicionado por el estado de la tecnología (que es una fotografía de lo que es técnicamente factible) y por los precios que gobiernan el intercambio de los bienes entre demandantes y oferentes (que permiten modular, y eliminar si procede, las discrepancias entre los dos lados de los mercados). Los precios están gobernados por los costes de producción, que a su vez son consecuencia directa de la tecnología productiva y de los precios de los bienes y factores empleados como *inputs*. Los precios también están influenciados por las políticas impositivas del sector público en términos de los impuestos indirectos que gravan las transacciones de bienes y servicios.

A modo de ejemplo, pensemos en un incremento selectivo de los impuestos indirectos en algunos bienes (no necesariamente todos). Unos impuestos más elevados acaban repercutiendo en la estructura de costes de las empresas, por un lado, y en la factura pagada por los consumidores, por otro. Así, se genera un incentivo económico a rehuir el uso y consumo de los bienes que, mediante los impuestos, se convierten en más caros en términos

relativos. En contrapartida, obviamente, podemos encontrar el efecto contrario para los bienes que se vuelven relativamente más baratos. En definitiva, un incremento en una tasa impositiva genera un estímulo de sustitución para cambiar la composición de la cesta de bienes que requieren empresas o consumidores finales para llevar a cabo sus actividades económicas. Este estímulo económico a la sustitución será más o menos efectivo en función de la amplitud en la capacidad de adaptación de los agentes económicos al entorno impositivo cambiante. En otras palabras, el alcance de la sustitución dependerá del grado de flexibilidad en la estructura tecnológica y de consumo en la que actúan y toman decisiones los agentes económicos.

Tenemos pues, por un lado, que el aumento de la fiscalidad genera un incentivo por el cual los agentes modifican sus decisiones y, por otro, que la intensidad con que las decisiones acabarán cambiando está sujeta al entorno estructural que las condiciona. La evaluación de la efectividad del cambio en la política fiscal, de cara a los objetivos deseados, deberá medirse teniendo en cuenta los escenarios en que los agentes pueden tomar decisiones. A tal efecto analizaremos tres escenarios diferenciados, que nos permitirán situar las coordenadas de los efectos más plausibles. En un **primer** escenario asumiremos *rigidez* en el entorno, entendiéndola como la imposibilidad de realizar sustituciones entre *inputs*. Este escenario es poco realista a medio y largo plazo, pero tiene cierta verosimilitud en el corto plazo cuando las empresas no pueden alterar las recetas productivas habitualmente empleadas. En un **segundo** escenario, al que llamaremos *flexible*, modificaremos el supuesto de rigidez y permitiremos que las empresas sustituyan factores primarios, trabajo y capital, entre sí en función de los cambios inducidos en los precios. Por último, en un **tercer** escenario, mantendremos constante el tamaño de los ingresos fiscales del gobierno, de forma que el aumento de la fiscalidad indirecta sobre los bienes será compensado por una reducción equivalente en la fiscalidad sobre el trabajo. A este escenario lo denominaremos *escenario flexible con compensación fiscal*.

Los cambios que puedan producirse en los indicadores económicos de producción y consumo tendrán, además, una segunda consecuencia en la esfera medioambiental. El uso por parte de empresas y de consumidores de bienes energéticos comporta como subproducto de las actividades realizadas un flujo de emisiones de CO_2 a la atmósfera. El nivel de este flujo depende de los bienes energéticos utilizados, ya que no todos los bienes energéticos generan las mismas emisiones. Existe una tecnología de emisiones asociada a cada uno de los bienes energéticos. El uso de carbón, por ejemplo, induce un nivel de emisiones diferente (y más alto) del que se deriva del uso de gas natural o de energía nuclear. Podemos usar los coeficientes de emisiones de CO_2 elaborados por la Oficina Estadística de la Unión Europea (EUROSTAT), de forma que podemos asociar emisiones de CO_2 al uso de los diferentes bienes energéticos.

Tenemos, pues, todas las piezas que necesitamos: un modelo económico de equilibrio general aplicado que nos permite visualizar el funcionamiento conjunto de una economía compuesta por 22 sectores productivos y una correspondencia entre nivel de emisiones de

CO_2 y nivel de actividad económica. Sólo nos hace falta introducir la política de mitigación medioambiental. Analizaremos una medida fiscal dual consistente en introducir una ecotasa del 10% sobre el uso de todos los bienes energéticos y una tasa adicional del 15% a la ya existente sobre el uso de refinados del petróleo (en sentido amplio: gasolina, diésel, etc.). Distinguiremos dos impactos sobre el nivel de emisiones de CO_2, el que corresponde a la respuesta a la política fiscal por parte de las actividades de producción y el que corresponde a la demanda final. La tabla 5.1 presenta los resultados en los tres escenarios contemplados y para las dos medidas impositivas.

Tabla 5.1 **Cambio porcentual en las emisiones de CO_2**

VERSIÓN MODELO	ECOTASA	RECARGO REFINADOS	ECOTASA + RECARGO
RÍGIDO			
CO_2 asociado a producción	–1,41	–0,16	–1,56
CO_2 asociado a demanda	–15,52	–6,51	–21,15
CO_2 conjunto	–3,25	–0,99	–4,12
FLEXIBLE			
CO_2 asociado a producción	–2,18	–0,34	–2,59
CO_2 asociado a demanda	–16,16	–6,43	–21,89
CO_2 conjunto	–4,00	–1,16	–5,07
FLEXIBLE Y COMPENSACIÓN			
CO_2 asociado a producción	–1,02	–0,18	–1,22
CO_2 asociado a demanda	–14,49	–6,39	–20,11
CO_2 conjunto	–2,78	–0,99	–3,69

Fuente: Manresa y Sancho (2005).

La lectura de los resultados pone de manifiesto que la flexibilidad tecnológica aumenta la reducción de las emisiones. Cuando las empresas y los consumidores tienen un grado de adaptabilidad superior, pueden rehuir con mayor intensidad el incremento de la fiscalidad, de forma que los bienes con un componente energético superior son utilizados en menor grado. El beneficio añadido, desde la perspectiva medioambiental, es una reducción del subproducto de emisiones de CO_2. Una segunda lectura subraya que, al mantener la presión fiscal a través de compensación en otros impuestos no medioambientales, la efectividad de la política de mitigación se reduce. Aquí es importante destacar que este efecto reducido en la mitigación debe valorarse conjuntamente a la luz de otros efectos que no hemos discutido. Un ejemplo es el impacto de la fiscalidad en el nivel de ocupación laboral. Un aumento en la fiscalidad conlleva una reducción de la actividad económica y, por lo tanto, de la demanda de trabajo. Desde la perspectiva del bienestar social, tenemos dos efectos que se mueven en dirección contraria. Por un lado, una mejora de la calidad medioambiental se ve como un factor positivo; por otro, un incremento del paro se ve como un factor negativo. En el diseño de las políticas del sector público hay que procurar valorar todos los efectos previsibles y hallar el equilibrio adecuado entre ellos. Al compensar mediante

los impuestos medioambientales, reducimos los efectos de la mitigación en términos de las emisiones de CO_2, pero también se «mitigan» los efectos negativos sobre el nivel de ocupación. Si, como se suele decir, la política es el arte del compromiso, la política económica es también un arte con el que hay que velar por alcanzar compromisos entre los objetivos de estabilidad económica, fiscal y medioambiental.

5.7. Los impactos indirectos de las políticas de mitigación

En la evaluación de las medidas políticas es importante no desestimar los efectos indirectos que se pueden producir. No tenerlos en cuenta puede sesgar, al alza o a la baja, los resultados de las acciones que se quieren estudiar. Los modelos de equilibrio general aplicado permiten controlar las interdependencias existentes en el tejido económico, de modo que una política de mitigación puede acabar siendo más efectiva o, por el contrario, tener más efectos adversos que lo que una lectura directa e inmediata puede hacer esperar.

Consideremos el caso de las políticas de mitigación orientadas a inducir cambios en la estructura tecnológica. Su efectividad será mayor cuanto más interconectados estén los mercados que integran la economía. Un mecanismo inductor del cambio tecnológico pueden ser los proyectos de I+D financiados por el sector público y otro pueden ser las políticas de precios a través de impuestos que incentiven a los sectores productivos a invertir en la incorporación de nuevas tecnologías. Como señala Stern (2007), estas políticas son las más indicadas para frenar el cambio climático inducido, con el añadido de que estimulan el desarrollo económico. Estas políticas pretenden «descarbonizar» el crecimiento, compensando a través de adopción de nuevas tecnologías productivas el incremento de emisiones que es consecuencia del aumento de la actividad económica. Según Barker *et al.* (2006), en un análisis complementario al del Informe Stern (2007), los costes de aplicar estas políticas para alcanzar un nivel estable de emisiones sólo representarían una cifra de alrededor del 1% del PIB mundial. El impacto directo de estENVo ENenviENVIo o Ea política afectaría a los mercados energéticos, dando lugar a una reducción de los costes de producción. Ahora bien, como la energía es un factor de producción, el resto de mercados también se verían beneficiados por la caída indirecta de los costes, y no considerar este efecto indirecto acabaría dando una medida sesgada, a la baja, en la evaluación de su efectividad.

Un sesgo en sentido contrario también es posible. Hay políticas de mitigación, en particular aquéllas orientadas a mejorar la eficiencia energética, que pueden generar efectos adversos y aumentar el nivel de las emisiones. El posible efecto indirecto adverso de estas políticas de mitigación se conoce en la literatura como «efecto-rebote» (*rebound effect*). Las ganancias en eficiencia energética no tienen por qué ser trasladadas en una relación 1-a-1 con el ahorro energético, tal y como Khazzoom (1980) mostró. Existe una diferencia entre el ahorro potencial de energía y el ahorro realmente efectuado, y la diferencia es el efecto-rebote. La explicación del mecanismo conceptual es bastante simple. Las ganancias de eficiencia energética tienen un efecto inmediato, previo a otros ajustes, consistente en una reducción de los costes de producción de la energía. Esta reducción da lugar a una caí-

da efectiva de los precios de la energía a través de traslación, parcial o total, de los costes. En respuesta, y en función del grado de flexibilidad y adaptabilidad tecnológica, el uso de los *inputs* energéticos puede aumentar en relación al resto de *inputs* por el efecto en el cambio de los precios relativos de los *inputs*.

Al final, pues, es ciertamente posible que la mejora en la eficiencia energética acabe siendo un lastre en el uso efectivo de energía, simplemente por el incremento inducido en la demanda resultado de los nuevos precios energéticos. La interconexión entre los mercados energéticos puede acabar provocando un uso más intenso de energía y, como consecuencia, puede perderse el ahorro energético potencial. En segunda instancia, las emisiones pueden no reducirse en el tamaño deseado o previsto por la medida de contención. En cualquier caso, existe un debate en la literatura sobre la validez y la magnitud del efecto-rebote. Sea como fuere, la problemática no tiene una respuesta teórica, sino más bien de tipo empírico. Hay dos fuerzas que intervienen: una es reductora –las ganancias de eficiencia energética–, mientras que la otra actúa en dirección contraria –a través de demanda–. El resultado conjunto, positivo o negativo, dependerá de la preponderancia de una u otra y, en definitiva, de las características estructurales de la economía (el grado de adaptabilidad, las elasticidades de sustitución, etc.).

Un ejemplo empírico del efecto-rebote en la economía española

Un estudio reciente de Cardenete *et al.* (2008) ha utilizado un modelo de equilibrio general aplicado a la economía española para evaluar la posibilidad del efecto-rebote en respuesta a las medidas para mejorar la eficiencia energética promovidas por el gobierno central en el llamado «Plan de Acción 2005-2007».[7] El objetivo del plan es inyectar recursos que promuevan una mayor eficiencia en el uso de los *inputs* energéticos.

El programa abarca dos líneas de actuación directa: una primera de **apoyo público**, con una cifra presupuestada de 729 millones de euros, y una segunda de **inversión**, con un importe de 7.926 millones de euros. En el estudio estas cifras se introducen, convenientemente deflactadas, dentro de un modelo de equilibrio general para simular sus efectos. La primera línea se trata como una subvención a los sectores energéticos, mientras que la segunda se incorpora como una mejora tecnológica en los coeficientes técnicos. Se entiende, pues, que la inversión programada acaba siendo transferida hacia una tecnología energética más eficiente. El modelo recalcula el estado de equilibrio, una vez implementadas y absorbidas estas medidas, y evalúa los efectos sobre el uso energético y las emisiones de CO_2.

La tabla 5.2 presenta un sumario de los resultados del estudio. Para simplificar la exposición, hemos agregado los sectores productivos en dos grandes categorías (energéticos y no energéticos). La eficacia del plan queda patente en el hecho de que alcanza una reducción de la demanda energética del 5,6% y de las emisiones asociadas en un 12%. Es interesante

7. Parte de la directiva E4-2004-2012 («Estrategia Española de Eficiencia Energética»).

destacar la relación próxima a 1-a-2 entre demanda energética y emisiones de CO_2. Cada punto porcentual de reducción en la demanda energética se traduce, aproximadamente, en una caída de dos puntos porcentuales en el nivel de emisiones de CO_2. También constatamos que el modelo no capta la presencia del efecto-rebote cuando considera las cifras agregadas. Ahora bien, el carácter microeconómico y desagregado del modelo nos permite ver que sí se da el efecto-rebote de forma sectorial. Los sectores no-energéticos y los hogares incrementan su consumo energético en 3.618 kteps y 626 kteps, respectivamente. En relación con la demanda energética del año base, estas cifras sugieren unos efectos-rebote sectorializados de un orden de magnitud del 2,6% y del 0,45%, respectivamente. Se pueden hacer consideraciones similares en términos de las emisiones asociadas de CO_2.

Tabla 5.2 Efectos del Plan de Acción 2005-2007 sobre la demanda energética y las emisiones de CO_2

	USO ENERGÉTICO (KTEP)	EMISIONES CO_2 (KTON)
Sectores energéticos	−11.582	−40.323
Sectores no energéticos	+3.618	+7.155
Consumo final	+622	+860
Saldo neto	−7.342	−32.308
Reducción s/año base	5,6%	12,2%

Fuente: Cardenete *et al*. (2008).

Podemos poner en contexto el coste económico para la sociedad de las medidas de mitigación previstas en el Plan atendiendo a su peso en el PIB del año base (2000). El coste de las medidas (apoyo público más inversión), una vez expresado en precios corrientes del año 2000, es del 1,2% del PIB, una cifra similar a la de Barker (2006) comentada con anterioridad. Ahora bien, no queda nada claro que el coste económico de la mitigación garantice verdaderamente una estabilidad en el volumen de emisiones de CO_2.

5.8. Evaluación integral y modelos de evaluación integral

La evaluación de los problemas medioambientales se ha orientado progresivamente en la línea de una visión integral, pluridisciplinar, compartiendo enfoques basados en diferentes disciplinas y culminando en un esfuerzo de integración. El fenómeno del cambio climático no es una excepción a esta tendencia; este fenómeno se ha acelerado después del Protocolo de Kioto. En rigor, los modelos de evaluación integrales, en sentido estricto, se refieren a la integración del propio cambio climático en el modelo y, en consecuencia, se trata de modelos globales a escala del planeta.[8]

El análisis global del cambio climático resulta inviable sin un enfoque pluridisciplinar; lo mismo sucede con las políticas y las medidas. Su diseño y evaluación exigen cuantificar

8. Sobre la relación entre el sistema económico y el climático y su modelización, véase el conjunto de contribuciones recogidas en Haurie, A. y Viguier, L. (eds.) (2005).

la contribución a mitigar los impactos y los diferentes daños y, por consiguiente, piden un enfoque basado en las diversas disciplinas relevantes, especialmente si se tiene presente que se pueden producir retroalimentaciones. Así, por ejemplo, el aumento del consumo de energía de origen fósil provoca el aumento de la temperatura y éste, a su vez, da lugar a determinados incrementos de consumo energético.

Un aspecto que complica el tratamiento formal del tema es la existencia de no-linealidades, esencialmente en la modelización del clima. Por ejemplo, la relación de la temperatura con los distintos impactos se presenta a menudo bajo la forma de una función cuadrática. Esta cuestión es tratada en Rial *et al.* (2004). Uno de los aspectos más complejos es la estimación de las funciones de los daños, generalmente expresados en términos de evaluación económica.

El trabajo de Hope (2005) contiene un panorama de los modelos de evaluación integral (IAM). Una clasificación útil consiste en distinguir entre los IAM que se utilizan, fundamentalmente, para evaluar políticas concretas[9] y los que tienen como objetivo evaluar y seleccionar la mejor de las alternativas de intervención.[10] El modelo llamado DICE es uno de los más conocidos, como también lo es el PAGE2002, utilizado por el Informe Stern.[11]

Ciertos modelos se utilizan para estimar las trayectorias del coste social del carbono y, actualmente, los medios de cálculo disponibles permiten generar distribuciones estadísticas de los resultados respondiendo a variaciones de diversos parámetros.

Ficha 5.2 Los modelos DICE y RICE

El modelo **DICE** (*Dynamic Integrated Model of Climate and the Economy*) ha sido desarrollado por William Nordhaus *et al.* (Universidad de Yale) en 1994. De ámbito global mundial, integra el funcionamiento de la actividad económica y sus consecuencias en términos de los daños económicos causados por las emisiones de GEI, mediante la incorporación de un modelo geofísico. Actualizado sucesivamente, también ha desarrollado de forma paralela un modelo más complejo que contempla diferentes regiones del mundo, llamado **RICE** (*Regional Integrated model of Climate and the Economy*), y un subconjunto más completo de ecuaciones para el sector energético. Permite considerar el agotamiento de los recursos energéticos no renovables.

El modelo RICE sirve para simular, entre otros, los efectos de diferentes grados de participación de los países del mundo en convenios para la reducción de emisiones. Ahora bien, no se contemplan mecanismos internos (endógenos) para generar cambios tecnológicos, sino que éstos son exógenos.

Fuente: Nordhaus, W. D. y Yang, Z. (1996): «A Regional Dynamic General-Equilibrium Model of Alternative Climate-Change Strategies», *American Economic Review*, nº 86, págs. 741-765. Nordhaus, W. D. y Boyer, J. (2000) contiene una explicación detallada de los modelos RICE-99.

9. A menudo se utilizan modelos MEGA.
10. Se usan, generalmente, modelos de optimización.
11. Véanse en el capítulo VII las referencias a varios modelos que incorporan un tratamiento especial del cambio tecnológico.

VI. Los instrumentos

Montserrat Colldeforns

6.1. Los instrumentos de intervención en el medio ambiente

A diferencia de otros ámbitos de la actividad económica, hay un consenso casi generalizado sobre la necesidad –o incluso la exigencia– de la intervención de los poderes públicos en el medio ambiente. La característica de bien público del medio ambiente, la percepción de que el medio es un bien escaso y los fallos de mercado ligados a su utilización,[1] han generado este consenso incluso entre los principales defensores del libre mercado. Por eso, ya existe una experiencia considerable relativa a los instrumentos utilizados para hacer frente a estos problemas, sus ventajas e inconvenientes y las condiciones normativas y/o prescriptivas de su aplicación.

De hecho, el propio razonamiento económico que identifica el origen de los problemas sugiere los instrumentos para su solución. Se trata de intentar suplir o imitar al mercado: crear un precio allá donde no existe o ayudar a determinar el precio eficiente. Los instrumentos de política económica que se basan en este enfoque reciben el nombre de instrumentos económicos o de mercado.

Ahora bien, desde siempre los poderes públicos han intervenido dictando normas de funcionamiento, tanto para las personas como para las entidades jurídicas; estos instrumentos reguladores son los más generalizados. Los ejemplos son múltiples, desde la obligación de circular por la derecha hasta la prohibición de echar los residuos a la calle.

Hasta ahora, las políticas de medio ambiente han hecho referencia a problemas con una incidencia acotada en el espacio y el tiempo y con consecuencias más o menos inmediatas y medibles, como la contaminación del agua, la lluvia ácida o los daños a la naturaleza, y no es hasta hace relativamente pocos años cuando empiezan a dirigirse al fenómeno del cambio climático.

Es útil, por lo tanto, dar un repaso a los dos grandes grupos de instrumentos de intervención disponibles y ver después su posible aplicación al problema del cambio climático. Hay que recordar que la reducción de emisiones –que es el objetivo– no la generan los instrumentos en sí, sino la influencia que éstos puedan tener en el comportamiento de productores y consumidores, las inversiones realizadas por las empresas o los gobiernos y las innovaciones en tecnologías y productos.

1. El capítulo II contiene la explicación de estos conceptos.

6.1.1. Instrumentos de regulación

Consisten en establecer normas de obligado cumplimiento; responden a mecanismos tradicionales y propios de la acción pública, y son los instrumentos dominantes en las políticas ambientales de todos los países, especialmente por lo que respecta a los problemas ambientales locales.

Las categorías de regulación más generalizadas son dos:

1. La fijación de estándares, ya sean de emisión o bien de utilización de tecnologías o de comportamiento general, en una actividad concreta.

2. El sistema de permisos de actividades, que son las condiciones específicas que debe cumplir una actividad para poder funcionar; el ejemplo más importante es el sistema de permisos renovables periódicamente establecido por la Unión Europea mediante la directiva IPPC.[2]

Estos tipos de instrumentos son más adecuados cuando las administraciones disponen de buena información y cuando es razonable imponer condiciones similares a empresas y/o entidades diferentes. La prohibición es también una forma de regulación.

Los problemas en la aplicación de estos instrumentos derivan fundamentalmente de la existencia de tecnologías conocidas y disponibles a mayor o menor coste, o de productos sustitutos en el mercado si se trata de prohibiciones. Por otro parte, el problema de la vigilancia y control del cumplimiento no siempre puede resolverse satisfactoriamente a un coste razonable para la administración responsable y hay que encontrar el equilibrio adecuado entre un mecanismo de multas muy elevado (coste para las actividades que no cumplen) y los costes de vigilancia y control correspondientes (coste para la administración que regula).

6.1.2. Instrumentos económicos o de mercado

Son los que utilizan la reacción de consumidores y productores a las condiciones del mercado para influir en su comportamiento a fin de que sea favorable al medio ambiente. Se basan en la capacidad del mercado de sintetizar información en relación con las condiciones agregadas de oferta y demanda y los precios resultantes. Los más utilizados son:

- **Impuestos ambientales** (sobre productos o sobre emisiones): el gobierno fija un impuesto que modifica el precio final de un *input* o un bien de consumo y deja que productores y/o consumidores reaccionen tanto a corto plazo –decantándose hacia el producto relativamente más barato– como a largo plazo –buscando nuevas tecnologías menos contaminantes–.

2. Directiva 96/61/CE, de 24.09.1996, de «prevención y control integrados de la contaminación», conocida por las siglas en inglés IPPC (Integrated Pollution Permit and Control), requiere un permiso integral de todos los aspectos ambientales relevantes en cuanto al posible impacto en la atmósfera, el suelo o el agua de una actividad para un subconjunto importante de actividades económicas. Requiere, además, la renovación periódica del permiso o una nueva concesión cuando se efectúan cambios importantes en la actividad. Regulada en España por la Ley 16/2002, con aplicación y gestión por parte de las comunidades autónomas.

- **Subvenciones:** actúan mediante una lógica similar a la de un impuesto, pero en sentido contrario. Un impuesto aumenta el precio o el coste relativo de un producto, mientras que una subvención lo disminuye. En este sentido, una subvención a la producción y/o consumo de bienes y productos favorables al medio ambiente puede ser también un instrumento eficaz, pese a que el efecto incentivador puede desaparecer al cabo de un tiempo o bien puede generar distorsiones no deseadas en el comportamiento de los mercados.
- **Derechos de emisión o permisos negociables:** la autoridad fija una cantidad máxima de emisión de contaminantes y crea un mercado de derechos o permisos para que sean las empresas –comprando y vendiendo estos derechos de emisión entre ellas– las que finalmente fijen el precio final que hay que pagar. El mercado se crea porque existe la obligación de disponer de tantos derechos como de unidades de emisión generadas y la cantidad máxima fijada es menor que la actual. Las empresas pueden elegir entre emitir más de lo que en principio podrían, y entonces tendrán que comprar derechos, o menos, y así podrán vender. La decisión depende de cómo sean sus costes de reducción de emisiones en comparación con los de las otras empresas.

Tanto los impuestos como las subvenciones, que son los dos mecanismos de mercado que actúan directamente sobre los precios percibidos, deben ser coherentes entre sí y con los otros impuestos y subvenciones existentes como resultado de otras políticas.[3] Para ambos, una vez determinado el precio de mercado resultante, la emisión de contaminante es un resultado no previsible a priori, aunque se puede aproximar mediante los instrumentos de análisis disponibles. En cambio, en el caso de los derechos negociables, el precio final de mercado es un resultado incierto, mientras que la cantidad de emisión es la fijada por la autoridad pública.

Formalmente, y en ciertas condiciones teóricas bastante restrictivas, tales como información perfecta y mercados competitivos, una u otra vía de influencia en el comportamiento –a través de precio mediante un impuesto o a través de cantidad mediante un mercado de derechos negociables– llegan al mismo resultado final y, desde el punto de vista ambiental, puede llegar a ser indiferente un instrumento u otro. No así desde el punto de vista de los efectos económicos y de los mecanismos institucionales para su aplicación efectiva. Además, y como veremos más adelante, en el caso del cambio climático no son equivalentes en absoluto.

Por último, las opciones de fijar precios o cantidades no son excluyentes entre sí, y pueden diseñarse **instrumentos de mercado «híbridos»** que, aún siendo más complejos, pueden ganar en eficiencia.[4] Un instrumento híbrido combina aspectos de fijación de precio con otros de fijación de cantidad, como por ejemplo un mercado de derechos negociables que tenga

3. Algunos organismos internacionales, y también la Unión Europea, han puesto de manifiesto la existencia de subvenciones con efectos nocivos sobre el medio ambiente, basadas en otros criterios como el de la protección de sectores clave o sensibles para la ocupación de un país concreto, o la competitividad de las empresas. Esta situación es especialmente importante en los ámbitos de las políticas energética y agrícola de muchos países.
4. Eficiencia, entendida aquí como la capacidad de alcanzar un objetivo al menor coste social posible.

un precio máximo o bien mínimo predeterminado. Este tipo de combinación está ganando fuerza en el diseño de instrumentos para el cambio climático, si bien aún se encuentran en fases muy iniciales.

6.1.3. Otros instrumentos

Existe un tercer grupo de instrumentos que, aunque se podría argumentar que la referencia última de su eficacia es el funcionamiento del mercado, se basan en una lógica intervencionista diferente, como pueden ser:

- **Sistemas de garantía,** como la obligación de depositar fianzas al inicio de una actividad como garantía de buen cumplimiento. Muy utilizado sobre todo a nivel local y desde hace tiempo para actividades concretas, como extracción de recursos naturales, tratamiento de residuos y similares.

- **Sistemas de seguros ambientales,** como la obligación de suscribir seguros para hacer frente a un eventual daño ambiental a la naturaleza ocasionado por un mal funcionamiento de la actividad.[5] El sistema de seguro ambiental obligatorio aplicado a situaciones y actividades concretas, como por ejemplo el tratamiento de residuos, existe desde hace tiempo en bastantes lugares.[6]

- **Compromisos ambientales basados en la información y la persuasión.** En este grupo estarían la responsabilidad social corporativa de las empresas y la modificación de comportamientos y hábitos de consumo por autoconvencimiento. Dos de los instrumentos más extendidos son los acuerdos voluntarios de las empresas, o grupos de entidades, para seguir unos principios ambientales aprobados y el efecto ejemplar de la propia actuación de las administraciones públicas. El primer tipo de compromiso se puede reforzar mediante instrumentos de garantía de comportamiento: por ejemplo, el desarrollo de las «etiquetas verdes» o de cumplimiento de las normas ISO de calidad ambiental o de procedimientos EMAS (European Management and Auditing System).[7] La acción de la administración pública es el reconocimiento de que las administraciones tienen un peso relevante como agentes del mercado similares a los productores y consumidores privados y que su actuación puede tener una repercusión significativa.

6.2. Criterios de evaluación de los instrumentos de política ambiental

Los criterios clásicos utilizados para escoger unos u otros instrumentos como los más idóneos para una situación de contaminación concreta son:

5. La Directiva 2004/35/CE de 21 de abril establece un sistema de responsabilidad ambiental que incluye la posibilidad de exigir la adopción de seguros en relación con los daños al medio ambiente y la naturaleza. Su transposición a España por la Ley 26/2007 prevé su exigencia a partir del año 2010.
6. Vigente en Cataluña, por ejemplo, desde la ley de residuos de 1993.
7. Véase Vegara, J. M. *et al* (2004), cap. 7, págs. 176 y siguientes.

1. La efectividad en la reducción de la contaminación. Significa disponer de información para poder medir el impacto, con las cuestiones incorporadas de cómo resolver los problemas de medición, verificación y control.

2. Las necesidades de información para poder aplicar el instrumento en cuestión y los costes de obtener esta información.

3. Los costes de gestión, vigilancia y control, tanto para las administraciones públicas como para las empresas y particulares. Conlleva también el aparato judicial necesario para hacer cumplir las normas y actuar ante su incumplimiento.

Ficha 6.1 La determinación del nivel «óptimo» de las emisiones

Las curvas de coste marginal de reducir las emisiones y de daño marginal

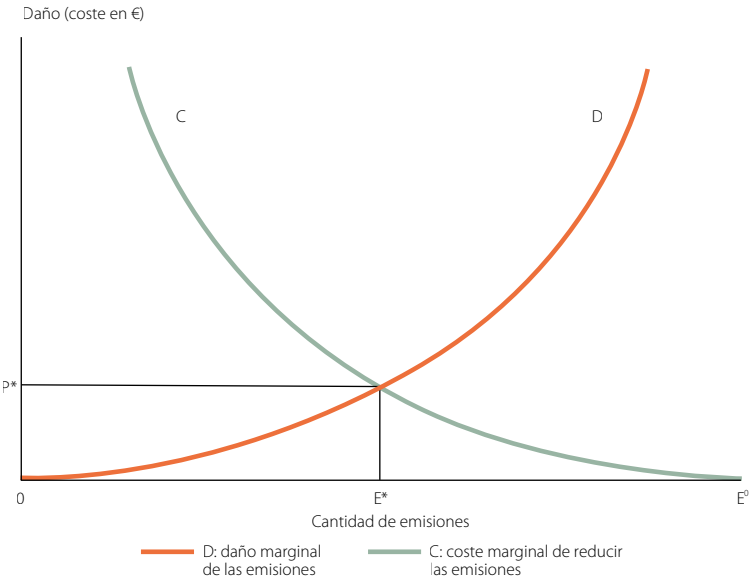


Fig. 1

El análisis de la figura 1 es el más habitual en los libros de texto de economía ambiental, y se inspira en el tratamiento que Pigou da al caso en que la existencia de una externalidad impide la asignación eficiente de recursos en un mercado competitivo. La curva C representa la curva de **coste marginal de reducir la contaminación**. La hipótesis de trabajo es que es creciente a medida que las emisiones disminuyen desde E^0 –emisiones actuales– hasta cero o una cantidad próxima a cero (si esta opción es técnicamente posible), porque cada reducción adicional es más costosa que la anterior.

La curva D representa el **daño marginal generado por la emisión** de contaminantes. La hipótesis es que cada unidad de emisión genera un daño superior a la unidad anterior y, por lo tanto, es creciente a partir de una situación de emisiones cero.

Se puede demostrar que el nivel de emisión E* que iguala el coste y el daño marginal es el nivel óptimo, en el sentido de que minimiza los costes totales para la sociedad. Para obligar a la empresa a reducir las emisiones de E^0 a E*,

Ficha 6.1 La determinación del nivel «óptimo» de las emisiones (continuación)

los poderes públicos pueden imponer un impuesto 0P*, que equivale a dar un precio al impacto de las emisiones. También pueden imponer la reducción por norma.

El mercado de derechos de emisión también se puede analizar a partir de este esquema básico; en este caso se supone que la figura representa un conjunto de empresas, cada una con su propia tecnología o curva de coste marginal de reducción de la contaminación. Entonces, la autoridad fija en 0E* la cantidad máxima de emisión del conjunto de las empresas, menor que la actual $0E^0$, y subasta los derechos creados. En estas condiciones ideales, el precio de mercado final del derecho también es 0P*.

Éste es el análisis básico, que presupone una simplificación radical, y unas condiciones de difícil cumplimiento en la realidad. Entre las simplificaciones más importantes se encuentra el hecho de suponer que las curvas de coste y daño marginal son conocidas y pueden cuantificarse. Por eso, para muchos analistas, el análisis teórico ya no sirve para determinar el nivel óptimo de las emisiones. En cambio, sí es útil para, una vez la acción política ha fijado un determinado nivel de reducción de emisiones, hallar el instrumento más adecuado para llegar a él.

Fuente: Vegara, J. M. *et al*. (2004), p. 150 y siguientes.

4. Los costes económicos de su aplicación, entendidos como los costes de oportunidad de los recursos empleados: en qué medida los recursos empleados en la política ambiental podrían utilizarse en otras finalidades o en qué medida afectan al cumplimiento de otros objetivos.

5. Flexibilidad y efectos dinámicos: los instrumentos también se pueden valorar según su capacidad de adaptarse a cambios en la situación económica, a cambios tecnológicos, o la capacidad de inducir los cambios tecnológicos y hábitos de consumo que favorecen al medio ambiente.

6.3. Ventajas de los instrumentos de mercado en relación con los instrumentos de regulación

Las ventajas de los instrumentos de mercado con relación a los instrumentos reguladores se basan en su mejor comportamiento en los dos últimos criterios. Éste es un resultado ampliamente aceptado por la profesión y también, en parte, por una amplia opinión de responsables de políticas y grupos interesados.

En relación con el criterio 4, la mayor eficiencia económica de los instrumentos de mercado –es decir, que el coste total para el conjunto de la sociedad de alcanzar un objetivo ambiental es menor si se utilizan instrumentos de mercado que si se usan instrumentos reguladores– se basa en la mayor flexibilidad y adaptación a cada situación particular de los instrumentos de mercado, dado que las normas deben ser iguales para todos. El argumento crucial del análisis es que las empresas son, de hecho, diferentes y que la información necesaria para tratar esta diferencia por normas es muy cara de obtener y/o de aplicar, o incluso puede ser imposible de obtener.

En relación con el criterio 5, la mayor capacidad de los instrumentos de mercado de incentivar la adopción de nuevas tecnologías, o el esfuerzo continuo en mejoras tecnológicas, se basan en el argumento de que, una vez establecidos los medios o los cambios tecnológicos

necesarios para cumplir la norma, ya no hay incentivo para seguir reduciendo las emisiones; en cambio, la existencia de un precio más alto (generado por un impuesto o un sistema de mercado de derechos de emisión) es un incentivo continuo para la reducción de costes y, de forma indirecta, para la investigación de nuevas tecnologías menos contaminantes.[8]

Por lo que se refiere a los criterios 2 y 3 de necesidad de información y costes de aplicación y gestión, no son sistemáticamente mayores o menores en uno u otro tipo; los costes de gestión y control dependen también del sistema operacional administrativo e institucional que esté establecido o que se establezca, y no necesariamente del instrumento por sí mismo.

Cuando el regulador necesita información detallada, casi para cada foco emisor, para poder aplicar un instrumento, o bien se necesita información que sólo puede facilitar la propia empresa, entonces se corre el riesgo de que las empresas «capturen» al regulador. Es decir, existe el peligro de que la empresa no facilite información objetiva, sino aquélla que resulte beneficiosa para ella.

Por eso, algunos autores defienden que los instrumentos de mercado son superiores a los de regulación porque no necesitan tanta información detallada: una vez fijado un impuesto o establecido un límite global a las emisiones, la aplicación a las empresas o consumidores es general y no detallada. De todos modos, y como veremos más adelante, la aplicación práctica de estos instrumentos puede hacerles perder este tipo de ventaja, especialmente en el caso de los permisos negociables.

A menudo también se ha considerado que los instrumentos de mercado, precisamente por afectar a los precios, tendrán repercusiones en la competitividad de las empresas y efectos en la renta de las economías domésticas. Un ejemplo muy claro de ambos efectos es el de la política energética, donde estas consideraciones son relevantes tanto por lo que respecta a la competitividad internacional como en las cuestiones de equidad, por razón del carácter de consumo básico para las familias de la energía para calefacción y electricidad. De nuevo queda, en su aplicación práctica, buscar la compatibilidad posible entre efectividad ambiental e incidencia en la competitividad y la equidad. En general, sin embargo, se reconoce que es más eficiente emplear otros instrumentos específicos, tales como compensaciones o ayudas directas, para tratar estas dos cuestiones, más que modificar de manera *ad hoc* el instrumento de mercado en sí.[9]

6.4. Los instrumentos de política ambiental y el cambio climático

En los capítulos anteriores se han visto las características que, todas juntas, hacen del cambio climático un tipo especial de externalidad y del clima del planeta un tipo especial de bien público. Particularmente importante en cuanto a la elección de los instrumentos y al análisis

8. Éste es un efecto de vital importancia en el tratamiento del cambio climático y se analiza en el capítulo VII.
9. La OCDE (2006) identifica el miedo a la pérdida de competitividad de las empresas y el miedo a un impacto distribucional negativo como las dos cuestiones de política económica que más dificultan la introducción de impuestos ambientales. Estas dos cuestiones son también cruciales en la aplicación de un impuesto sobre el carbono, generalizado en muchos sectores y países.

de su idoneidad es su carácter planetario, así como los diferentes niveles de incertidumbre que se acumulan cuando se trata de evaluar sus impactos y las posibilidades y efectos de su mitigación. Además, hay que añadir la posibilidad (pequeña pero relevante) de consecuencias catastróficas para toda la humanidad una vez superado un cierto umbral de acumulación de gases en la atmósfera, que nos situaría en un punto de no-retorno.

Por eso, los instrumentos de política ambiental utilizados hasta ahora deben ser analizados nuevamente desde una perspectiva diferente, y su aplicación plantea –en este nuevo contexto– nuevos problemas y cuestiones.

6.4.1. La fijación de objetivos en las políticas de cambio climático

El primer criterio para el análisis de un instrumento es su efectividad para resolver el objetivo perseguido. Por consiguiente, es importante analizar la cuestión previa de la fijación de objetivos. La referencia necesaria primera es al artículo 2 del Convenio Marco:

Artículo 2. «El objetivo último del presente Convenio y de todo instrumento jurídico conexo que adopte la Conferencia de las Partes es conseguir, de acuerdo con las disposiciones pertinentes del Convenio, *la estabilización de las concentraciones de gases con efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático*. Este nivel debería lograrse dentro de un plazo suficiente para que los ecosistemas se adapten de forma natural al cambio climático, para asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y para permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.»

La pregunta clave de todos los estudiosos es qué son y cómo se determinan las «interferencias peligrosas» en el sistema climático. En la actualidad, y tal y como hemos visto en el capítulo I, las respuestas aceptadas por casi todo el mundo son las que se recogen en los informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

Existe un cierto consenso, en especial en la Unión Europea, en que, para evitar impactos peligrosos, habría que limitar el aumento de la temperatura media en el mundo a los 2 ºC. Esto significa limitar las concentraciones de los gases de efecto invernadero en la atmósfera alrededor de las 450 ppm (partes por millón) y, según las relaciones entre emisiones y concentración en la atmósfera estimadas por el IPCC, ello implica alcanzar en el año 2050 reducciones de las emisiones mundiales entre un 60% y un 80% más bajas que las de 1990.

Como señalan Dietz y Stern (2008), dado que la concentración actual es ya de 430 ppm y aumenta en unas 2,5 ppm al año, esto nos deja con sólo 8 años para lograr un objetivo que parece casi imposible de conseguir. Por eso sugieren que el objetivo debe ser situarse a niveles de concentración de entre 450 y 550 ppm, reconociendo que el límite de 550 es ya bastante arriesgado por lo que respecta a las posibilidades de aumentos de temperatura superiores a los 3 ºC o más.

Hay que recordar que la magnitud de estas reducciones son cifras aproximadas, ya que, como hemos visto en los capítulos anteriores, lo que se obtiene de los escenarios y modelos de evaluación utilizados son órdenes de magnitud basadas en interrelaciones que, tanto en lo concerniente al clima como a sus impactos, incorporan un elevado grado de variabilidad.

Dentro de este marco, el análisis económico incorpora la relación entre los costes que supone el cambio climático y los beneficios que se pueden obtener evitando o mitigando el cambio. De igual modo que en la figura de la ficha 6.1 se podía determinar el nivel de emisión óptimo siempre que se conociesen las curvas de costes y daños marginales, en el caso de emisiones que se acumulan y en las que lo que cuenta es el *stock* acumulado, no la emisión en sí, se puede determinar la trayectoria óptima de reducción de emisiones. Se trata, desde un punto de vista teórico, de determinar las emisiones –en concreto, la trayectoria en el tiempo de las emisiones– que minimizan los costes totales, tanto de los impactos del cambio climático como de los propios costes de reducción. La perspectiva dinámica incluye la decisión sobre en qué momento actuar –ahora o en el futuro– y con qué intensidad –qué nivel de reducción de emisiones en cada momento–.

Hasta la publicación del Informe Stern (2007), la posición dominante entre los analistas, especialmente en Estados Unidos, era que el camino óptimo se iniciaba «ahora mismo»[10] con una política moderada de disminución de las emisiones, de carácter universal –participada por todos los países–, e iba aumentando progresivamente la reducción, de forma que los mayores esfuerzos tuviesen lugar más adelante (durante los años 2025-2050). Es lo que se conoce como la «trayectoria en forma de rampa», que empieza suavemente –en un esfuerzo pequeño pero creciente en la cantidad de reducción de emisiones– y, a partir de un cierto momento, aumenta cada vez más deprisa, hasta llegar a la reducción de gases deseada.

Estas conclusiones se apoyan en la idea de que el crecimiento económico y el progreso tecnológico que se puede prever que habrá habido en los próximos 25 años hará menos costosa la reducción y, al mismo tiempo, habrá más capacidad económica para llevarla a cabo –las generaciones futuras serán más ricas que la nuestra–. De esta manera, el uso de los recursos necesarios será más eficiente si se sitúa más en el futuro que en el presente.[11]

El Informe Stern[12] llega a unas conclusiones diferentes respecto al camino óptimo que contradicen la visión aceptada más general hasta el momento, y es la que inspira el consenso citado al principio de este apartado.

10. El grueso de estos estudios empezó a finales de los años ochenta, principios de los noventa, y por lo tanto «ahora mismo» significa hace al menos 10 años. Es importante señalarlo, ya que el 3.er informe del IPCC del año 2001 y el 4º del año 2007 han cambiado bastante la visión sobre la velocidad a la que avanza la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y la probabilidad de los daños y costes, respecto a la que se tenía cuando se firmó el Protocolo de Kioto.
11. Véase Nordhaus, W. (1991) y Mendelsohn, R. (2008), que defienden esta posición, entre otros.
12. Hay que recordar que se basa en gran parte en los resultados publicados en el Tercer Informe (2001) del IPCC y en los trabajos de preparación del Cuarto Informe (publicado en 2007 pero con datos hasta 2005).

Según Stern, la relación coste-beneficio de empezar a actuar pronto, y con toda la intensidad que la tecnología actual o más próxima permite, es de 1 a 3 y podría llegar a ser de 1 a 20 si el aumento de temperatura fuera más alto de lo esperado. También señala que la respuesta debe ser global y de todos los países para que pueda ser significativa.[13]

Además de objetivos globales, planetarios, es obvio que hacen falta objetivos nacionales –pues son los estados quienes tienen poder para establecer políticas–. Aparece entonces el problema de la coordinación y la coherencia, entre países y entre medidas y también a corto y largo plazo.

El único objetivo cuantitativo establecido hasta ahora a nivel mundial es el del Protocolo de Kioto (PK) y afecta a un grupo concreto de países: reducir el total de las emisiones de los gases con efecto invernadero (GEI) «a un nivel inferior en no menos del 5% al de 1990 en el período de compromiso, comprendido entre los años 2008-2012».[14] Es un objetivo posibilista, que no tiene relación con ninguna estrategia económica de minimización de costes, ni es coherente con consensos científicos aceptados por la mayoría de los países. Es el resultado de la política de ratificación o no del protocolo de cada país y de la imposibilidad política –al menos en el año 1997– de pedir esfuerzos de reducción a las economías emergentes, pero subdesarrolladas, sin que antes los países responsables de la acumulación actual de gases no pusiesen en marcha mecanismos efectivos de mitigación.

La Unión Europea ha querido liderar los esfuerzos de reducción y ha propuesto para el año 2020 una reducción de sus emisiones en un 20% respecto a las de 1990.[15]

6.4.2. La elección de los instrumentos de mercado en situación de incertidumbre

Ya hace tiempo que Weitzman (1974) señaló que, en condiciones de incertidumbre, la simetría existente entre la fijación de precios (un impuesto) o de cantidades (mercado de derechos negociables) desaparece, y que la ventaja de un tipo u otro de instrumento depende de cómo sean las pendientes de las curvas de beneficios marginales y de costes marginales. Como hemos visto en el capítulo IV, una de las características del cambio climático es su gran incertidumbre y, por lo tanto, esta distinción es relevante.

Incertidumbre en los costes y beneficios esperados

Weitzman demuestra que si los costes marginales de reducir las emisiones son inciertos o desconocidos –y, en consecuencia, es muy difícil determinar el nivel óptimo de reducción

13. El Informe Stern ha suscitado muchas críticas y observaciones. Véanse por ejemplo los artículos del «Symposium (2008) – The Stern Review and its Critics». Véanse también los capítulos III a V sobre las cautelas en la estimación de los valores actuales de los costes y beneficios de las acciones de mitigación del cambio climático.
14. Artículo 3.1 del Protocolo de Kioto.
15. Esta reducción sería de un 30% si los otros países desarrollados acuerdan reducciones semejantes. Véanse las conclusiones del Consejo de la Unión Europea de los días 8 y 9 de marzo de 2007.

de la contaminación–, entonces un sistema de fijación de precios (impuesto) es más eficiente siempre que la pendiente de los costes marginales de mitigación sea alta, y en especial más alta, es decir, más inclinada, que la pendiente de los beneficios marginales. Ésta es la situación en el cambio climático en una perspectiva a corto plazo, cuando no se pueden cambiar significativamente las tecnologías empleadas y, por lo tanto, cualquier reducción adicional de emisiones tiene costes cada vez más elevados. También a corto plazo, la curva de beneficios marginales tiene pendiente decreciente y más plana, porque suponemos que disminuir las emisiones de GEI de hoy no tiene demasiada incidencia en los daños evitados, que vienen de las acumulaciones del pasado.

Por eso hay bastantes autores[16] que, pese a reconocer que el conjunto de cuestiones a las que habría que dar respuesta es muy amplio, defienden un impuesto sobre el carbono de carácter mundial y argumentan que las dificultades para establecerlo no son superiores a las de otros acuerdos de carácter mundial que ya se han alcanzado, como por ejemplo los acuerdos de libre comercio.

Weitzman también demuestra que si se diese la situación contraria, que la curva de costes marginales fuera más bien plana y la de beneficios marginales más inclinada, entonces un sistema de fijación de cuota máxima de emisiones y mercado de derechos asociado sería más eficiente. Esta situación corresponde a una perspectiva del cambio climático a más largo plazo, 20-50 años por ejemplo. El Informe Stern (2007)[17] defiende que ésta podría ser la perspectiva adecuada de la situación actual. En primer lugar, la pendiente de los costes marginales de mitigación a largo plazo podría ser más bien pequeña (o la curva más bien plana), dadas las perspectivas tecnológicas actuales, que parecen señalar que existe bastante disponibilidad tecnológica como para hacer frente a una fuerte reducción de las emisiones. En segundo lugar, la pendiente de los beneficios marginales sería más elevada, ya que, posiblemente, la acumulación de GEI en la atmósfera sea ya bastante alta como para generar una irreversibilidad en los impactos, de modo que el beneficio marginal de evitar más emisiones hoy sea cada vez más alto.[18]

Esta diferenciación pone también de relieve la importancia de llevar a cabo análisis a corto o largo plazo, y la necesidad de encontrar políticas coherentes desde ambas perspectivas. Además, y como señala Hepburn (2006), el resultado de Weitzman no prejuzga el nivel del impuesto o de la cuota máxima aplicada –que podría ser muy alto o muy bajo–, sino sólo la mayor o menor adecuación de uno u otro instrumento.

16. Véase Nordhaus, W. D. (2008) y la bibliografía de referencia.
17. Véase Stern, N. (2007), en especial el capítulo 14.
18. Las ventajas provienen del hecho de que –dada la incertidumbre en los costes marginales– puede haber errores de regulación (un impuesto/cuota demasiado alto o demasiado bajo respecto al que sería el óptimo en condiciones de certeza) que generan una pérdida de bienestar social (que es la medida de la eficiencia) y que son más altos en el caso de uno u otro instrumento (precio o cantidad) según cuál sea la relación entre las pendientes de las curvas. Por eso los instrumentos híbridos pueden reducir estos errores de regulación. (Roberts y Spence, 1976.)

Incertidumbre en la continuidad de las políticas de cambio climático

Otro tema importante relacionado con la incertidumbre propia del cambio climático es la garantía de continuidad en las políticas de mitigación y, por lo tanto, la necesidad de equilibrar dos factores contrapuestos. Por un lado, la firmeza y la decisión en una política concreta son imprescindibles para transmitir seguridad a empresas e individuos con vistas a las decisiones de inversión que deban tomar para modificar su comportamiento y/o las tecnologías empleadas. Por otro lado, hay que asegurar la necesaria adaptación a nuevos conocimientos, o realidades políticas y económicas, que pueden hacer dudar de la idoneidad de esta continuidad en el futuro.

Las incertidumbres sobre las políticas futuras pueden generar comportamientos individuales de los agentes que distorsionan las señales de mercado y el intento, por parte de las empresas con poder de mercado o de diferentes grupos de presión, de influir en cambios en la política para su ventaja particular. Un ejemplo sería el hecho de retrasar la introducción de mejoras en las emisiones de GEI a la espera de lograr una mayor asignación de cuotas en un posible mercado de derechos de emisión en un futuro, o mayores ventajas fiscales y/o subvenciones.

Irreversibilidades e instrumentos de mercado

Otra consecuencia importante es que, en un escenario de incertidumbre, las irreversibilidades a veces juegan un papel determinante en el diseño de las políticas adecuadas. Como señala Pindyck (2007) para el caso en que un contaminante es persistente –como el caso de las concentraciones de GEI en la atmósfera–, «si las concentraciones futuras y/o los impactos económicos o en la salud resultan ser menores que los esperados (la "buena noticia"), siempre podemos relajar la cuota (se refiere al límite de emisiones); pero si los impactos resultan ser mayores que los esperados (la "mala noticia"), bien poco podemos hacer para corregir la situación. Lo que afecta a la política actual es la posibilidad de la "mala noticia", y cuanta más incertidumbre exista, mayor es esta posibilidad».

El mismo razonamiento se aplica a la irreversibilidad de los costes en que se ha incurrido para mitigar las emisiones. Aquí el efecto negativo es el de la buena noticia; si resulta que los impactos no eran tan elevados, no se pueden anular los costes ya incurridos.

Estos dos efectos contradictorios se dan en el cambio climático y, por consiguiente, lo que hay que evaluar es su resultado neto. Los modelos de evaluación integral han hecho un esfuerzo para incorporarlos y obtener alguna guía para la acción.[19]

19. Véase el capítulo V sobre modelos de evaluación. El capítulo VII trata este tema en relación con el cambio tecnológico y la adopción de nuevas tecnologías.

6.4.3. La cuestión de la coordinación mundial, la vigilancia y el cumplimiento

Las políticas de reducción de las emisiones de GEI son, necesariamente,[20] bien nacionales o bien subnacionales –en países de tipo federal– y, por lo tanto, la necesidad de coordinación es básica. Existen diferentes métodos de coordinación: el primero es estar de acuerdo sobre los objetivos, lo que, en el caso del cambio climático, requiere además resolver el problema que surge a continuación, que es el del reparto entre países de la reducción de emisiones;[21] también se pueden coordinar los instrumentos –por ejemplo, un impuesto requeriría que todos los países acordasen la base impositiva y el tipo que se debe aplicar, los cuales, aunque no fueran los mismos, sí deberían estar armonizados–; se podría crear también un fondo mundial suficiente para financiar las acciones necesarias, lo que no excluye evidentemente ponerse de acuerdo sobre las aportaciones, la utilización y el reparto.

Como hemos visto en el capítulo III, al no existir una autoridad mundial que pueda regular el uso que los diferentes países hacen de la atmósfera (como depositaria de los GEI emitidos por cada país pero que afectan a todo el planeta), la única vía es la de los compromisos vinculantes en el ámbito internacional. A pesar de la experiencia acumulada desde la Segunda Guerra Mundial, lo cierto es que los mecanismos económicos y políticos existentes para aplicar instrumentos de forma efectiva y eficiente siguen siendo muy débiles.[22] Por un lado, cualquier acuerdo no deja de ser voluntario,[23] y por otro, aunque se esté formalmente comprometido con ellos, estos acuerdos son por definición inestables porque siempre existe el incentivo de los países a no cumplir, de la misma forma que a escala local o nacional se da el problema del *free-rider* (polizón) asociado al hecho de la existencia de un bien público.[24]

La dificultad de regulación se pone de manifiesto también en la dificultad de hacer cumplir los compromisos internacionales, porque la vigilancia y el control, así como los instrumentos jurídicos actualmente disponibles para forzar un cumplimiento o castigar su incumplimiento, son casi siempre a escala nacional.

20. También en el ámbito de la Unión Europea, sobre todo en el ámbito energético, que es el determinante en las políticas de cambio climático.
21. En el caso del cambio climático, un elemento que lo hace más difícil es la gran asimetría existente entre países emisores y el nivel de desarrollo relativo. A la vez se entra en cuestiones de ética y equidad, no sólo sobre cuál es el reparto de las posibles responsabilidades y obligaciones de mitigación entre países, sino también en relación con las generaciones futuras. Véase el capítulo IV.
22. De todos modos, como señala Nordhaus (2007), las relaciones internacionales deben tratar con un número cada vez mayor de bienes públicos mundiales, algunos anteriores en su planteamiento al del cambio climático, como por ejemplo: las enfermedades infecciosas, la estabilidad macroeconómica y las crisis financieras internacionales, el terrorismo internacional, la pesca y los océanos, las especies en peligro de extinción o la capa de ozono. Las discusiones sobre comercio internacional y el protocolo sobre gases clorofluorocarbonados (CFC) son ejemplos de cierto éxito en la necesaria coordinación mundial, de la que empieza a haber cierta experiencia.
23. Recuérdese, por ejemplo, que Estados Unidos firmó el Protocolo de Kioto en 1997, pero posteriormente no lo ratificó, o que Australia no lo ratificó hasta las elecciones de 2007, que supusieron un cambio de partido en el Gobierno.
24. Véase el capítulo II y Viladrich, M. (2004) y la literatura allá citada.

Algunos autores han estudiado cuál de los mecanismos de mercado –fijar precios o cantidades– lleva más incentivos incorporados para facilitar la participación de los países en acuerdos internacionales y su cumplimiento, pero los resultados no son claros ni definitivos. Es más, como señala Hepburn (2006) en referencia a Böhringer (2003) y a la continuidad o no de los mercados de derechos de emisión o la conveniencia de proponer un impuesto mundial: «dadas las dificultades de conseguir la cooperación sobre el cambio climático, hay argumentos suficientemente convincentes como para seguir trabajando con el régimen de políticas que ya está establecido, más que intentar desmantelar las habilidades institucionales que se han creado en la última década». Nordhaus (2007), aunque defiende un impuesto sobre el carbono, llega a la misma conclusión.

Ficha 6.2 Los mecanismos de cumplimiento en el Protocolo de Kioto

Los acuerdos de desarrollo del Protocolo de Kioto han empezado a establecer los mecanismos de seguimiento y cumplimiento de los compromisos suscritos previstos en el artículo 18. En primer lugar, se estableció un Comité de Cumplimiento (Compliance Committee) formado a su vez por dos grupos: un grupo de control del cumplimiento (*enforcement branch*) y un grupo de ayuda al cumplimiento (*facilitative branch*). Este segundo grupo aconseja y ayuda a los países en el cumplimiento de los compromisos, mientras que el primero determina las consecuencias si, a pesar de todo, los países no cumplen.

Como el Protocolo no entró en vigor hasta el año 2005, hasta ahora sólo ha habido una revisión de la obligación de informar sobre inventarios de las emisiones y de las políticas previstas en cada país, con actuaciones sobre todo de asistencia en caso de incumplimiento. También se ha concretado, por lo que respecta al cumplimiento de los compromisos de reducción –que no se conocerán hasta 2012–, cuáles serán las consecuencias del no cumplimiento.

Se prevé que si un país supera la cantidad de emisiones comprometida, entonces la cantidad atribuida en el siguiente período se disminuirá en una cantidad de toneladas equivalente a 1,3 t por cada tonelada en exceso, y se podrá suspender el derecho a participar en un mercado mundial de derechos de emisión.

Fuente: Acuerdos de las sucesivas Conferencias de las Partes. Véase la página web de la United Nations Framework Convention on Climate Change «UNFCCC», en el apartado del Protocolo de Kioto.

6.4.4. Impuesto sobre las emisiones de CO_2

Hemos visto que un impuesto es, en teoría, una herramienta adecuada para internalizar los costes sociales generados por la actividad emisora de GEI, ya que puede dar la señal de mercado –el precio– que hace que los costes sociales que antes no se tenían en cuenta queden incorporados a las decisiones de la empresa y/o del consumidor. Además, aunque no puede determinarse con precisión el óptimo de contaminación, y por lo tanto el nivel óptimo del impuesto, esta internalización puede ser parcial pero efectiva en relación con un objetivo determinado políticamente.

Un impuesto sobre el CO_2 o sobre el conjunto de GEI lo más amplio posible es, desde hace tiempo, una de las medidas más ampliamente defendidas por los economistas y que ha tenido un amplio apoyo de los teóricos, y algunos ejemplos reales en la práctica.

Este apoyo proviene de los análisis y las experiencias que, sobre imposición ambiental en general, ha habido desde los años setenta en la Unión Europea y otros países de la OCDE.[25] Hay que reconocer que el grueso de los impuestos ambientales son aún los relacionados con la energía y tenían, en su origen, una finalidad principalmente recaudadora; no es hasta más tarde que se reconoce su incidencia clara en el medio ambiente y se inicia su reconversión hacia objetivos ambientales y de incidencia en la reducción de las emisiones de CO_2.

Como señala la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA)[26] en relación con Europa: «los impuestos que gravan los combustibles de automoción (que se aplican en todos los países), junto a los que gravan la venta o matriculación de automóviles, representan más del 90% de la recaudación total de la Unión Europea por tributos ecológicos. En los países europeos, la carga impositiva que soportan los combustibles de automoción oscila entre el 40% y el 60% del precio de venta, bastante más que en Estados Unidos. En consecuencia, el parque de automóviles europeo es más eficiente desde el punto de vista energético y el transporte genera 2 o 3 veces menos emisiones unitarias de CO_2 que en Estados Unidos». Y también: «la diferenciación fiscal de los combustibles bajos en azufre y sin plomo ha sido especialmente eficaz para que productores y consumidores hayan modificado sus conductas y hayan tomado decisiones de innovación de compra que reducen la contaminación atmosférica».

Si bien un impuesto es eficaz en la reducción de la contaminación, tiene el inconveniente de que no se puede prever a priori cuál será la reducción final de la contaminación, razón por la cual, y por lo que se refiere a las emisiones de CO_2, un impuesto no ayuda a establecer una predicción anual de reducción y, por lo tanto, de cumplimiento de los objetivos cuantitativos buscados. La reducción de emisiones, tanto a corto como a largo plazo, dependerá de la respuesta del mercado al aumento de precio y, por consiguiente, de la elasticidad de las curvas de oferta y demanda, así como de la existencia o no de productos sustitutivos y su mayor o menor disponibilidad.

Otro inconveniente, común al establecimiento de cualquier nuevo impuesto, es el efecto de interacción con el sistema impositivo existente, que puede dar lugar a costes adicionales en forma de pérdidas de ocupación y aumento de costes de producción en algunos sectores. Estas pérdidas tienen que ver con el hecho de que la imposición puede no ser la óptima,[27] y no con el hecho de que los sectores afectados deberán ajustarse a las repercusiones del nuevo precio en las decisiones de compradores y productores –que son precisamente los efectos buscados y que representan una mejora para la sociedad en su conjunto–. Este incentivo permanente, en forma de impuesto sobre las emisiones que no se pueden eliminar con las tecnologías existentes, es lo que hace que un impuesto (u otro instrumento de mercado) sea superior a una regulación cuando el objetivo es impulsar cambios en las tecnologías o los

25. La OCDE tiene varios estudios elaborados a lo largo de los años, además de una base de datos. El más reciente es el de 2008, realizado por Stephen Smith, donde lo compara también con el sistema de derechos de emisión OCDE (2008c).
26. AEMA (2006) pág. 7.
27. El nivel de impuesto que iguala los costes marginales y los daños marginales.

productos utilizados. Y también es lo que explica la preferencia de muchas empresas por los instrumentos de regulación y no por los instrumentos de mercado.

Por último, hay que tratar la cuestión de la utilización de los recursos obtenidos con el impuesto. A finales de los años ochenta surgió con fuerza la idea de que podía obtenerse una ganancia en bienestar social si los impuestos sobre la contaminación sustituían a los impuestos sobre el trabajo y la renta, pese a mantener la recaudación total y, por consiguiente, las políticas de gasto. Es lo que se conoció como «teoría del doble dividendo» y que sirvió de impulso a movimientos muy amplios a favor de la «imposición ecológica». Se basa en el principio de la economía del bienestar, que dice que todo impuesto crea, en principio, una reducción del bienestar colectivo porque modifica la asignación resultante de un sistema general competitivo. Ahora bien, un impuesto ambiental nace para responder a un fallo del mercado, y podría ser que la eliminación de un impuesto que grava el trabajo (y que genera una distorsión) se pudiese compensar con otro impuesto ambiental que lo que hace es eliminar una distorsión existente. De ahí el nombre de «doble dividendo». A pesar del aparente atractivo de este razonamiento, no se ha podido demostrar, con las herramientas de la teoría del bienestar, en qué condiciones esta intuición puede llegar a ser cierta, o ni siquiera si, en el análisis empírico, éste es un efecto real. Si bien es cierto que la disminución del coste del trabajo puede abaratar la mano de obra, también puede ser que el impuesto ambiental encarezca los productos y, por lo tanto, los salarios. Así pues, no es evidente que el «doble dividendo» pueda llegar a materializarse.

En cualquier caso, lo que sí ha quedado de esta discusión es que la repercusión del impuesto puede ser muy diferente según cuál sea la utilización que se haga de los recursos obtenidos. En principio, se pueden incluir exenciones y/o bonificaciones para ayudar a la transición a empresas o colectivos más afectados por el impuesto, o bien dedicar parte de la recaudación a financiar ayudas compensatorias para estos mismos sectores. Pero las palabras del informe Delors[28] de 1993 –«si debemos responder al doble reto de la desocupación y la contaminación ambiental, es posible imaginar una reducción de los costes laborales a cambio de un aumento de los impuestos ambientales»– han sido influyentes, y los gobiernos que han establecido un impuesto sobre el CO_2 con frecuencia han aplicado exactamente esta recomendación. Es bastante evidente que la «recirculación» de los recursos obtenidos tiene un papel también como mecanismo político para obtener la aceptación del impuesto, más que como una política consciente de incentivos fiscales, aunque un buen diseño de este último aspecto es ciertamente positivo.

28. Informe Delors sobre crecimiento, competitividad y empleo en la Unión Europea de 1993.

Ficha 6.3 Impuestos sobre el CO_2

Finlandia, en el año 1990, fue el primer país que empezó a transformar su imposición sobre productos energéticos, en especial sobre los combustibles, para convertirla en una imposición en la que los tipos están relacionados con su contenido en carbono. Le siguieron Suecia, Noruega y Holanda. En Canadá, algunas de sus provincias, como Quebec y British Columbia, también han establecido algún tipo de imposición del CO_2 y empieza a haber propuestas a nivel federal. En EEUU, algunos estados también han iniciado esta vía e incluso alguna ciudad, como Boulder, en el estado de Colorado, ha establecido el primer impuesto sobre las emisiones de carbono generadas por el consumo de la electricidad de todo los EEUU. Es cierto que muchos de estos impuestos son relativamente muy bajos, pero suponen un cambio de actitud significativo.

En octubre de 1990, la UE se fijó el objetivo de estabilizar las emisiones de CO_2 del año 2000 a las de 1990. Para conseguirlo, y entre otras medidas, aprobó una directiva en la que se creaba un impuesto mixto sobre el carbono y sobre la energía. Este impuesto, no obstante, sólo se aplicaría si otros países de la OCDE también establecían un impuesto similar. Se estaba pensando en EEUU o Japón, por ejemplo. Pese al carácter condicional de su aplicación, no entró nunca en vigor por la dificultad de integrar las grandes diferencias de los «*mix* energéticos» de cada país y la presión muy fuerte de las industrias intensivas en energía para no debilitar su posición internacional.

En 2003, y a partir de la Directiva 2003/96/UE de 27 de octubre, se optó por armonizar primero la imposición sobre la energía, estableciendo unos mínimos que han obligado en bastantes países, entre ellos España, a elevar el nivel de imposición existente, y desde el año 2005 hay propuesta una directiva de armonización de los impuestos sobre los automóviles para orientarla hacia una herramienta de reducción de emisiones de CO_2, más que un medio de recaudación basado en la potencia del vehículo como ha ocurrido hasta ahora. Algunos países, entre ellos España, han iniciado este camino modificando el impuesto de matriculación de los vehículos, de forma que los tipos impositivos dependan de las emisiones de CO_2.

Fuente: La OCDE y la AEMA mantienen una base de datos sobre impuestos en todos los países miembros y publican regularmente informes y estudios sobre estos temas, disponibles en sus páginas web. La página web www.carbontax.org es una buena referencia por lo que respecta a artículos y estudios en su aplicación en Estados Unidos.

6.4.5. Mercado de derechos de emisión de CO_2

En el capítulo II hemos visto que los mercados son instituciones sociales que se pueden crear. Hay que determinar el objeto de la transacción y crear las condiciones para la existencia de oferentes y demandantes en un entorno donde los costes de transacción sean bajos.[29]

En un mercado de derechos de emisión de un contaminante cualquiera, el objeto de transacción es un derecho a emitir una cantidad del contaminante concreto (1 tonelada de CO_2, por ejemplo) y los oferentes y demandantes son en general, pero no única y exclusivamente, las empresas emisoras. La cantidad global por emitir es fijada por el gobierno, que también controla que al final del período establecido las empresas no emitan más toneladas de CO_2 que las que les permite la cantidad de derechos que poseen. Para que exista mercado es necesario que el máximo de emisiones establecido sea menor que las emisiones actuales. El derecho a emitir se convierte en un activo importante para la empresa, pues lo necesita para poder producir.

29. Montgomery, W. D. (1972) es el artículo básico de referencia. Los primeros economistas en proponerlo fueron Crocker, Th. D., en 1966, para las emisiones a la atmósfera y J. H. Dales en 1968 para el problema de los vertidos en los lagos de Canadá.

La gran ventaja de este instrumento de mercado para conseguir una reducción de emisiones es que deja que sean las empresas, en función de sus costes individuales, las que decidan si les resulta más conveniente reducir sus emisiones incluso más allá de lo que la reducción general supondría y así disponer de derechos para vender, o bien comprar derechos a otras empresas, dado que sus costes de reducción son relativamente más altos. Esta posición se manifiesta en las demandas u ofertas que hacen de los derechos existentes en el mercado.

El precio final del derecho depende de si las tecnologías existentes permiten reducciones fáciles de las emisiones a la mayoría de las empresas –y entonces el precio final será bajo–, o bien si los costes de reducción son considerables –y entonces el precio será alto–, ya que la mayoría de las empresas preferirán comprar a incurrir en costes elevados de reducción y esto hará subir el nivel del precio final.

En cualquier caso, las empresas con la tecnología más adecuada serán las que saldrán relativamente más beneficiadas. La cantidad de derechos fijada y su evolución anunciada en el tiempo es determinante en la realización o no de mayores o menores esfuerzos de mitigación por parte de las empresas.

La flexibilidad en las decisiones individuales de cada empresa es lo que asegura una reducción de emisiones al menor coste posible. Además, las necesidades de información de los gobiernos sobre disponibilidad de tecnologías en general y sobre la situación individual de cada empresa disminuyen considerablemente en relación con el establecimiento de un impuesto. Y, como en el caso del impuesto, puede ser un incentivo continuo en la medida en que se conozcan con antelación las decisiones de los gobiernos sobre futuras nuevas reducciones de la cuota global máxima permitida.

Un buen funcionamiento del mercado requiere que los costes de transacción sean pequeños. Hay que establecer los mecanismos de autorización de emisiones, de registro, garantía y legalidad de los derechos emitidos y facilitar su transmisión en el mercado. Posteriormente hay que verificar y comprobar que, al final del período fijado, todo emisor dispone de los correspondientes derechos. Todos estos procedimientos tienen evidentemente un coste para las administraciones y las empresas[30] que también hay que minimizar.

Por último, también es importante asegurar que el propio mercado de derechos sea competitivo, para garantizar que las decisiones de las empresas sobre reducir las emisiones o comprar derechos sean las que efectivamente minimizan los costes sociales totales de la reducción buscada. De hecho, según cuál sea la distribución de los derechos entre las empresas[31] en un momento dado y las posibilidades tecnológicas reales de reducción, en espe-

30. Además de estos costes, que son los costes de transacción propios del mercado, existen también otros costes adicionales que se dan sobre todo al inicio del establecimiento de este tipo de mercado; Kerr y Maré (1998, citados en OCDE 2008a) han estudiado el comportamiento de las empresas sobre todo al inicio de la creación del mercado, y citan como más importantes los costes asociados al conocimiento del precio y sus variaciones, a asegurar la garantía de legalidad del derecho transaccional, u otros como el hecho de que entrar en el mercado, ya sea como oferente o demandante, puede poner de manifiesto una situación tecnológica dada que quizá no se desea revelar.

31. Véase el siguiente punto sobre métodos de asignación de derechos entre las empresas.

cial el abanico de costes marginales de reducción de emisiones en torno al precio de mercado, se pueden crear unas condiciones de monopolio u oligopolio, tanto de compra como de venta de los derechos.[32] También, en un mercado de derechos competitivo, el nivel de precios de los derechos es representativo de la mayor o menor dificultad del conjunto del sector para reducir las emisiones, y esta información puede ser útil para los gobiernos en las políticas relativas a I+D+i.

En principio, las transacciones pueden ser continuas o por períodos y en cantidades limitadas, y los participantes pueden ser sólo las empresas emisoras o también otros colectivos.

La cuestión del método de asignación inicial de los derechos de emisión

Una vez determinada la cantidad global máxima de derechos de emisión y los procedimientos de las transacciones, otra cuestión crucial de este tipo de mercado es la manera como las empresas pueden obtener estos derechos.

Esta decisión es importante porque, una vez establecido el mercado, poseer un derecho de emisión es una necesidad para la empresa –equivalente a disponer de los otros factores de producción, como las materias primas o el trabajo– y, por lo tanto, vital para su funcionamiento. Es también un activo financiero, ya que se puede vender y comprar en el mercado, con posibilidad de compra a futuros[33] y de obtener así financiación para la empresa.

Las dos grandes alternativas son la subasta y la asignación directa y gratuita. La subasta por parte del gobierno comporta unos ingresos y hace este instrumento más parecido a un impuesto. Pese a su superioridad teórica, apenas ha sido utilizada en la práctica. La asignación gratuita se puede llevar a cabo basándose en la información histórica de las empresas ya establecidas (sistema *grandfathering*, en la terminología inglesa), en la que las empresas que ya tienen un permiso –explícito o implícito– para que su actividad emita gases u otros contaminantes tienen los nuevos derechos que les permiten seguir con la actividad. También se puede hacer mediante un proceso de puesta al día periódico (*update*), de forma que los derechos de un período dependan de la información sobre la actividad del período anterior.

La asignación gratuita puede utilizar como métrica de referencia varias categorías, como pueden ser las emisiones de CO_2 o de otro contaminante –es el método más utilizado–; una medida del *output* o producto de la empresa, como por ejemplo kWh de energía eléctrica; o del *input* utilizado, como la potencia energética del fuel. El total disponible de derechos se asigna de forma proporcional a las magnitudes relativas para cada empresa. El sistema puede prever una reserva para nuevos entrantes, pero no deja de ser un sistema *ad hoc* que puede crear distorsiones, lo que no sucede en el caso de la subasta.

32. Éste ha sido el caso en el mercado de derechos de emisión de CO_2 que se creó en Inglaterra en 2002. Véase OCDE (2008c).
33. Dependiendo de las condiciones específicas creadas para el mercado.

Aunque el sistema de asignación puede no tener repercusiones sobre la reducción de emisiones final conseguida, sí es importante para los resultados económicos de cada empresa o instalación, y por eso las empresas intentan influir en el método de asignación que deciden adoptar los gobiernos.

Ficha 6.4 Subasta *versus* asignación gratuita de los derechos de emisión negociables: resumen de las cuestiones relevantes

Argumentos a favor de la subasta

- Ventajas macroeconómicas: los ingresos se pueden utilizar para reducir otros impuestos, lo que puede generar ganancias en la eficiencia del conjunto de la economía (comparado con el sistema de asignarlo a las empresas ya existentes –*grandfathering*– o a otras formas de distribución que no suponen recaudación de recursos).
- Ventajas distributivas: no facilita ganancias extraordinarias arbitrarias a las empresas emisoras, como puede ser el caso de cuando reciben los derechos de forma gratuita, mientras que los recursos obtenidos permiten más medidas específicas para compensar efectos redistributivos no deseados.
- Evita los costes políticos de los grupos de presión para influir en el modelo de distribución gratuita.
- Los efectos sobre los precios de los productos, la competitividad y los costes de ajuste no son sustancialmente diferentes a los del caso de permisos gratuitos (u otras formas de regulación ambiental).
- Asegura que las nuevas empresas que quieren entrar en el mercado tienen el mismo tratamiento que las existentes y, en consecuencia, se evita el riesgo de «osificar» el mercado.
- Evita el peligro de desincentivar a las empresas ineficientes a dejar el mercado.
- Asegura que las empresas están efectivamente preocupadas por comprar o vender allá donde pueden obtenerse ahorros de coste, sin preocuparse del efecto que pueda tener sobre los derechos asignados en el futuro.
- Aumenta la liquidez del mercado y asegura que los potenciales compradores tengan efectivamente la oportunidad de hacerlo.
- Facilita que se ponga el acento en el precio de los derechos y en las oportunidades de mitigación de la contaminación y del comercio de emisiones.
- La distribución gratuita podría ir en contra de la legislación sobre ayudas de mercado y es inconsistente con el principio de «quien contamina paga».

Argumentos a favor de la asignación gratuita

- La asignación gratuita de una parte de los derechos puede compensar los costes de una regulación no anticipada que haya generado activos hundidos o no recuperables.
- Se puede utilizar para compensar el impacto de la competencia internacional de empresas que no están sujetas a una regulación parecida.
- Puede que otros medios para compensar los efectos de la competencia internacional (la coordinación internacional, ajustes en frontera mediante tarifas o una asignación gratuita en función de la producción, no de las emisiones) no sean factibles o tengan costes totales más elevados.
- Puede ser la estrategia deseada para responder a las presiones de las empresas que se verán afectadas negativamente por esta regulación.

Fuente: OCDE (2008c): *Environmentally related taxes and Tradable Permit Systems in practice*.

Las propuestas sobre creación de mercados de derechos de emisión de CO_2 como instrumento para lograr la reducción de gases de efecto invernadero se inspiran en la práctica de los primeros mercados de derechos de emisión creados en Estados Unidos cuando, con la modificación en el año 1990 de la *Clean Air Act*, se creó este sistema para reducir las emi-

siones de SO_2 de las plantas de generación de electricidad con carbón y/o petróleo, y que empezó efectivamente en 1995. También se basan en muchos años de investigación teórica y en el resto de mercados que se crearon en Estados Unidos para otros contaminantes.[34] Es uno de los «mecanismos de flexibilidad» propuestos por el Protocolo de Kioto, como veremos en las siguientes secciones.

El mercado de derechos de emisión de CO_2 de la Unión Europea

La Unión Europea decidió crear un mercado de derechos de emisión de CO_2 como una de las herramientas para cumplir el compromiso, vinculante para el conjunto de la Unión Europea, de reducir sus emisiones de GEI en un 8% en relación con las emisiones de 1990.[35]

Los diferentes elementos del mercado europeo son los siguientes:

- El bien a comprar y vender es el derecho a emitir 1 tonelada de CO_2 durante un tiempo predeterminado. Se han dejado fuera por ahora las emisiones del resto de gases de efecto invernadero.

- Los participantes obligados son las empresas de los sectores más intensivos en CO_2[36] y todas las plantas de combustión por encima de una cierta capacidad. En total, son unas 10.800 instalaciones, que suponen poco menos de la mitad de las emisiones de CO_2 de la Unión Europea.[37] El mercado está abierto a cualquier participante que quiera comprar o vender.

- La cantidad total de derechos disponibles es la suma de la que determina cada Estado miembro para el conjunto de sus instalaciones, efectuada de acuerdo con unas reglas establecidas por la Unión Europea, que se reserva el derecho de aprobar los Planes Nacionales de Asignación de Derechos de Emisión de cada país. De este modo, la Unión Europea garantiza que las reducciones previstas por cada país sean coherentes con las asignaciones que se han acordado para cada uno de ellos, y tiene facultades para hacer cambiar los planes si considera que no permitirán cumplir con los compromisos que, como Unión Europea, tiene en el Protocolo de Kioto.[38]

34. Hay mucha bibliografía sobre estos primeros mercados, que son concluyentes en su efectividad, y que también analizan el comportamiento de las empresas ante diferentes marcos institucionales. Véase Ellerman *et al.* (2000).
35. Como señala M. Grubb (2007), después de una década de intentar aplicar un impuesto sobre el CO_2, la Unión Europea consideró que un sistema de derechos de emisión negociables como el propuesto por la Administración Clinton a lo largo de las discusiones previas al Protocolo de Kioto era más factible. En relativamente poco tiempo se preparó y aprobó la Directiva 2003/87, de 13 de octubre de 2003, y el mercado empezó a funcionar efectivamente el 1 de enero de 2005.
36. Los sectores son las refinerías y *coquerías* y centrales térmicas, las instalaciones de transformación de metales férreos, del cemento, del vidrio, la pasta de papel y las de papel y cartón, de una determinada dimensión.
37. Véase AEMA (2008): Technical report No 3/2008.
38. En 2002 la Unión Europea decidió acogerse a la posibilidad, ya prevista en el Protocolo de Kioto, de que un grupo de países cumpla de forma conjunta sus compromisos, lo que permite modificar los compromisos particulares de reducción de cada país individual. España, que en el PK se compromete a reducir sus emisiones en un 8%, pasa, en el marco del compromiso conjunto de la Unión Europea, a poder aumentarlas en un 15%. Por otra parte, esta facultad ha sido determinante para asegurar una limitación efectiva en el número de derechos emitidos, en especial en el segundo período, ya que cada Estado miembro ha tendido a querer proteger sus industrias y ha tendido a una sobreasignación, que ha sido evitada por la Comisión de la Unión Europea. Ello refuerza la idea de la necesidad de una autoridad central reconocida cuando al ámbito de acción de un instrumento es multipaís.

- El mercado europeo se creó previendo al menos dos fases. Una primera fase de prueba de tres años de duración, entre 2005-2007, en que el mercado ya ha funcionado, y una segunda fase entre 2008-2012, que coincide con el período en el que hay que cumplir los compromisos del PK. A cada período le corresponde un Plan Nacional de Asignación, de forma que actualmente la cantidad total es la fijada para los 5 años (2008-2012) en conjunto. El total de derechos asignados es de cerca de unos 10.000 millones de tonelada de CO_2. Esto da a las empresas seguridad en este horizonte temporal.

- El método de asignación es el de la asignación casi gratuita a cada instalación individual; la directiva de 2003 establecía que al menos un 95% de los derechos debía ser gratuito en el primer período y al menos un 90% en el segundo. Sólo tres países han subastado las pequeñas cantidades restantes en el primer período, y la utilización de los recursos obtenidos ha variado desde la rebaja de los costes administrativos para las empresas hasta unos ingresos para la hacienda general.[39]

- Los mecanismos de garantía de legalidad, transacción y vigilancia corresponden a los Estados miembro. En el caso europeo, y por razón de las directivas vigentes referentes a las emisiones a la atmósfera y a la de permisos de actividad (IPPC),[40] ya existe una estructura potente establecida, por lo que los costes adicionales no han sido significativos. La verificación de las emisiones se realiza anualmente, aunque las mediciones no tengan consecuencias en relación con el cumplimiento o no del período.

Otros aspectos relevantes del funcionamiento del mercado europeo son:

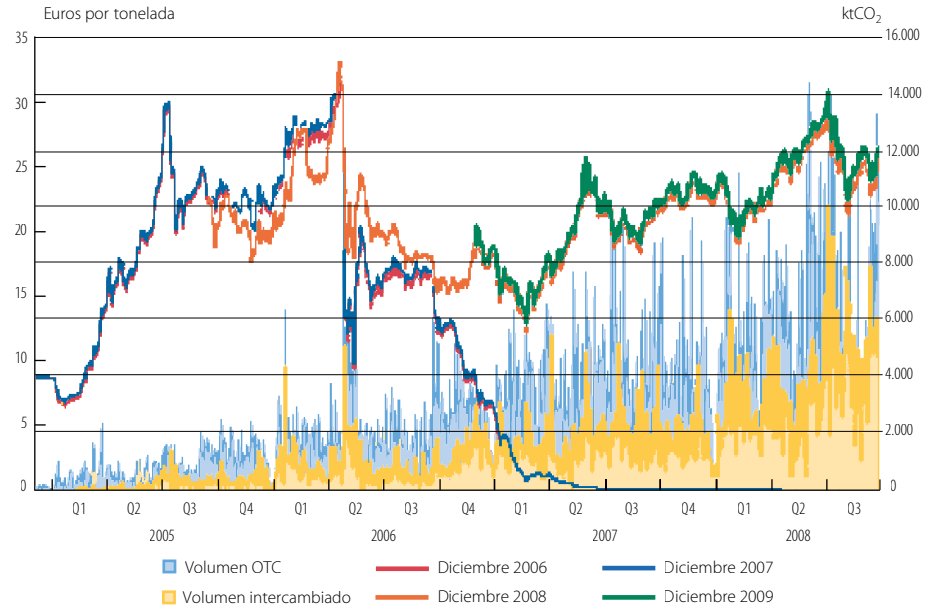
- La posibilidad de que varias instalaciones puedan llegar a un acuerdo y funcionar como una única unidad (lo que se conoce como «burbuja»), a fin de facilitar aún más a las economías la reducción de emisiones.

- Las penalizaciones en caso de no-cumplimiento de las condiciones de autorización y verificación establecidas las fijan los Estados miembro, y las penalizaciones por un exceso de emisiones de CO_2 por encima del número de derechos en poder de las empresas son comunes para toda la Unión Europea (100 euros por cada tonelada en exceso).

- En este último caso, la obligación de obtener los derechos de emisión correspondientes que cubran esta diferencia no prescribe. Obsérvese que, cuando la multa permite evitar esta adquisición posterior, el importe máximo establecido por la multa se convierte en un límite superior al precio que pueda llegar a alcanzar en el mercado un derecho de emisión.[41]

39. Los tres países son Dinamarca, Hungría e Irlanda. La Unión Europea informa regularmente del funcionamiento del mercado de derechos de emisión de acuerdo con las obligaciones establecidas en la directiva. Véase, por ejemplo, el informe de la AEMA (EEA) (2008) sobre su funcionamiento durante 2006, o los informes sometidos por la Unión Europea en conjunto a las Naciones Unidas en cumplimiento del Convenio Marco.
40. Véase la nota a pie de página número 2 en este mismo capítulo.
41. Corresponde a una de las características de los instrumentos de mercado híbridos citados en la sección 6.2.2.

Gráfico 6.1 **Evolución de los precios de los derechos de emisión de CO_2**



Fuente: www.pointcarbon.org.

• No hay posibilidades de pasar derechos de emisión del primer período al segundo.[42]

Desde un buen comienzo, la atención se centró en el precio. Tal y como explica Grubb (2007) y se puede observar en el gráfico 6.1, al principio de la primera fase, en enero de 2005, los precios fueron aumentando conforme el precio del gas, que era el determinante del coste de dejar el carbón y pasar a gas en las centrales térmicas; después el precio se desligó de este mercado y se mantuvo alrededor de los 20-25 euros la tonelada de CO_2. En mayo de 2006, cuando se conocieron los datos de las emisiones de 2005, se confirmó que la cuota global asignada era seguramente excedentaria. Este hecho y la imposibilidad de pasar derechos de un período al otro pueden explicar la fuerte caída del precio a finales de 2006, que fue situándose cerca de cero al finalizar el período.[43] Ahora bien, el mercado de futuros para posicionarse ante el segundo período (2008-2012), para el que se preveía que la cuota global sería más restrictiva, siguió a precios similares al rango mencionado.[44]

42. Esta posibilidad se conoce por el nombre de *banking* o «arrastre».
43. Pero véase el análisis de Ellerman y Buchner (2006), donde analizan hasta qué punto un precio bajo puede ser también debido a que efectivamente ha habido una reducción de emisiones, y no necesariamente a un exceso de asignaciones.
44. Los sitios web www.pointcarbon.org y www.eex.com ofrecen información puntual y en continuo de los precios de los derechos de emisión de la Unión Europea y también del resto de mercados.

Nadie duda de que el mercado de derechos de emisión en la Unión Europea seguirá, pero las características concretas de la tercera o siguientes fases dependerán de cuáles sean los acuerdos para la continuación del Protocolo de Kioto más allá de 2012.[45]

Cabe decir que todos los estudios teóricos y prácticos existentes apoyan la idea de que en el futuro hay que avanzar sustancialmente en la subasta de los derechos de emisión.

El mercado de derechos de emisión de CO_2 de la Unión Europea es en la actualidad el mayor mercado existente, pero no el único, como veremos en las dos siguientes secciones.

Los «mecanismos de flexibilidad» del Protocolo de Kioto y los mercados de derechos de emisión

El Protocolo de Kioto contiene un compromiso, vinculante para un conjunto específico de países, de reducir sus emisiones de GEI en un cierto porcentaje, particular para cada país, respecto a sus emisiones de CO_2 del año 1990. Después de muchas discusiones, y por influencia sobre todo de Estados Unidos, incluye un conjunto de previsiones que facilitan este cumplimiento. Se trata de los llamados «mecanismos de flexibilidad», que no son más que previsiones para poder aplicar mecanismos de mercado a nivel internacional y, en especial, la creación de un mercado internacional de derechos de emisión. La ausencia de una autoridad mundial que pueda ponerlo en marcha hace que aún no exista plenamente, pero poco a poco las Naciones Unidas han logrado consensos importantes en su futuro desarrollo y aplicación.

Los dos principales mecanismos de flexibilidad son:

1. La posibilidad, contemplada en el artículo 6, de que dos países que han suscrito compromisos de reducción consigan conjuntamente una cierta cantidad de «unidades de reducción de emisiones», mediante la realización de un proyecto o de una actuación concreta en uno de los dos países. Es lo que se llama «Implementación Conjunta» (*Joint Implementation* o JI por las siglas en inglés). Está concebida para facilitar acuerdos con países en transición hacia economías de mercado y es importante para los países del antiguo bloque soviético, incluidos los que pertenecen a la Unión Europea.

2. La posibilidad, contemplada en el artículo 12, de que un país que ha suscrito un compromiso de reducción pueda cumplir este compromiso mediante reducciones obtenidas en países en desarrollo que no tienen obligación de reducción. Son los llamados «Mecanismo de Desarrollo Limpio» (*Clean Development Mechanism* o CDM por las siglas en inglés).

Ambas posibilidades reciben el nombre de «mecanismos basados en proyectos», pues deben concretarse necesariamente en proyectos individuales para los cuales se pueda de-

45. Se puede prever la continuación del mercado de derechos, dado que la Unión Europea ha aprobado objetivos más ambiciosos de reducción de emisiones para 2020, y está preparando la ampliación del mercado a otros gases de efecto invernadero y a otros sectores; pero la continuación del «post Kioto» será determinante. Véase la Comunicación de la Comisión COM (2008) 30 final.

mostrar que existe una reducción de las emisiones de GEI respecto a las que habría si no se llevase a cabo el proyecto de la forma específica propuesta. Es decir, la reducción debe ser adicional a cualquier otra que se hubiese logrado en condiciones «habituales». Además, y en cualquier caso, las reducciones conseguidas mediante estos dos mecanismos sólo pueden tener carácter suplementario respecto a las reducciones que hay que obtener dentro del propio país desarrollado. Tanto los proyectos como los participantes pueden ser públicos o privados.

Aunque no son tan importantes como los dos anteriores, existen otros tres mecanismos de flexibilidad para facilitar la creación de un mercado internacional, que señalan las tendencias para el futuro:

1. La posibilidad, contemplada en el artículo 17, de un mercado internacional de derechos de emisión entre los países que han suscrito compromisos de reducción. Este mercado aún no existe.[46]

2. La posibilidad, contemplada en el artículo 4, de que un grupo de países pueda cumplir conjuntamente sus compromisos (es el equivalente a la posibilidad de establecer una «burbuja» de empresas en un mercado de derechos de emisión), lo que conlleva una reasignación interna dentro del grupo de las reducciones individuales de cada uno. Es el caso de la Unión Europea, pero está abierto a acuerdos voluntarios entre cualquier grupo de países.

3. La posibilidad, contemplada en el artículo 3.13, de arrastrar reducciones de emisiones de GEI conseguidas en el período de cumplimiento del Protocolo, que es el de 2008-2012, a futuros períodos que aún están por definir.

El efecto de los mecanismos basados en proyectos es crear un nuevo bien o producto, susceptible de ser comprado o vendido, que consiste en las cantidades de toneladas de CO_2-eq reducidas.[47] La razón que se encuentra en la base de estos mecanismos es la doble constatación de que: 1) el coste de reducir las emisiones de GEI puede ser bastante inferior en los países subdesarrollados que en los países desarrollados, que son los que tienen los compromisos vinculantes de reducción, y 2) que el efecto final buscado de reducción de los GEI es igual de eficaz cualquiera que sea el lugar del planeta donde se consiga. Por lo tanto, el resultado es una reducción igual en términos de emisión pero a un coste total global menor.

Aun así, y a diferencia del derecho de emisión de CO_2 de la Unión Europea que hemos visto en la sección anterior, el proceso de crear este nuevo bien es en la actualidad administrativamente bastante lento y costoso. Ello se debe a que el proceso de calificación del proyecto, a los efectos de garantizar el número de reducción de emisiones lograda y en las condiciones

46. Véase, no obstante, la sección 6.4.7. de este mismo capítulo.
47. Todos los seis gases con efecto invernadero son elegibles, y por lo tanto se utiliza la unidad común CO_2-eq.

acordadas por todos los países firmantes del Protocolo de Kioto,[48] es bastante largo. Las Naciones Unidas han creado el entramado institucional para revisar y garantizar las condiciones exigidas y la emisión de las «Reducciones Certificadas de Emisiones» (*Certified Emissions Reductions*, CER por las siglas en inglés), que son lo que los países o las empresas pueden comprar en el mercado para ayudar a justificar el cumplimiento de los compromisos adquiridos en el Protocolo de Kioto.

Así mismo, las reducciones de emisión conseguidas mediante los procesos de «aplicación conjunta» deben seguir unos procedimientos específicos, aunque quizá no son tan complejos como los de desarrollo limpio. El resultado son unas «Unidades de Reducción de Emisiones» (*Emission Reduction Units*, ERU por las siglas en inglés)[49] también garantizadas por las Naciones Unidas.

También se han definido las unidades de reducción de emisiones conseguidas mediante programas de prevención de la deforestación y forestación y de otras prácticas de gestión de los usos del suelo, que reciben el nombre de «Unidades de Absorción» (*Removal Units*, RMU por sus siglas en inglés). Ésta es una de las posibilidades contempladas en el Protocolo de Kioto que ha sido más difícil de desarrollar y que está aún en el período inicial.

La Unión Europea estableció un vínculo[50] entre el mercado europeo de derechos de emisión de CO_2 y los mecanismos basados en proyectos, de forma que las empresas emisoras de CO_2 del mercado europeo pueden utilizar los CER y los ERU como equivalentes a los derechos cuando es preciso justificar que disponen del número suficiente para compensar sus emisiones de CO_2. Esta utilización está limitada por el propio Protocolo, y la Unión Europea es muy restrictiva en su uso, a fin de obligar a actuaciones de reducción en el interior de los Estados miembro.[51] La utilización de las unidades de absorción (RMU) procedentes de los sectores ligados a los usos del suelo está, sin embargo, aún más restringida.

Además de la Unión Europea, otros gobiernos fuera del Protocolo de Kioto han creado en los últimos años mercados de derechos de emisión de GEI[52] que también permiten la utilización de los mecanismos basados en proyectos, según las normas de las Naciones Unidas.

Una característica muy importante de los mecanismos de flexibilidad es que pueden ser unos mecanismos poderosos de transferencia de tecnología, especialmente de tecnología no

48. Estas condiciones han sido discutidas en las sucesivas conferencias de las Partes, tanto de la Convención Marco como del Protocolo. De hecho, el Protocolo sólo indicaba su posibilidad y todo el desarrollo posterior se ha basado en los sucesivos acuerdos conseguidos y el consenso para el desarrollo legal necesario. Véanse las referencias sobre los acuerdos de Marrakech de 2001 y los conseguidos después de su entrada en vigor en febrero de 2005 en la página web de la «UNFCCC».

49. Véase la guía publicada por el Ministerio de Medio Ambiente (2004) o la información existente en las páginas webs de las Naciones Unidas o de la Unión Europea.

50. Directiva 2004/101/CE de 27 de octubre de 2004.

51. España lo ha limitado a un 20% del total de emisiones de 2012 según el Protocolo de Kioto. Otros países fuera de la Unión Europea lo han utilizado en mayor proporción, por ejemplo Suiza, en un 50%.

52. Por ejemplo, el Western Climate Change Initiative –que cubre 7 estados de Estados Unidos y 4 provincias de Canadá– (www.westernclimateinitiative.org), el Regional Greenhouse Gas Initiative del oeste americano (www.rggi.org) o la New South Wales en Australia (www.greenhousegas.nsw.gov.au), antes de que este país ratificase el Protocolo de Kioto.

emisora de GEI. Ésta es una característica crucial para las acciones de mitigación del cambio climático y es una de las razones para el fuerte impulso que las propias Naciones Unidas están dando a los mecanismos basados en proyectos.[53]

Mercados voluntarios de derechos de emisión

A partir de la Conferencia de Río, y en especial del Protocolo de Kioto, surgieron un conjunto de iniciativas para crear sistemas similares a los mercados de derechos de emisión, pero voluntarios, o bien para facilitar la participación en mercados de derechos ya existentes.

Empresas como la Shell o la BP-Amoco han creado sus propios mercados internos, entre filiales, con la finalidad de prepararse para el futuro mercado de GEI, pero sobre todo para ganar conocimientos sobre cuál podría ser el precio del CO_2 y el de otros gases de efecto invernadero a fin de que se pudiesen incorporar a sus evaluaciones de inversión futuras.

También han surgido entidades que ofrecen la posibilidad de comprar o vender reducciones de GEI de tipo particular, verificadas por algún grupo especializado, y al que pueden acudir empresas o individuos que de forma voluntaria quieren utilizar estos productos para compensar parte de las emisiones que ellos mismos generan en su actividad.

Por ejemplo, la fundación holandesa Trees for Travel ofrece la oportunidad de compensar los gases emitidos en los viajes en avión y participar en proyectos de gestión sostenible de bosques en países subdesarrollados a los que transfiere financiación. Algunas entidades similares que ofrecen actuaciones parecidas son, entre otras: la fundación suiza Climate Ticket, el Chicago Climate Exchange, el International Bank and Exchange Trexler and Associates Inc. y el Business for Climate, establecido por el Triodos Banc. La creación de estos mercados tiene un desarrollo similar al de la creación de los mecanismos de desarrollo limpio del Protocolo de Kioto, en el sentido de que deben generar un bien susceptible de ser negociado con facilidad en el mercado, sin demasiados costes de información y con garantías de compraventa futura. El hecho de que la demanda de estas unidades de reducción sea voluntaria hace que aún tenga un volumen muy pequeño pero no necesariamente desdeñable.[54]

6.4.6. Instrumentos de regulación y la utilización conjunta de varios tipos de instrumentos

Aunque el desarrollo del mercado de derechos de emisión ha sido la gran novedad de la política ambiental en relación con el cambio climático –especialmente en Europa–, los instrumentos de regulación siguen siendo relevantes y necesarios.

53. La página web: http://www.cdmpipeline.org/overview.htm ofrece información actualizada de la evolución relativa a los proyectos sujetos a procesos de desarrollo limpio y aplicación conjunta y su conversión en unidades CER o ERU, respectivamente. Véase también Hepburn, C. (2007) para una revisión de su funcionamiento.
54. Véase la tabla de la sección 6.4.7. siguiente. Estrada, M. *et al.* (2008) comparan los mecanismos de desarrollo limpio y los mercados voluntarios y analizan sus potencialidades para favorecer proyectos de desarrollo sostenible en algunos países.

Ahora bien, la práctica de las políticas ambientales en los últimos años indica que la mayoría de países está aplicando un «paquete» de políticas donde se mezclan diferentes tipos de instrumentos. Hay razones teóricas y prácticas que aconsejan la aplicación de varios instrumentos a la vez, como la propia naturaleza múltiple de los problemas ambientales o los fallos del mercado por lo que se refiere a información y existencia de mercados no competitivos, además de la propia naturaleza dinámica y llena de incertidumbres del cambio climático. Pero en bastantes casos, su presencia es más bien el resultado de la confluencia de diferentes políticas que se sobreponen unas a otras y que es imperativo revisar para evaluar su efectividad.[55] En el caso del cambio climático, el hecho de que dependa tanto de la política energética del pasado acentúa aún más esta multiplicidad de instrumentos y de finalidades que pueden llegar a ser contradictorios.[56]

Un cuidadoso análisis de los múltiples impactos de los diferentes instrumentos, y una revisión periódica de los mercados y las circunstancias en que actúan, deberían permitir establecer la combinación más adecuada. Por ejemplo, la Unión Europea declaraba que «uno de los tres pilares de la estrategia para reducir las emisiones de CO_2 de los vehículos adoptada por la Unión Europea en 1995 es el uso del sistema impositivo para promover la eficiencia energética de los vehículos; los otros dos pilares son la información al consumidor mediante el uso de etiquetas que muestran el consumo de CO_2 y los acuerdos voluntarios con los fabricantes de automóviles para reducir las emisiones de CO_2». Pero constatada la lentitud de la vía de los acuerdos voluntarios con los fabricantes de coches, la Unión Europea está preparando normas de obligado cumplimiento para reducir las emisiones a 130 g de CO_2/km.[57]

La propia naturaleza ubicua del cambio climático hace que la suma de instrumentos y de diferentes políticas sea casi una necesidad. Más que un paquete de instrumentos hace falta un conjunto de estrategias relacionadas y coordinadas entre sí. Una recomendación de tipo genérico, pero que expresa la necesidad de reorientar casi todas las políticas en los sectores relevantes del cambio climático, es la conclusión del IPCC:

«El cambio climático no mitigado, a largo plazo, probablemente superaría la capacidad de adaptación de los sistemas naturales, gestionados y humanos. Esto sugiere el valor de una cartera o un *mix* de estrategias que incluye la mitigación, la adaptación, el desarrollo tecnológico (para potenciar tanto la adaptación como la mitigación) y la investigación (sobre la ciencia, los impactos, la adaptación y la mitigación climáticos). Estas carteras podrían combinar políticas con enfoques basados en incentivos, y acciones a todos los niveles, desde el ciudadano individual hasta los gobiernos nacionales y las organizaciones internacionales».[58]

55. La OCDE (2008a) analiza el problema de las interacciones entre los diferentes tipos de instrumentos aplicados al cambio climático.
56. Véase OCDE (2007).
57. Véase «*Communication from the Commission to the Council and the European Parliament of 7 February 2007 - Results of the review of the Community Strategy to reduce CO_2 emissions from passenger cars and light commercial vehicles*» COM (2007) 19 final.
58. IPCC (2007), pág. 52.

6.4.7. El mercado mundial de carbono

La puesta en marcha del Protocolo de Kioto y sus mecanismos de flexibilidad han creado un mercado para el carbono que ya en 2007 llegó a un valor de 64.000 millones de dólares (47.000 millones de euros). Como señala el informe del Banco Mundial (2008): «La emergencia de un mercado de carbono es el resultado más visible de los esfuerzos reguladores para mitigar el cambio climático».

Una transacción en el mercado de carbono consiste esencialmente en un «Acuerdo de Compra de Reducción de Emisiones» (*Emissions Reductions Purchase Agreement* o ERPA), gracias al cual una parte paga a otra a cambio de una reducción de emisiones que el comprador utiliza para cumplir con sus compromisos –obligatorios o voluntarios–.

Como se puede observar en la tabla 6.1, el mercado más importante de momento es el de derechos de emisión de la Unión Europea, con 2/3 partes aproximadamente del valor y del número de unidades de CO_2-eq negociadas.[59] Con todo, los dos mecanismos de flexibilidad del Protocolo de Kioto empiezan a ser significativos.

Tabla 6.1 Resumen del mercado de carbono. Volúmenes y valores de 2005 a 2007

	2005		2006		2007	
	VOLUMEN ($MtCO_2$)	VALOR (MUS$)	VOLUMEN ($MtCO_2$)	VALOR (MUS$)	VOLUMEN ($MtCO_2$)	VALOR (MUS$)
Permisos de emisión						
Mercados de derechos de la Unión Europea	324	8.204	1.104	24.436	2.061	50.097
New South Wales	6	59	20	225	25	224
Chicago Climate Exchange	1	3	10	38	23	72
Mercado de derechos de Reino Unido	0	1	nd	nd	nd	nd
Subtotal	**332**	**8.268**	**1.134**	**24.699**	**2.109**	**50.393**
Transacciones basadas en proyectos						
CDM* mercado primario	359	2.651	537	5.804	551	7.426
CDM* mercado secundario	–	–	25	445	240	5.451
Implementación conjunta	21	101	16	141	41	499
Otras transacciones obligatorias y complementarias	5	37	33	146	42	265
Subtotal	**384**	**2.789**	**611**	**6.536**	**874**	**13.641**
TOTAL	**717**	**11.057**	**1.745**	**31.235**	**2.983**	**64.034**

(*) Mecanismos de Desarrollo Limpio.
Fuente: Banco Mundial, *State and trends of the carbon market,* informes de 2006 y 2008.

59. Para poner en perspectiva la cifra de 2.061 millones de toneladas de CO_2-eq negociadas en 2007 en el mercado de derechos de emisión de la Unión Europea, hay que recordar que para la Unión Europea-15 el conjunto de las emisiones de GEI del año base de referencia (que debe reducirse en un 8% para cumplir el Protocolo) se estableció en 4.276,4 millones de toneladas de CO_2-eq.

Es importante recordar que el bien que se negocia en el mercado de derechos de emisión de la Unión Europea es el derecho a emitir a la atmósfera 1 tonelada de CO_2, mientras que el bien que se negocia en el mercado basado en proyectos es el compromiso de reducción de la emisión de 1 tonelada de CO_2-eq, que incluye los seis gases del Protocolo de Kioto.[60]

Uno y otro se pueden comprar en un futuro o bien en forma de opción a disponer del derecho o la reducción en un futuro; ambas formas constituyen el mercado secundario o de derivados, que está empezando a ganar un cierto protagonismo a medida que se acerca el año 2012, cuando los países deberán presentar al mundo su cumplimiento del Protocolo de Kioto.

El Banco Mundial ha sido uno de los organismos más activos en el desarrollo del mercado de carbono, especialmente en los mecanismos basados en proyectos, generando y facilitando recursos y aportando su capacidad para ayudar a crear las condiciones de regulación claras y la estabilidad necesarias para la formación de un mercado mundial.[61]

Por otra parte, también la Unión Europea ha impulsado la conexión con otros sistemas de derechos de emisión, mediante la International Carbon Action Partnership,[62] con el objetivo de trabajar conjuntamente con iniciativas similares ya existentes actualmente (como el mercado de derechos de emisión de Noruega, de Nueva Zelanda, de los estados de la región este y oeste de Estados Unidos y de algunas provincias de Canadá) o las que puedan crearse próximamente, como por ejemplo en Australia. Todas estas iniciativas reconocen el papel líder y director de las Naciones Unidas, lo que es importante para normalizar, estandarizar y garantizar la legalidad del objeto negociado, que es la condición básica para la existencia de un verdadero mercado mundial de carbono.[63]

Es evidente que la consolidación y crecimiento de este mercado mundial depende críticamente de la continuidad de los compromisos del Protocolo de Kioto, pero también de la intensidad y alcance de los compromisos de reducción que se puedan llegar a adoptar. La continuidad disminuye el riesgo de los inversores en proyectos a largo plazo, y el alcance de los compromisos determina la ampliación, flexibilidad y capacidad de financiación que puede generar el mercado.[64]

En cualquier caso, la Unión Europea ya está preparando la ampliación del mercado a otros sectores como el de la aviación[65] y las Naciones Unidas trabajan activamente para incorporar en la medida de lo posible las actividades agrícolas y forestales, y otras emisiones difusas, en la categoría de los mecanismos de desarrollo limpio.

60. Los datos están normalizados a tonelada CO_2-eq.
61. Véase la sección 6.6.
62. Véase http://www.icapcarbonaction.com.
63. En realidad no existe todavía un «precio mundial del carbono», porque actualmente aún hay diferentes mercados que no se relacionan entre sí.
64. Hepburn (2007) estima que, si el mercado de derechos de emisión abarcase todas las emisiones de origen fósil de los 20 principales países emisores, se multiplicaría por cinco el actual mercado europeo, cubriría el 80% de las emisiones anuales de CO_2 y valdría unos 350.000 millones de dólares, a un precio medio estimado de 40 dólares la tonelada de CO_2-eq.
65. Prevista para el 1º de enero de 2012. Véase la Directiva 2008/101/CE de 19 de noviembre.

6.5. La adaptación al cambio climático

Los instrumentos analizados hasta ahora van dirigidos a reducir las emisiones de GEI con el objetivo de evitar un calentamiento peligroso del planeta. Ahora bien, ya hay evidencias de que «la adaptación será necesaria para abordar los impactos derivados del calentamiento que ya son inevitables debido a las emisiones anteriores. Se estima que las emisiones anteriores implican cierto calentamiento inevitable (aproximadamente de 0,6 °C más para el final de siglo), incluso si las concentraciones de gases con efecto invernadero atmosféricos se mantienen a los niveles del año 2000. Hay algunos impactos contra los cuales la adaptación es la única respuesta disponible y adecuada».[66]

La adaptación a las consecuencias del cambio climático tiene que ver, por lo tanto, con la vulnerabilidad de un territorio o una comunidad social concreta a los impactos del cambio climático y las posibilidades de prevenir o amortiguar estos efectos. A diferencia de la mitigación, la adaptación es, por definición, local y dirigida a una situación ambiental, económica y social específica y diferenciada.

Las políticas de mitigación y de adaptación se relacionan a través de impactos generados por el aumento de temperatura: cuanto mayor sea la reducción de emisiones –y, por consiguiente, menor el aumento final de temperatura–, menores serán los costes de adaptación; y, a la vez, en la medida en que se hayan aplicado políticas efectivas de adaptación, menores serán los impactos negativos reales generados por el aumento de temperatura, sea cual sea finalmente esta temperatura.

Ficha 6.5 ¿Qué se entiende por adaptación al cambio climático?

«Las medidas de adaptación se toman para hacer frente a un clima cambiante –por ejemplo: un aumento de las precipitaciones, temperaturas más elevadas, recursos hídricos más escasos o tempestades más frecuentes–, ahora o en previsión de estos cambios en el futuro. El objetivo de la adaptación es reducir el riesgo y los daños de los impactos nocivos, futuros o actuales, de manera eficiente o incluso explotando los beneficios potenciales. Algunas de estas medidas son, por ejemplo, adaptar las normas de construcción para adecuarlas a las condiciones climáticas futuras y a fenómenos meteorológicos extremos; construir muros de contención de inundaciones y subir la altura de muelles ante el aumento del nivel del mar; desarrollar cultivos resistentes a las sequías; seleccionar especies forestales y aplicar modelos de gestión forestal que los hagan menos vulnerables a los incendios y las tempestades; elaborar planes de ordenación territorial y también corredores naturales que ayuden a las especies a migrar, etc. La adaptación puede abarcar tanto estrategias nacionales o regionales como medidas prácticas locales o individuales. Las medidas de adaptación pueden ser anticipativas o reactivas. La adaptación se aplica tanto a sistemas naturales como humanos. Garantizar la sostenibilidad de las inversiones durante todo el período de su duración teniendo en cuenta explícitamente el cambio climático se conoce como *climate proofing* o concepto de «a prueba del clima».

Fuente: Unión Europea (2007) Libro verde: adaptación al cambio climático en Europa - opciones de actuación para la Unión Europea, pág. 3.

66. IPCC (2007), pág. 50.

Las últimas evidencias empíricas expuestas en el 4º Informe del IPCC sobre los impactos del cambio climático y sus manifestaciones no hacen más que reafirmar la necesidad de las políticas de adaptación, que se concretan en los Planes de Adaptación.

Los Planes de Adaptación se encuentran ya definidos de forma amplia en el artículo 4 de la Convención Marco de las Naciones Unidas de 1992, que exige que todos los países los elaboren y especifiquen su estrategia. Además, y desde 2005, las Naciones Unidas han iniciado acciones de todo tipo para ayudar a los países subdesarrollados a su formulación y aplicación.[67] Los países desarrollados están poco a poco situando la cuestión de la adaptación en un primer plano de importancia.[68]

En relación con los instrumentos de política económica para la adaptación al cambio climático, un buen resumen es la siguiente cita del 4º Informe del IPCC:[69]

«Aunque es posible hacer frente a muchos de los primeros impactos del cambio climático de un modo eficaz mediante la adaptación, las opciones para el éxito en la adaptación disminuyen y los costes asociados aumentan a medida que se incrementa el cambio climático. Actualmente no tenemos una imagen clara de los límites en la adaptación, o del coste, en parte porque las medidas que permiten una adaptación eficaz dependen en un grado elevado de factores de riesgo geográfico y climático concretos, así como de restricciones institucionales, políticas y financieras. El abanico de posibles respuestas adaptables disponibles para las sociedades humanas es muy grande y oscila entre las puramente tecnológicas (como las defensas marítimas), las políticas (normativas de planificación), las conductuales (modificación de los alimentos y opciones de recreo) y las de gestión (modificación de las prácticas agrícolas). Mientras que la mayoría de tecnologías y estrategias son conocidas y desarrolladas en algunos países, la bibliografía evaluada no indica la efectividad de las diversas opciones para reducir por completo los riesgos, sobre todo a niveles más altos de calentamiento e impactos relacionados, y para los grupos vulnerables. Además, existen unas tremendas barreras de carácter ambiental, económico, informativo, social, de actitud y de conducta a la implantación de la adaptación. En los países en vías de desarrollo, la disponibilidad de los recursos y el fomento de la capacidad de adaptación son especialmente importantes. No se espera que la adaptación sea capaz de hacer frente ella sola a todos los efectos previstos del cambio climático, y especialmente no a largo plazo, cuando la magnitud de la mayoría de los impactos aumentará».

La adaptación es, en gran medida, «una cuestión de coherencia política, planificación anticipada y actuación sistemática y coordinada».[70] Como en el caso de la mitigación, la comunidad internacional ha creado mecanismos de ayuda financiera específica para la adaptación de los países no desarrollados, que se encuentran apenas en sus fases iniciales.

67. Véase el llamado Plan de Nairobi, consecuencia del COP-11 de Montreal del año 2005. Todos los documentos relevantes se encuentran en http://unfccc.int/adaptation/items/4159.php.
68. Véase, por ejemplo, el Plan Nacional de Adaptación de España, de 2005 (www.marm.es), y del Gobierno inglés en http://www.defra.gob.uk/environment/climatechange. Véase también OCDE (2008b) sobre adaptación al cambio climático e instrumentos económicos.
69. IPCC (2007) apartado D, pág. 50.
70. Unión Europea (2007). Libro verde sobre la adaptación al cambio climático.

6.6. La financiación mundial de las políticas de cambio climático

Dentro del marco nacional, los gobiernos disponen de los instrumentos financieros tradicionales para el impulso de la realización de proyectos de mitigación o adaptación al cambio climático, tales como las subvenciones directas a un proyecto, la concesión de préstamos a tipos más favorables que los del mercado o la concesión de avales. De igual modo, a nivel mundial, las Naciones Unidas han creado mecanismos de financiación para la realización de proyectos en los países subdesarrollados.

El abanico de mecanismos financieros creados es cada vez más amplio, y se halla en constante expansión, pero pueden agruparse en dos grandes categorías: los fondos tradicionales de las Naciones Unidas de apoyo directo, total o parcial, a la realización de proyectos, y los Fondos de Carbono del Banco Mundial para la financiación de proyectos que generen Reducciones Certificadas de Emisiones (CER) en el marco de los Mecanismos de Desarrollo Limpio asociados al Protocolo de Kioto.

Los fondos tradicionales de las Naciones Unidas consisten en la creación de un fondo dotado por la aportación de diferentes países que se dedica a finalidades específicas del fondo. El más antiguo, en cuanto al cambio climático se refiere, es el «Fondo para el Medio Ambiente Mundial» (FMAM),[71] creado en 1991. Posteriormente se han desarrollado muchos otros fondos dirigidos a financiar proyectos específicos en sectores críticos como el energético, el transporte y la agricultura, o también los proyectos de adaptación al cambio climático o bien con finalidades de transferencia de tecnología.

El Banco Mundial y otros bancos multilaterales disponen también de fondos específicos similares a los de las Naciones Unidas, pero han desarrollado en paralelo los llamados de forma genérica «fondos de carbono», porque los países y/o entidades privadas que los dotan lo hacen con la finalidad específica de comprar Reducciones Certificadas de Emisiones (CER), lo que les permite disponer del número necesario de estos certificados para poder cumplir el Protocolo de Kioto en el año 2012. Su desarrollo está directamente asociado a los mecanismos de flexibilidad basados en proyectos del PK que se han descrito en las secciones anteriores.[72]

Uno de los países más activos en la constitución de fondos ha sido España, que, además de dotar un fondo particular con el Banco Mundial, participa en otros fondos del propio Banco Mundial, del Banco Asiático de Desarrollo, de la Corporación Andina de Fomento, del Banco Europeo de Inversiones (BEI) y del Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo (BERD). El objetivo de España es conseguir al menos 150 millones de toneladas de CO_2-eq para el conjunto de los 5 años (2008-2012), procedentes de los mecanismos basados en proyectos.

71. Más conocido por su nombre en inglés: «Global Environment Facility». Véase www.gefweb.org. Algunos de los fondos existentes son «The Special Climate Change Fund» (SCCF), «The Least Developed Countries Fund» (LDCF), «The Adaptation Fund», el «Clean Energy Financing Vehicle» o el «Clean Energy Suport Fund», o el más reciente de todos, el «Carbon Partnership Facility».
72. http://carbonfinance.org. A finales de 2007, el Banco Mundial disponía de fondos acumulativos para el mercado de carbono de cerca de 3.000 millones de dólares, en 11 fondos de carbono diferentes.

VII. Cambio climático y cambio tecnológico

Isabel Busom

7.1. Introducción

Los dos informes más reconocidos y divulgados sobre el cambio climático, el Informe Stern y el 4º Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), formulan propuestas y reflexiones en torno al abanico de políticas que podrían utilizarse para limitar o evitar las emisiones de GEI y para facilitar la adaptación a cambios inevitables.[1] En el capítulo precedente se han explicado y discutido las características de los diferentes tipos de instrumentos disponibles.

Además de evaluar las ventajas y limitaciones de medidas como regulaciones y estándares, impuestos sobre el carbono y apertura de mercados de permisos de emisiones, en ambos informes se reconoce de forma unánime la importancia esencial del cambio tecnológico para lograr tanto la reducción de emisiones como la reducción de los costes económicos para llevarlo a cabo. Precisamente este capítulo se centrará en este uso de la tecnología como herramienta para hacer frente al cambio climático y, al mismo tiempo, mantener perspectivas de mejora en el bienestar para el conjunto de habitantes del planeta.

Para que se materialice el cambio tecnológico que permita controlar las emisiones de GEI derivadas de la actividad humana y para adaptarse a los posibles cambios inevitables, será necesario realizar inversión en investigación y desarrollo de nuevos productos y procesos productivos en varios campos, especialmente en tecnologías más eficientes desde el punto de vista energético y en las basadas en fuentes alternativas de energía, así como tomar medidas para facilitar su difusión. Además, la adaptación al cambio climático exigirá, entre otras cosas, el desarrollo de nuevos productos, servicios o procesos productivos, y por lo tanto inversión en I+D en otros sectores, en la medida en que este cambio afectará, por ejemplo, actividades como la agricultura y la ganadería, el turismo o las necesidades en el campo de la salud.

Ante la evidencia científica acumulada hasta el presente sobre la existencia de un proceso de cambio climático y la previsión de impactos a corto, medio y largo plazo, como se ha expuesto con anterioridad, y de la esperanza que ofrece el cambio tecnológico, debemos formularnos algunas preguntas:

1. Véase Gupta *et al*., capítulo 13: «Policies, Instruments and Co-operative Agreements», contribución al 4º Informe del IPCC (2007), y el Informe Stern, parte IV, capítulo 16: «Accelerating Technological Innovation». Otros dos informes recientes importantes son el que ha realizado la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE 2008b) y el de la Agencia Internacional de Energía (IEA 2007).

1. ¿En qué medida podemos esperar que la ciencia y la tecnología nos ayuden a frenar el cambio climático, mitigar sus efectos o a adaptarnos a sus consecuencias? ¿Cuáles son los conocimientos y tecnologías necesarios?

2. ¿Qué incentivos tienen las empresas para llevar a cabo la investigación y el desarrollo de tecnologías necesarias? ¿Sale a cuenta utilizarlas, tanto por parte de las empresas como de la población en general en tanto que consumidores y usuarios?

3. ¿Puede haber incompatibilidades y contradicciones entre políticas de I+D, políticas ambientales y otras políticas? ¿Son incompatibles los objetivos de reducción de emisiones, reducción de la pobreza en el mundo y seguridad energética?

4. La existencia de impactos negativos medioambientales derivados de las actividades de consumo y de producción, y el uso de instrumentos para reducirlos, no es un hecho nuevo. Lo que sí es nuevo es la magnitud y el alcance posible de los impactos. ¿En qué medida han contribuido las regulaciones ambientales que se han implantado en el pasado a estimular la inversión y la innovación en tecnologías limpias? ¿Qué podemos aprender de la experiencia para articular políticas efectivas en torno al cambio climático?

5. Dada la experiencia y las previsiones, ¿cuál sería el nivel deseable de I+D e innovación de ahora en adelante y a lo largo de los próximos cuarenta años?

Disponemos de varios tipos de instrumentos para poder contestar a las preguntas formuladas, entre los que destacamos:

- La reflexión económica teórica sobre las causas y consecuencias del cambio tecnológico.
- La evidencia empírica sobre el comportamiento de países, empresas y usuarios/consumidores por lo que respecta a la generación y adopción de innovaciones, sobre la demanda de energía o de transporte, y acerca de los resultados de las políticas ambientales y de investigación e innovación.[2]
- Los modelos globales economicoclimáticos que, utilizando información procedente de los estudios empíricos, permiten evaluar *ex ante* los costes y las consecuencias de las posibles políticas, y para predecir, con cierta probabilidad, los impactos a medio y largo plazo sobre el crecimiento económico y el bienestar.

Este capítulo se organiza alrededor de estas cinco preguntas. En primer lugar, miramos qué tipo de conocimientos científicos y tecnológicos necesitamos (pregunta 1); en el segundo apartado, observamos cuáles son los incentivos económicos, dentro de una economía de mercado, para desarrollar este conocimiento (preguntas 2 y 3); en el tercero, nos fijamos en cuáles han sido los resultados de las políticas ambientales y de innovación utilizadas en el

2. Consideramos evidencia empírica los resultados que se desprenden de la investigación basada en la observación, la medida y la obtención de datos reales sobre hechos y variables, y del contraste de hipótesis o teorías sobre relaciones entre estas variables con instrumentos estadísticos adecuados o con experimentos controlados.

pasado para ver cómo mejorar –hacer más efectivas– las políticas para mitigar o adaptarse al cambio climático (pregunta 4), y en el cuarto, exponemos los efectos que se pueden prever de diferentes combinaciones de políticas de cambio climático y políticas de investigación e innovación (pregunta 5) para conseguir reducciones de emisiones y mejoras del bienestar.

7.2. Investigación, innovación y recursos para hacer frente al cambio climático

El conocimiento en sentido global, que incluye el conocimiento científico y tecnológico, las ideas, las invenciones y la innovación, ha sido, sin lugar a dudas y junto a cambios institucionales, uno de los factores más importantes que se encuentran detrás del crecimiento del bienestar económico y de la calidad de vida de los humanos.[3]

El conocimiento permite desarrollar nuevos productos valiosos para satisfacer necesidades y utilizar procesos productivos más eficientes. Permite aumentar la productividad, bien sea la productividad total o bien la de determinados factores de producción. Así lo muestra la abundante evidencia empírica producida por la investigación económica sobre las causas del crecimiento económico, tanto si lo contemplamos desde la perspectiva individual de las empresas como desde una perspectiva global, a nivel de país.[4]

El hecho de que la innovación genere aumentos de productividad, bien sea con nuevos productos o bien con nuevos procesos productivos, permite reducir costes por unidad de producto. Gracias a este efecto se puede compensar globalmente el aumento de costes –y la reducción de la producción– causado por medidas tales como el establecimiento de impuestos sobre el CO_2 o similares. Por consiguiente, la innovación puede permitir aligerar, globalmente, aunque no necesariamente para cada empresa, el coste de actuar a medio plazo sobre el cambio climático.

La confianza en que el cambio tecnológico pueda ayudarnos a superar, evitar o mitigar los efectos negativos del cambio climático puede apoyarse en la experiencia histórica. Ahora bien, este cambio no se ha producido en el pasado ni se producirá en el futuro de forma espontánea, como veremos en las siguientes páginas.

7.2.1. El conocimiento que necesitamos

Lo primero que conviene constatar es que hay que dedicar recursos a seguir llevando a cabo más investigación básica tanto en el ámbito de las ciencias físicas como de otras ciencias relevantes en este caso, entre ellas la economía. Debemos aumentar los conocimientos que

3. Por cambios institucionales nos referimos a cambios en las reglas del juego en el ámbito económico y/o político que modifican los incentivos de los agentes económicos para tomar decisiones. Por ejemplo, en el caso del cambio tecnológico, que no es más que la transformación de las ideas en innovaciones utilizadas en el ámbito de la producción y el consumo, una regla de juego que afecta a los incentivos para introducirlas son los derechos de propiedad intelectual. Éste es simplemente un mecanismo o institución que permite que el esfuerzo (tiempo y recursos financieros) dedicado a producir ideas tenga una compensación.
4. Véase Aghion y Durlauf (2005) y Jones (2002).

tenemos acerca de la Tierra (tanto los modelos matemáticos sobre el clima como los instrumentos para observar y medir), a fin de mejorar las predicciones sobre los cambios de factores a lo largo del tiempo, tales como la temperatura o el nivel del mar, con el objetivo de reducir el grado de incertidumbre e ignorancia respecto a los cambios atmosféricos y sus impactos. También es imprescindible disponer de buenos modelos económicos que puedan predecir el crecimiento de la población, la demanda y la oferta de energía procedente de diferentes fuentes, la evolución del uso del suelo[5] y de otras actividades que influyen sobre el cambio climático.

En este sentido hay que valorar especialmente la contribución del grupo IPCC, que tiene por objetivo fundamental revisar y valorar la evidencia científica, técnica y socioeconómica que se está produciendo constantemente en relación con el riesgo de cambio climático, la contribución inducida por los humanos, sus impactos y las opciones de adaptación y mitigación. En el capítulo sexto de su informe de síntesis, el grupo pone de manifiesto las incertidumbres clave que subsisten. Por lo tanto, lo primero que necesitamos es mejorar el conocimiento objetivo y rigurosamente obtenido, mediante el uso del método científico, sobre el entorno físico y el comportamiento económico de las sociedades humanas.[6] Sin este conocimiento y el reconocimiento de las incertidumbres que persisten, no podemos discernir cuáles son las acciones deseables y eficientes.

De acuerdo con lo que sabemos hasta ahora, podemos afirmar que cada vez es más sólida la evidencia que muestra que existe una relación entre la actividad humana y la presencia y crecimiento de GEI en la atmósfera. En particular, la producción y el consumo de energía son las actividades responsables de una parte muy importante de estas emisiones. En consecuencia, anticipar qué tipo de cambio tecnológico es necesario aplicar requiere saber cuáles son las previsiones, bajo supuestos razonables, de consumo de energía y sus fuentes.

La OCDE ha publicado recientemente las estimaciones de consumo de energía a nivel mundial por tipos de fuentes, a lo largo del período 1970-2050, bajo el supuesto de estabilidad del comportamiento de productores y consumidores, de tecnologías y de políticas. Estas estimaciones se muestran en el gráfico 7.1, donde se comprueba que, de continuar el comportamiento y políticas como hasta ahora, habrá un gran aumento del consumo de energía obtenida con petróleo, gas natural y carbón, principales fuentes emisoras de GEI.[7] Ésta es la estimación o escenario que llamamos «base» o de referencia.

Dados los hechos físicos y las predicciones económicas a medio y largo plazo, está bien claro que avanzar en el conocimiento para obtener tecnologías para la mitigación (contención)

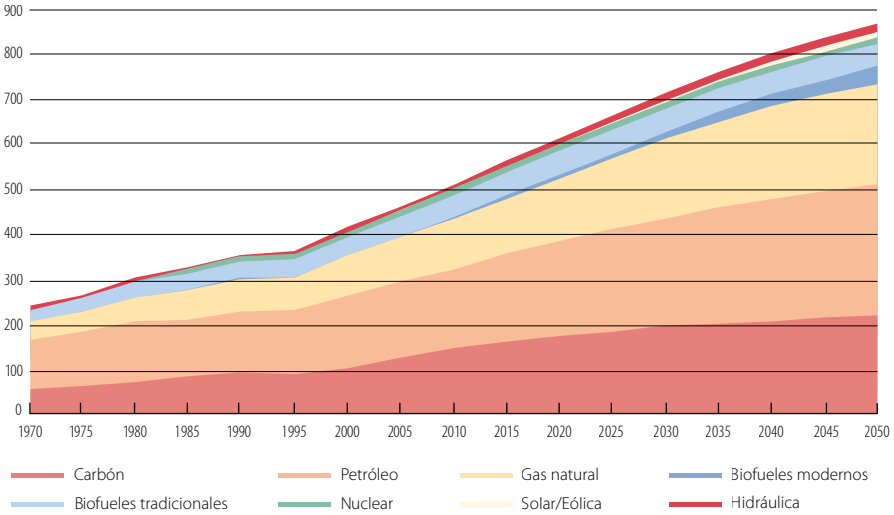
5. Nos referimos, por ejemplo, a la deforestación.

6. Este método científico es el proceso por el cual los investigadores pretenden lograr una representación minuciosa (consistente y no arbitraria) del mundo. Comprende un conjunto de pasos dirigidos a minimizar los sesgos personales o culturales que pueden afectar a nuestras percepciones e interpretaciones. Estos pasos son la formulación de una pregunta, la observación, la experimentación y la recogida de datos, la formulación de una hipótesis explicativa de un fenómeno, y el contraste de la hipótesis mediante procedimientos experimentales. Los pasos deben ser comprobables, susceptibles de ser replicados por investigadores independientes y sometidos a crítica para los iguales.

7. Las proyecciones se han obtenido utilizando una familia de modelos de simulación, integrando sistema económico y sistema climático, como los descritos en el capítulo V y más adelante en este mismo capítulo. Los modelos particulares utilizados por la OCDE son ENV-Linkages e IMAGE (Integrated Model to Assess the Global Environment).

Gráfico 7.1 Proyecciones OCDE del consumo de energía por origen

(En EJ/año). Bajo el supuesto de que no hay cambios radicales en políticas ambientales, tecnológicos, precios del petróleo o tendencias de crecimiento.



Fuente: OCDE (2008), Environmental Outlook to 2030, capítulo 17, fig. 17.1, pág. 362.

y tecnologías para la adaptación es importante para menguar el coste de reducción de las emisiones en términos de bienestar y ocupación y de adaptarnos a los efectos inevitables. ¿Cuáles son estas tecnologías y cuál su estado de desarrollo?

a) **Tecnologías para la contención/mitigación de emisiones:** muy concentradas en torno a las actividades que generan GEI, principalmente el dióxido de carbono y, por consiguiente, todas las asociadas a la combustión de fueles fósiles, procedentes fundamentalmente de los sectores energéticos, de algunos procesos industriales y del transporte.

- Tecnologías para mejorar la eficiencia energética en todos los sectores productivos –alumbrado, refrigeración y calefacción, transporte...– mediante cambios en el proceso productivo. El objetivo es reducir el volumen de emisiones. Pero esto no será suficiente debido al crecimiento esperado de la demanda de energía de países en desarrollo, en concreto de China y de India.

- Tecnologías que permitan el uso de fuentes alternativas, no fósiles, de energía a un coste menor o igual que la energía fósil (vehículos híbridos, descarbonizar la electricidad). Estas tecnologías deben hacer posible el aumento de demanda de energía con la eliminación o reducción sustancial de emisiones de GEI. Disponer de este tipo de innovaciones es especialmente importante para permitir el crecimiento de los países en desarrollo y mantener el de los desarrollados. La disponibilidad de tecnologías de producción de energía de fuentes renovables o nuclear tiene una ventaja adicional, que es la de facilitar

la seguridad energética al reducir la dependencia de las fuentes fósiles como el petróleo y el gas natural, muy concentradas.

Hay que tener en cuenta, no obstante, que estas fuentes de energía también pueden producir impactos ambientales de otro tipo. Es el caso de los residuos de las centrales nucleares o el caso de los biofueles (obtenidos, por ejemplo, a partir de maíz o de soja), donde el uso intensivo de fertilizantes para obtenerlos puede perjudicar la calidad del agua o aumentar la erosión del suelo. La ficha 7.1 resume los principales tipos de fuentes alternativas de energía y su estado de desarrollo.

- Tecnologías que permitan la captura o secuestro y almacenamiento del dióxido de carbono, especialmente el que emiten las centrales de producción de electricidad. Dado que hay que considerar que los cambios tecnológicos radicales son improbables, se puede prever razonablemente que el petróleo y el carbón seguirán siendo una fuente importante de energía durante mucho tiempo. La OCDE, por ejemplo, vaticina un incremento del consumo del primero de un 42% entre 2005 y 2030 (OCDE 2008b, pág. 361), y también un aumento de la demanda de carbón para producir electricidad en China y en India. Ante esto, es importante investigar tecnologías para impedir que las emisiones lleguen a la atmósfera.

  Una de las vías de captura de CO_2 es la reforestación y mantenimiento de bosques. Una segunda vía es el desarrollo de tecnologías que permitan la captura de CO_2, antes o después de la combustión, y su almacenamiento. Por ejemplo, en el caso de centrales de generación de electricidad con combustibles fósiles, existen tecnologías para capturar el CO_2 en el momento y lugar que se emite. Utilizar estas tecnologías conlleva un coste adicional que únicamente sale a cuenta emplear si emitir CO_2 tiene un cierto precio.

La importancia del desarrollo de estas diferentes tecnologías para reducir las emisiones queda recogida en el gráfico 7.2, que muestra las trayectorias de emisiones previstas según una simulación efectuada por la OCDE bajo ciertos supuestos de evolución del uso de fuentes alternativas de energía, de cambios en la eficiencia energética y de intensidad de la captura o secuestro de CO_2. La línea superior muestra la predicción, suponiendo que no hay cambios en las pautas de consumo y de demanda de energía, y correspondería a la estimación base que mostraba el gráfico 7.1. La línea inferior representa la trayectoria necesaria para estabilizar el *stock* de GEI a 450 ppm (partes por millón). Entre las dos líneas se muestran las reducciones potenciales de emisiones que se obtendrían mediante diversas opciones tecnológicas, dado el estado actual del conocimiento.

b) Investigación en tecnologías para la adaptación: esta investigación incluye muchos ámbitos científicos y tecnológicos asociados, por ejemplo, a las actividades de agricultura y ganadería, salud, transporte (por carretera y aéreo), disponibilidad y distribución de agua potable, construcción o turismo. Por lo tanto, es importante dedicar recursos para la investigación y la innovación en estos sectores y que existan incentivos para hacerlo.

Ficha 7.1 Generación de electricidad. Alternativas al uso de fuentes fósiles de carbón, petróleo y gas

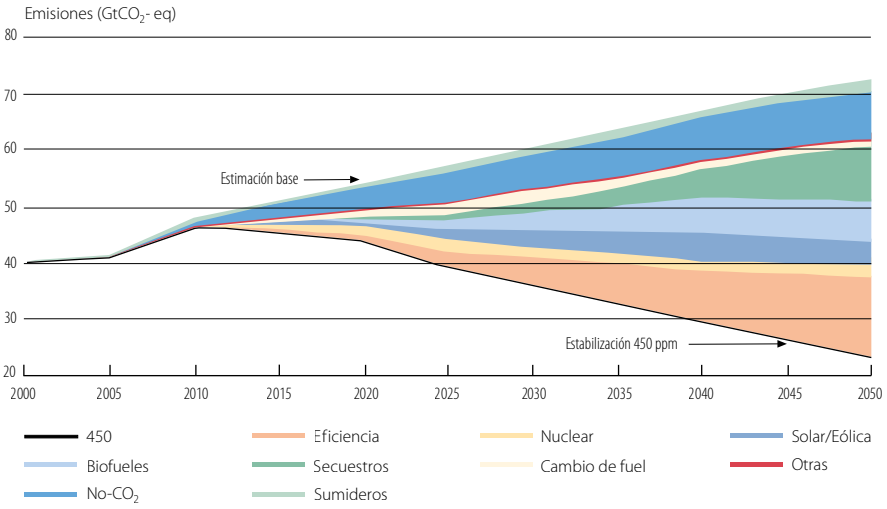
TIPO	FUENTE	ESTADO DE DESARROLLO	INCONVENIENTES
Renovables	Hidráulica	Se estima que actualmente proporciona cerca de un 20% de la energía eléctrica mundial. En Europa esta fuente está ya bastante explotada, pero en África y Asia aún tiene potencial de crecimiento. La tecnología de explotación es madura y no parece que permita aumentos de eficiencia.	Hay regiones del mundo con escasos recursos hidráulicos, como Oriente Medio. Los grandes embalses van acompañados de deforestación y tienen impacto sobre el ecosistema. La biomasa que se descompone emite CO_2 y metano.
	Eólica	Se estima que representa cerca de un 4% de la capacidad de generación eléctrica actual. Se encuentra en rápida expansión. A lo largo de los últimos 20 años, la tecnología para transformar el viento en electricidad ha experimentado grandes avances (turbinas de segunda generación).	No está aún bien resuelta la cuestión de la variabilidad del viento y el sistema de almacenamiento. Existe un problema de ruido y de impacto paisajístico. Necesita infraestructuras de red y terreno. El propio proceso de deceleración del viento podría modificar las corrientes de viento.
	Solar/ Fotovoltaica	La transformación de la energía solar en energía eléctrica se puede realizar mediante tecnología fotovoltaica, con tecnología de concentración de energía solar o con tecnologías aún experimentales. Los precios de fabricación de paneles y de instalación han ido disminuyendo.	Hay que mejorar sustancialmente el sistema de almacenar el calor cuando es de noche o está nublado.
	Biomasa / Biofueles (etanol, biodiésel)	Material biológico, básicamente procedente de plantas, que puede utilizarse como combustible. De primera generación: los derivados de productos alimentarios, como soja, maíz, caña de azúcar. De segunda generación: residuos de los cultivos alimentarios, cultivos no alimentarios, residuos de madera. La eficiencia energética varía: la de la caña de azúcar es superior a la del maíz o la soja. Los biocombustibles de segunda generación tienen más potencial de reducción de las emisiones de GEI.	La biomasa se puede producir con técnicas negativas para el medio ambiente: aumenta la demanda de suelo, agua, fertilizantes y pesticidas. Pueden contribuir a encarecer el coste de los alimentos (caso de los cereales). Los biofueles de segunda generación (no derivados de productos alimentarios) puede que no tengan algunos de estos inconvenientes, pero aún no están disponibles en el mercado. Al aumentar el uso del suelo, todos afectan a la biodiversidad.
	Geotérmica	Sólo en unos pocos países puede explotarse actualmente el calor interno de la Tierra (Costa Rica, El Salvador, Islandia, Kenia y Filipinas). El crecimiento de esta fuente es lento; las perspectivas de mejoras tecnológicas avanzan despacio.	Su distribución en la Tierra es desigual.

Ficha 7.1 Generación de electricidad. Alternativas al uso de fuentes fósiles de carbón, petróleo y gas (continuación)

TIPO	FUENTE	ESTADO DE DESARROLLO	INCONVENIENTES
Renovables	Oceánica	Los océanos proporcionan energía cinética mediante las mareas y las olas. La mayoría de tecnologías para su explotación está todavía en fase de prueba. No se prevé que estos sistemas puedan proporcionar una parte significativa de la energía eléctrica.	Por ahora se enfrenta a dificultades tecnológicas importantes, y de momento se cree que jugará un papel marginal a escala global.
Nuclear (fisión)		Representa actualmente un 15% de la generación mundial de electricidad. Hay margen para innovaciones tecnológicas (uso de *thorium*, cambios en los reactores para mejorar la eficiencia). No se prevé la disponibilidad de tecnología basada en la fusión antes del año 2040.	No se dispone de una solución suficientemente satisfactoria para gestionar los residuos radiactivos. Es difícil desvincular esta fuente de sus repercusiones sobre la proliferación del armamento nuclear. Las reservas conocidas de uranio son limitadas.

Fuente: Elaboración propia a partir de *Nature*, vol. 454, agosto 2008.

Gráfico 7.2 Trayectorias de emisiones 2000-2050



Fuente: OCDE (2008), Environmental Outlook to 2030. Gráfico 17.8, pág. 373.

Algunos ejemplos:

- Agricultura: investigación genética para desarrollar cultivos resistentes a condiciones ambientales extremas; investigación general para aumentar la productividad (reducir necesidad de suelo o de fertilizantes); desarrollo de sistemas de TIC para los cultivos y la ganadería.
- Transporte: el transporte por carretera es uno de los principales sectores responsables de las emisiones de GEI, después del sector energético. El desarrollo y la mejora de vehículos híbridos se convierte en una medida muy importante.
- Sectores industriales: química, acero, cemento, papel. La investigación en nanotecnologías puede permitir reducir el uso energético, pero hay que comprobar a la vez los posibles efectos medioambientales y sobre la salud de estas tecnologías.

  Otras innovaciones útiles para hacer frente al cambio climático pueden aparecer por ejemplo en el campo de las TIC, pues éstas pueden incidir sobre el coste y calidad de la supervisión del cambio climático (o ambiental) y de la supervisión de las políticas: innovaciones en tecnologías de seguimiento de productos peligrosos; sensores de emisiones.

El conocimiento y las innovaciones que necesitamos no caen del cielo, sino que hay que dedicarles recursos humanos, financieros y tiempo. ¿Cuántos recursos se han estado dedicando hasta ahora a la investigación en el ámbito energético y cuáles son los resultados?

7.2.2. Recursos dedicados a la investigación en el ámbito energético

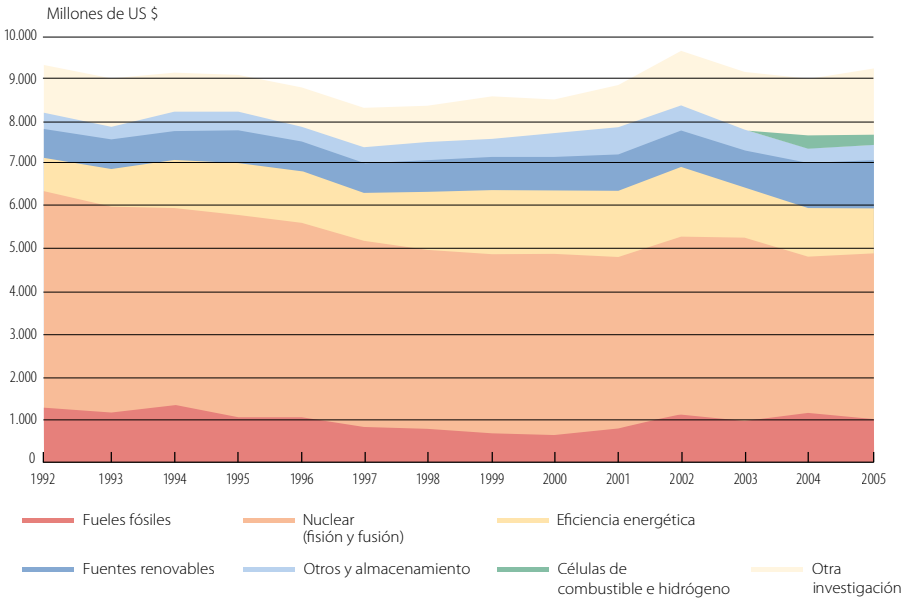
En los siguientes gráficos se ofrece una breve descripción cuantitativa de los recursos públicos dedicados a la investigación en el sector energético y de sus resultados en términos de invenciones patentadas.

El gráfico 7.3 muestra que el volumen global de fondos públicos se ha mantenido relativamente estancado desde los años noventa. La investigación en la energía nuclear (fusión y fisión) concentra buena parte de este gasto.

En general, estos fondos representan en cada país una pequeña parte de la inversión pública total en I+D, reflejando las diferentes prioridades públicas. El país que ha dedicado más recursos por habitante a la investigación sobre energía ha sido, en el período 2001-2005, Japón (27 dólares por persona), seguido a una distancia considerable por Suiza (cerca de 15 dólares) y, en tercer lugar, Estados Unidos (10 dólares).[8]

8. Véase Martin, R. (2007).

Gráfico 7.3 **Fondos públicos para la I+D energética en los países miembros de la IEA**



Fuente: OCDE (2008), Environmental Outlook to 2030, pág 371.

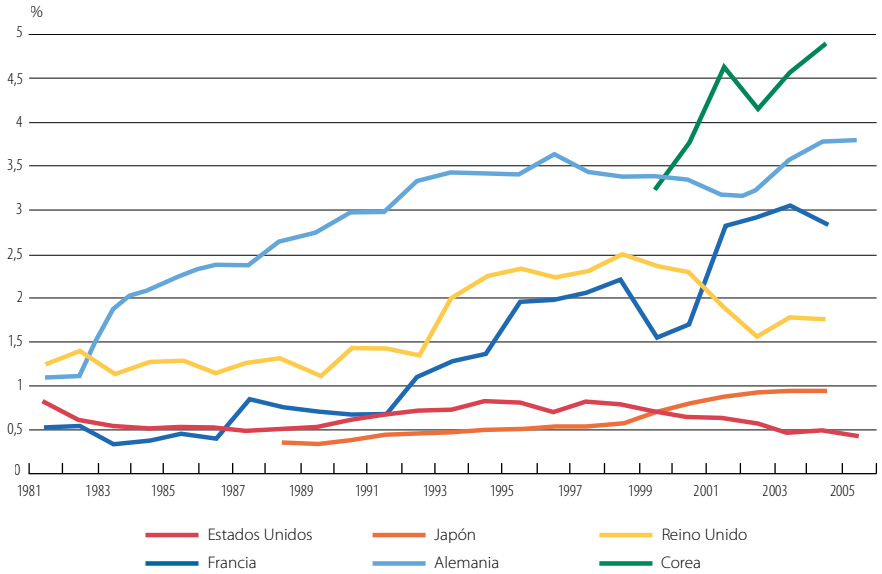
En la Unión Europea (UE-27) en conjunto, los presupuestos públicos dedicados a la investigación en producción y uso racional de la energía no han aumentado a lo largo del período 2000-2005, mientras sí lo han hecho los dedicados a otras áreas. De hecho, en la UE-15 se han reducido. El peso de los recursos públicos dedicados a la energía representaba, en 2005, un 2,7% del total (Eurostat 2008).

El gráfico 7.4 muestra la financiación pública de la investigación ambiental, que incluye la energética, en varios países.

No disponemos de datos similares sobre el volumen de recursos que se dedican a I+D en el sector energético en el sector privado.[9] Podemos tener, sin embargo, una cierta idea, aunque muy incompleta, viendo, para el caso de Estados Unidos, qué peso tiene la inversión en I+D en relación con las ventas netas en diferentes sectores productivos. Estos datos se muestran en la ficha 7.2, que ilustra la variación considerable de inversión en investigación entre sectores productivos. Las diferencias obedecen a varios factores, como son el coste de producir innovaciones tecnológicas y características de la demanda (mercado potencial y comportamiento de los competidores) y grado de apropiabilidad, factores que condicionan la rentabilidad privada de este tipo de inversión. La generación de innovaciones se concen-

9. Las estadísticas sobre inversión privada en I+D normalmente proporcionan la información según el sector de actividad de las empresas y no según el objetivo de los proyectos de investigación. Por otra parte, el hecho de que se considere a menudo que esta segunda información tiene carácter estratégico, dificulta la publicación de los datos.

Gráfico 7.4 **El peso de la I+D ambiental pública en relación con toda la I+D pública, 1981-2005**



Fuente: OCDE (2008), Environmental Outlook to 2030, capítulo 1, fig. 1.7.

tra normalmente en ciertos sectores, mientras que otros son más bien usuarios de innovaciones. En el caso del sector energético de Estados Unidos, hay estudios que muestran que se ha reducido bastante la inversión privada (Nemet, 2007).

¿Cuántas invenciones se están obteniendo y qué países son los inventores? No basta con disponer de datos sobre inversión en conocimiento, sino que hay que ver cuáles son los resultados que se obtienen de esta inversión a lo largo del tiempo. Una forma de medir los resultados son las patentes solicitadas o las registradas en los campos relacionados en las tres oficinas de patentes más relevantes: la Oficina Europea de Patentes (EPO), la Oficina Americana de Patentes (USPTO) y la Oficina Japonesa de Patentes (JPO).

El gráfico 7.5 muestra la evolución del número de patentes solicitadas o registradas a lo largo del período 1978-2002 en diferentes áreas relacionadas con el medio ambiente. En conjunto, se observa un crecimiento notable de las patentes relacionadas con el tratamiento de la contaminación de las aguas y más moderado en el caso de la contaminación del aire.

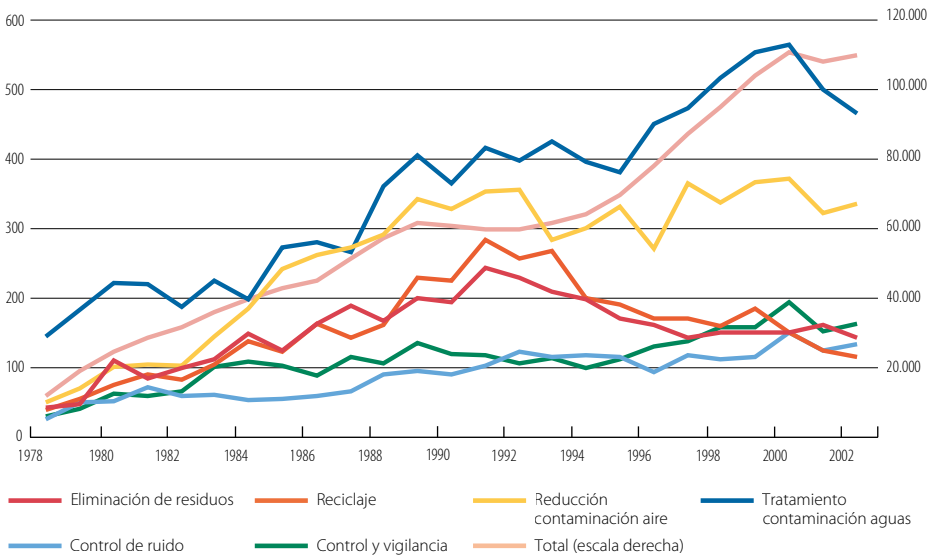
El gráfico 7.6 permite ver que, mirando con más detalle algunos casos, se aprecia un notable crecimiento de las patentes relacionadas con las energías renovables (solar y eólica), por encima del crecimiento medio del número de patentes en este período. En el caso de las emisiones causadas por vehículos de motor, se está avanzando más en nuevos diseños de motores que en técnicas reductoras una vez hecha la combustión.

Ficha 7.2 Inversión en I+D en relación con las ventas netas en las empresas en Estados Unidos

	2004	2005
Todos los sectores	3,4	3,3
Manufacturas	3,4	3,6
Productos de petróleo y carbón	0,4	0,4
Química básica	2,1	2,0
Productos farmacéuticos	10,0	12,7
Equipamiento de comunicaciones	9,5	14,0
Equipamiento de transporte	2,7	3,0
Vehículos	2,4	2,5
Minería, extracción y actividades complementarias	2,4	2,0
Producción y distribución de electricidad, gas, agua	0,1	0,1
Construcción	2,6	2,2
Finanzas, seguros, inmobiliarias	0,4	0,5

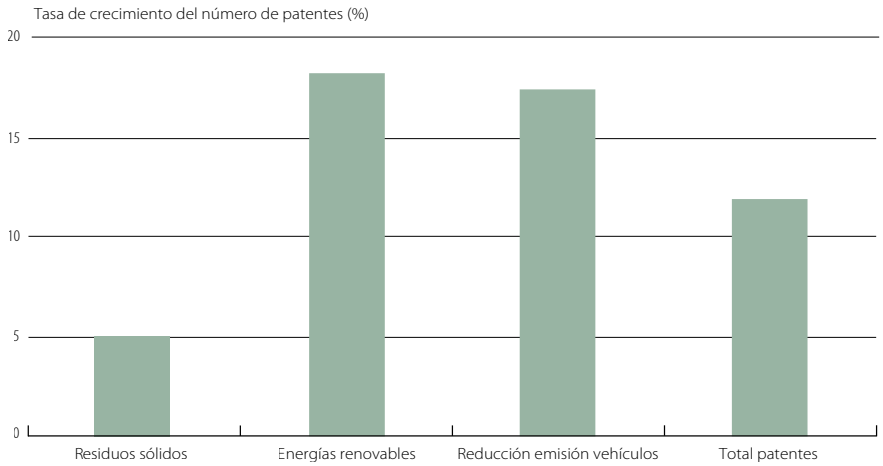
Nota: Los sectores en cursiva son los más vinculados a la producción y distribución de energía. No son los más intensivos en I+D. Se benefician, no obstante, de la investigación e innovaciones generadas en otros sectores, como pueden ser el de semiconductores o de componentes eléctricos. Hay que tener en cuenta, pues, que parte de la investigación en otros sectores puede tener por objetivo mejorar la eficiencia energética, como puede ser también el caso del sector de los vehículos.
Fuente: NSF, *Science and Engineering Indicators* 2008.

Gráfico 7.5 Número de familias de patentes (triádicas) relacionadas con el medio ambiente



Fuente: OCDE (2008), Environmental Outlook to 2030, capítulo 1, fig. 1.8.

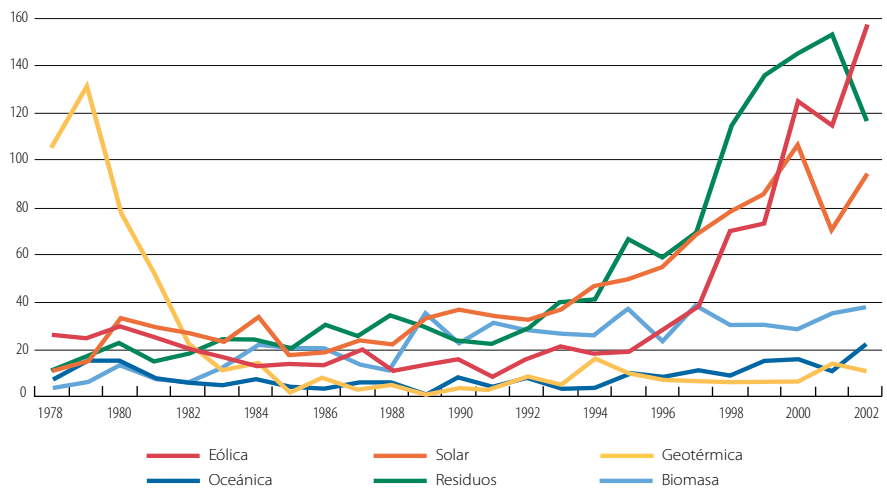
Gráfico 7.6 **Tasa de crecimiento de las patentes (*triadic patent families*) en determinadas áreas. 1995-2004**



Fuente: OCDE (2008), Environmental Outlook to 2030, capítulo 1, fig. 1.9.

Finalmente, el gráfico 7.7 permite observar el progreso en el número de patentes solicitadas a la Oficina Europea de Patentes por tipo de energía renovable desde mediados de los años noventa. Las relacionadas con la energía eólica y la conversión de residuos son las que han experimentado un crecimiento más fuerte.

Gráfico 7.7 **Número de solicitudes de patentes a la *European Patent Office***



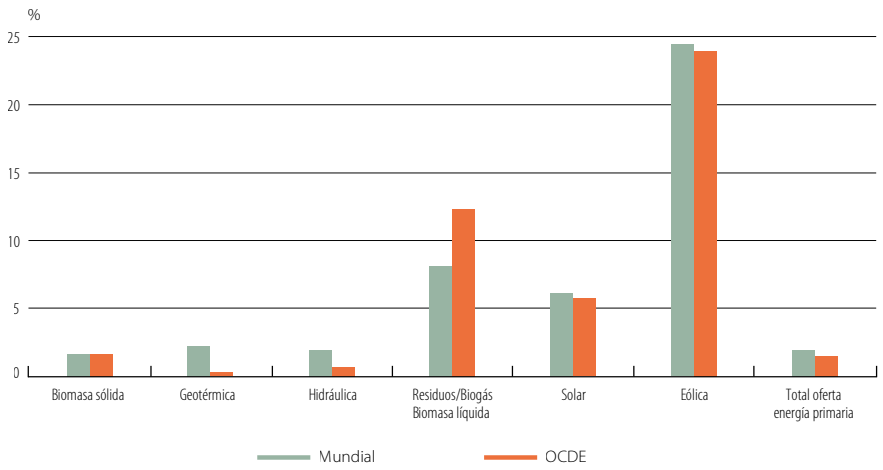
Fuente: Environmental Policy, Technological Change and Patent Activity, Working party on national Environmental Policies, OCDE (2008), ENV/EPOC/WPNEP(2007)5/FINAL.

¿En qué países se produce esta investigación? Alemania y Dinamarca destacan en energía eólica, y otra vez Alemania y Japón en energía solar. Teniendo en cuenta todas las energías renovables y en términos absolutos, Alemania, Estados Unidos y Japón son los líderes en solicitud de patentes a la EPO (a lo largo del período 1978-2003) (OECD 2008a). Considerando la dimensión económica del país (el PIB), destacan Dinamarca, Suiza y Alemania. Por último, a tenor del conjunto de solicitudes de patentes de cada país (una medida de la capacidad inventiva efectiva), España ocupa un segundo lugar de entre 19 países en solicitudes de patentes relacionadas con la energía eólica y solar, después de Dinamarca en eólica y Australia en solar.

¿En qué medida se utilizan estas invenciones para producir energía? No disponemos todavía de un estudio que examine esta cuestión, pero un indicador imperfecto es el crecimiento de la producción de energías renovables, teniendo en cuenta, sin embargo, que este crecimiento depende también de otros factores. El gráfico 7.8 muestra la tasa media de dicho crecimiento y destaca el fuerte crecimiento experimentado por la energía eólica a lo largo del período 1990-2004.

¿Es suficientemente satisfactoria la inversión actual en I+D energética y sus resultados? ¿Cuáles son las barreras a la generación de más conocimiento, invenciones y tecnologías, y a su uso? Esta problemática se trata en la siguiente sección.

Gráfico 7.8 **Tasa anual media de crecimiento de la producción de energía de fuentes renovables, 1990-2004**



Fuente: OCDE (2008), Environmental Outlook to 2030, capítulo 1, fig. 1.6.

7.3. Empresas y consumidores: ¿cuáles son los incentivos para generar, introducir en el mercado y adoptar innovaciones tecnológicas relacionadas con el cambio climático?

Dada la información que tenemos sobre los aspectos geofísicos del cambio climático, sobre la probabilidad de los diferentes impactos y sobre las posibilidades que ofrece el cambio tecnológico de mitigarlos o de ayudarnos a adaptarnos, ¿podemos esperar que el comportamiento colectivo –como consumidores, usuarios y productores– cambie y generemos o utilicemos automáticamente, en el grado necesario y deseable, nuevos procesos productivos o nuevos productos? El análisis económico predice que la respuesta a esta pregunta es negativa por dos razones.

7.3.1. El doble fallo

La primera razón es que, como consumidores, generalmente nuestras decisiones son el resultado de una comparación más o menos explícita entre el coste que comportan y el bienestar personal que nos generan. En este sentido, las pautas de consumo están fuertemente condicionadas por los precios y la renta. Como productores, las pautas de producción y de inversión –tanto en activos de capital físico como en activos intangibles, como son las actividades de innovación– responden a la diferencia entre ingresos y costes esperados a lo largo de un período determinado. Como ya se ha visto en los primeros capítulos, los precios no siempre reflejan los costes reales de las decisiones de consumo o de los *inputs* que utilizamos en la producción, como es el caso del consumo de energía obtenida de fuentes fósiles.

La segunda razón es que determinadas características de las actividades dirigidas a generar invenciones hacen que el volumen de inversión privada en cualquier país y en ausencia de ciertas políticas sea en general inferior a la colectivamente deseable, ya que hay una diferencia entre la rentabilidad privada y la colectiva de este tipo de inversión.

Estos dos factores influyen negativamente en la búsqueda y uso de nuevas tecnologías y, en particular, de aquéllas que permitirían mejorar la eficiencia energética u obtener nuevas fuentes de energía. Se produce un *doble fallo del mercado*.

1) **El primer fallo** aparece cuando la oferta y/o la demanda de los servicios y productos no reflejan el daño que ciertas actividades de producción y/o consumo generan, involuntariamente, sobre terceros, como es el caso de las emisiones de CO_2 o GEI en general. Este daño es una *externalidad negativa* de la producción y/o consumo sobre el medio ambiente. Si los precios de mercado no reflejan el coste social, se generan dos tipos de consecuencias:

   1a) Estática: a cada momento, se produce y consume demasiado.

   1b) Dinámica: como, en nuestro caso concreto, emitir GEI no comporta ningún coste para quienes emprenden las actividades emisoras, no hay incentivos para buscar innovaciones, o adoptar las existentes, que limiten el daño generado. Si el precio de la

energía de origen fósil es bajo porque no refleja su coste social, o no se espera que esto ocurra, no habrá incentivos ni para generar ni para adoptar tecnologías alternativas, a no ser que tengan un coste más bajo que las de origen fósil.

Si los precios de los productos/servicios que generan estas externalidades negativas reflejasen el coste marginal social (mediante impuestos o el pago para tener permisos de emisión), el nivel de investigación y de innovación en procesos y productos por parte del sector privado que redujesen el daño aumentaría, al menos en cierta medida. El encarecimiento permanente de las actividades emisoras de GEI estimularía la búsqueda e introducción de procesos de producción o de productos alternativos que redujesen las emisiones. También aumentaría el uso de productos o procesos productivos limpios, algunos ya existentes, pero, por ahora, más caros.

El hecho de establecer políticas para corregir el primer fallo ayuda, pues, a crear o ampliar demanda y mercados para nuevos productos o procesos limpios.[10] La evidencia empírica muestra que, en general, los precios son la manera más clara, directa e inequívoca para que consumidores y productores perciban el coste de sus actividades y ajusten las decisiones de consumo, de producción, de innovación y de uso de innovaciones en la dirección adecuada para aumentar el bienestar general.

Ahora bien, aún así, esta búsqueda de innovaciones y sustitución de procesos o productos sería insuficiente debido a la naturaleza de bien público que tienen la investigación y la experimentación, necesarias para obtener muchas de las innovaciones. Y esto provoca el segundo fallo del mercado:

2) **El segundo fallo** se produce en el ámbito de la investigación y generación de innovaciones. Las innovaciones son el fruto de la dedicación de recursos humanos y financieros a la actividad de pensar, experimentar, comprobar y diseñar nuevos productos, servicios o procesos productivos, lo que hace avanzar la frontera tecnológica. Conllevan un coste y un riesgo –científico, técnico y comercial– a veces muy elevado, superior al de otros tipos de inversión. Se puede tardar años en obtener resultados y, a veces, éstos son inesperados. En cambio, una vez realizado un hallazgo y lograda una innovación, puede ser fácilmente imitada, utilizada o copiada por otros, sin que exista una compraventa de esta información.

   Se puede producir, en definitiva, una filtración o difusión de información que la empresa pionera no puede evitar. El hecho de que la información creada beneficie de esta forma a terceros es una *externalidad positiva.*[11]

10. Este efecto inductor de un incremento de precios sobre la inversión en generación o uso de innovaciones se conoce como *hipótesis de la innovación inducida*.

11. El término habitual para referirse a este tipo de externalidad es el de *efectos difusión del conocimiento (knowledge spillovers)*. En esta situación se dice que se produce un *problema de apropiabilidad* de los beneficios generados por este activo intangible que es el nuevo conocimiento. La facilidad de imitación o copia varía según el tipo de innovación. En algunos casos, su complejidad permite que la empresa pionera pueda gozar, al ser la primera, de los beneficios de ser la única productora del producto o servicio (situación de monopolio) durante suficiente tiempo como para que compense realizar la inversión en I+D, aunque más adelante puedan aparecer imitadores.

Cuando de estas filtraciones se benefician competidores en el mismo mercado, es posible que las ventas e ingresos esperados de la empresa pionera se reduzcan, de forma que los beneficios esperados y, en consecuencia, la rentabilidad de producir innovaciones, disminuyan hasta tal punto que no compense emprender la búsqueda de innovaciones. Y si no se produce la innovación, tampoco hay nada para imitar, de modo que se pierde una posibilidad de mejorar el bienestar colectivo.

Aunque no sean competidores los que se benefician de ello, se producirá por definición una diferencia entre la ganancia que deriva de la información para quien la produce y la ganancia colectiva de la misma, que es superior. Por eso se acaba produciendo menos innovación de la que sería socialmente deseable.

El flujo de información y las filtraciones de conocimientos pueden producirse tanto entre empresas de un mismo territorio o país (la investigación e innovación que lleva a cabo una empresa inspira a otras empresas) como entre empresas de diferentes países. En el primer caso se dice que la externalidad es de ámbito local o regional y, en el segundo, de ámbito internacional. También se puede producir este flujo entre empresas de un mismo sector, o bien entre distintos sectores. Normalmente será más problemático, en términos de incentivos, el que se produce dentro de un mismo sector.

El problema de la falta de suficientes mecanismos para garantizar que la empresa que dedique recursos a generar nuevos productos o procesos obtenga una rentabilidad o compensación adecuada puede afectar, si bien normalmente en diferentes grados, a todos los sectores productivos. Ahora bien, afecta especialmente a aquellos tipos de sectores y proyectos que dependen en buena medida de la investigación básica, tanto porque esto hace que el coste de obtener un resultado sea más elevado (cuando menos, porque el horizonte temporal acostumbra a ser largo), porque la probabilidad de obtenerlo puede ser baja o porque, una vez obtenido, puede ser relativamente poco costoso de imitar o replicar.[12]

Consecuencia: no basta con que el precio del carbono sea el correcto para que a empresas y usuarios les compense buscar y utilizar innovaciones, sino que hay que diseñar determinados tipos de acción colectiva para estimular la investigación y la innovación hasta el nivel socialmente deseable. Ello abarca acciones que van desde la cooperación supranacional hasta la provisión pública de cierto tipo de investigación o de información, pasando por sistemas de patentes, subvenciones e incentivos fiscales a las empresas que emprenden proyectos de innovación significativa (véase la ficha 7.3).

Nos podemos preguntar también si, en caso de que se efectuase una política de investigación y de innovación más activa en el terreno ambiental y de reducción de emisiones (o de costes para hacerlo), sería suficiente para corregir los problemas causados por las emisiones de GEI.

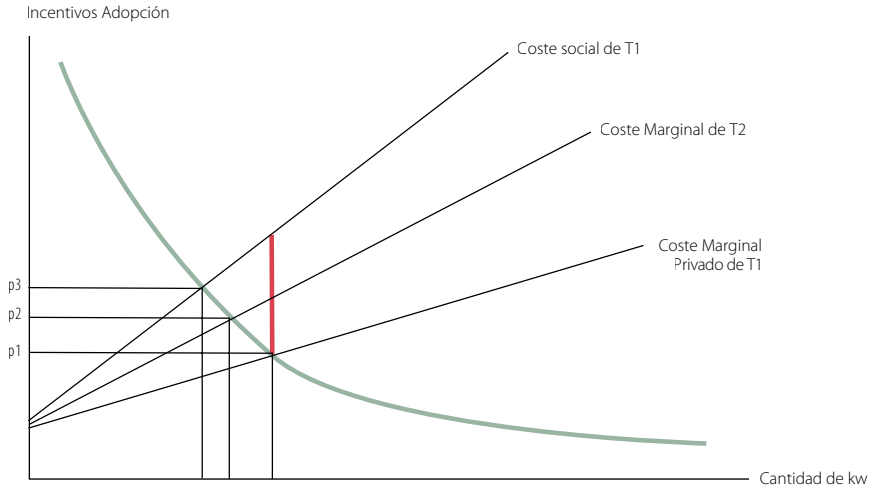
12. Por ejemplo, se ha estimado que generar un compuesto nuevo en el sector farmacéutico implica una inversión total de unos 400 millones de dólares (desde la investigación hasta las pruebas clínicas en humanos), que el proceso dura unos diez o doce años, y que la probabilidad de aprobación por parte de la FDA de Estados Unidos es de un 22%. En cambio, el coste de copiar un compuesto representa una inversión de uno o dos millones de dólares y se puede hacer en uno o dos años (Grabowski, 2002).

La respuesta es también negativa. Si los productos asociados a tecnologías emisoras de GEI son más baratos que las nuevas alternativas limpias porque las primeras no incorporan el coste de los daños, no habrá demanda para las segundas, aunque la ayuda pública, mediante subvenciones, incentivos fiscales u otros, haya contribuido a crear estas alternativas. Es más, ofrecer apoyo público a I+D para desarrollar tecnologías de control de emisiones puede ser socialmente deseable sólo si el precio de las emisiones refleja suficientemente los daños y si las externalidades asociadas a la investigación son importantes (Fischer, 2008).

La posibilidad de obtener y adoptar tecnologías eficientes no reduce en general la necesidad de que el precio de la energía fósil aumente, sino que precisamente este aumento es imprescindible para que se incremente la búsqueda y uso de tecnologías alternativas, las cuales permiten que el coste de reducir las emisiones sea inferior. Por lo tanto, se hace necesario utilizar dos tipos de instrumentos para resolver los dos fallos del mercado.

Ficha 7.3 El doble fallo: una ilustración gráfica

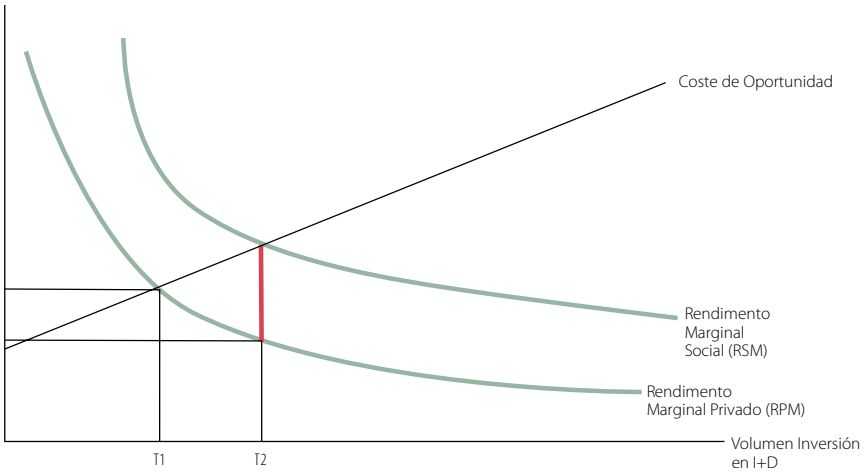
Gráfico 7.9 Insuficiencia de incentivos para la adopción de medidas si no hay impuestos sobre emisiones (o similares)



La línea «Coste Marginal Privado de T1» representa la función de oferta de electricidad con una tecnología, T1, emisora de CO_2 (p. ej., carbón) suponiendo que no existe ninguna penalización para las emisiones. La línea «Coste Marginal de T2» representa la función de oferta de electricidad con una tecnología limpia, que suponemos ya existe, pero que es más cara. Está claro que los consumidores (pueden ser hogares o empresas) en general preferirán comprar electricidad al precio más bajo, es decir, el que resulta de utilizar T1. Si hubiese una política ambiental eficiente, se aplicaría un impuesto igual a la línea roja, que encarecería la electricidad obtenida con T1 y saldría a cuenta utilizar T2. Se puede observar también que subvencionar actividades que generan emisiones aún reduce más el incentivo para adoptar la tecnología T2, además de aumentar las emisiones. Finalmente, si fuera posible el desarrollo de una tercera tecnología limpia, T3, de tal modo que el coste de producir kw adicionales fuera siempre inferior al coste de T1, entonces se adoptaría T3 incluso sin un impuesto sobre el carbono.

Ficha 7.3 El doble fallo: una ilustración gráfica (continuación)

Gráfico 7.10 Insuficiencia de incentivos para la generación de innovaciones



Es posible que la tecnología limpia T2 no esté disponible por falta de incentivos a la investigación y desarrollo necesarios para introducirla en el mercado. Supongamos que T1, en el eje horizontal, es la inversión (en euros) en I+D necesaria para producir la tecnología (sucia) T1. Para producir la tecnología T2 es necesario invertir más en I+D. Ambas tecnologías, una vez descubiertas y puestas en el mercado, generan un cierto nivel de rentabilidad para la empresa inventora, pero también para otras que pueden copiarla o imitarla. La línea RMP representa el retorno a la inversión que hace una empresa, y la línea Coste de Oportunidad representa el coste de oportunidad de la inversión (retorno obtenido por inversiones alternativas). La línea RMS representa la rentabilidad para la empresa inventora más la rentabilidad para las imitadoras. La empresa inventora sólo invertirá hasta T1, porque cada euro más dedicado a I+D le representa un coste adicional mayor que su rendimiento adicional. En cambio, socialmente saldría a cuenta invertir hasta T2. Por lo tanto, sin, por ejemplo, una subvención de x euros (línea roja), a partir de T1 euros de inversión no se producirá la tecnología limpia. Al mismo tiempo, si el precio de las emisiones no es el correcto, no habrá mercado para T2.

Estos argumentos, de forma simplificada, se pueden ilustrar gráficamente mediante las curvas de oferta (que refleja costes) y demanda (valoración), que pueden aplicarse al caso, por ejemplo, de la generación de la electricidad o al de uso de vehículos para el transporte público o privado.

Una segunda fuente posible de externalidades positivas se puede dar cuando el coste medio de producción de un producto o servicio disminuye a lo largo del tiempo por el aumento de la productividad gracias al aprendizaje gradual (curva de aprendizaje), resultado de la experiencia y de la introducción de mejoras. Este aprendizaje puede beneficiar no sólo a la empresa pionera, sino también a otras. Es lo que se llama «aprender haciendo» (*learning by doing*).[13] En estudios de tecnologías concretas, como el de la energía solar fotovoltaica,

13. Concepto introducido por Arrow. Una investigación que estudia la existencia de este fenómeno en el sector de los semiconductores es la de Irwin y Klenow (1994). También se ha estudiado en el caso de la energía solar (Nemet 2006).

parece que las reducciones de costes alcanzadas a lo largo del tiempo se deben más a la inversión en I+D realizada para conseguirlas que al simple aumento de la producción (Nemet, 2006).

7.3.2. Otras barreras a la generación y difusión de innovaciones

Ahora bien, hay que decir que las dificultades de innovar en el sector privado no se derivan sólo de problemas de apropiabilidad limitada. La generación y uso de información o de conocimientos nuevos no se produce automáticamente, sino que es preciso que haya terceras empresas y emprendedores que sepan valorarla y tengan capacidad de utilizarla (capital humano) e incentivos económicos para hacerlo (que existan, en general, estructuras de mercado competitivas que estimulen la búsqueda de la diferenciación de productos o mejoras de procesos, sin barreras a la entrada y al espíritu empresarial).

El funcionamiento ineficiente de otras partes del sistema económico constituye una fuente de barreras adicionales a la capacidad de innovación. Cuando menos, la interdependencia entre mercados es un hecho que hace que lo que ocurre en uno concreto afecta al resto, con intensidad variable. A menudo estas barreras están correlacionadas con el nivel de desarrollo de un país.[14] Destacamos las siguientes:

1. La falta de competencia en el mercado de los diferentes sectores productivos, o la existencia de regulaciones ineficientes, y especialmente en nuestro caso, en los sectores relacionados con la generación de energía y el transporte, puede traducirse en falta de presión para mejorar procesos y productos, aunque no haya problemas de apropiabilidad.[15]

2. El hecho de que muchos proyectos de investigación presenten un riesgo técnico y comercial elevado, o un horizonte temporal largo, dificulta la obtención de financiación externa a la empresa. La falta de productos financieros adecuados repercute negativamente sobre la innovación, como es especialmente el caso, en general, de la creación de empresas basadas en conocimiento.

3. Para que existan buenas ideas es necesario que haya personas con capacidad de tenerlas y personas con capacidad de ejecutarlas. Esto significa que hay que contar con un buen sistema educativo y formación continuada a todos los niveles y tener las instituciones eficientes (gestión de recursos humanos, a nivel empresarial y del conjunto de la sociedad) para conseguirlo.

14. Véase sobre este punto el capítulo V. El conjunto de barreras a la innovación que se derivan del funcionamiento de otras partes del sistema económico reciben el nombre a veces de *fallos sistémicos.* Véase, por ejemplo, Maloney y Rodríguez-Clare (2007).
15. Se entiende que en los casos donde se producen economías de escala que justifican un monopolio natural, no puede haber competencia, sino regulación eficiente. Hay que comprobar que la regulación no facilite comportamientos estratégicos que dificulten el desarrollo de innovaciones.

4. La existencia y la persistencia, en el caso de la energía y del transporte, de subvenciones directas o indirectas al uso de carbón o de petróleo (que a nivel mundial representan miles de millones de dólares anuales) perjudican el despliegue de las tecnologías basadas en fuentes renovables de energía (Pershing y Mackenzie, 2004). Por otra parte, una vez desarrolladas estas tecnologías puede ser necesario disponer de infraestructuras de distribución diferentes a las establecidas –por ejemplo, redes de recarga de biocombustibles o electricidad para vehículos–, lo que plantea un problema de coordinación.

Por lo tanto, tener una política de innovación se convierte en una condición necesaria, pero no suficiente, para lograr que en conjunto se alcance el nivel deseable de generación y difusión. Conviene que ciertas políticas complementarias estén dirigidas a potenciarla y se eliminen los posibles obstáculos creados por otras intervenciones.

7.3.3. La política de investigación y de innovación

Existe bastante evidencia empírica, fundamentada tanto en datos micro, o a nivel de empresa, como en datos macro, de países, sobre la existencia de externalidades positivas –filtraciones inevitables de información o conocimientos– relacionadas con las actividades de investigación y de innovación en general.[16] Esta evidencia apoya el diseño e implementación de políticas de investigación y de innovación, que tienen por objeto generar conocimientos y recursos públicos que, en una economía de mercado, no se generarían de otro modo, aún siendo colectivamente deseables, por insuficiencia o falta de incentivos individuales.

En la ficha 7.4 se resumen los principales instrumentos de esta política, que a menudo conviene aplicar como un paquete, dado que cada uno tiene algunas limitaciones o presenta dificultades de aplicación. Por ejemplo, los derechos de propiedad intelectual pueden ser una buena herramienta para algunos sectores y tipos de conocimiento, mientras que en otros casos pueden ser excesivos. Tienen la ventaja, sin embargo, de que son los inventores o las empresas los que deciden qué tipo de búsqueda hacer, respondiendo a necesidades del mercado. A su vez, la financiación pública conviene que se dirija a proyectos de investigación o a crear infraestructuras que tengan valor social superior a su coste, un valor privado inferior y que sean difícilmente patentables.

Ahora bien, el diseño concreto y la aplicación de estos instrumentos de manera correcta no es fácil. Por ejemplo, el nivel de exigencia para obtener el derecho a una patente debe ser adecuado, así como la duración y amplitud de la misma; la resolución de litigios debe funcionar bien, y las subvenciones a los proyectos de investigación, de desarrollo y de demostración deben ser proporcionadas a la magnitud de los *spillovers* asociados (se presupone que las propuestas satisfacen el criterio de excelencia científica y técnica).[17]

16. Algunas referencias destacadas son las siguientes: Griliches (1992), Jones y Williams (1998) y Bloom, Schankerman y Van Reenen (2007).
17. Véase, por ejemplo, Encaoua, D.; Guellec, D. y C. Martínez (2006).

Además, la efectividad (en el sentido de impacto o capacidad de alcanzar los resultados deseados en términos de innovación y su difusión) de los instrumentos específicos depende tanto de un buen diseño de los instrumentos como de otros elementos del sistema económico. Tener un buen sistema de patentes por sí solo no puede hacer que aumenten las innovaciones si en las universidades, centros de investigación y empresas privadas no se estimula y recompensa la generación y el progreso de las ideas o si no existen productos financieros adecuados para promover la creación y expansión de *start-ups* o *spin-offs*. De ahí que sea necesario evaluar *ex post*, cualitativa y cuantitativamente, la efectividad de los diferentes instrumentos. Sobre esto se hablará en la sección 7.4.[18]

Ficha 7.4 Instrumentos de la política de investigación y de innovación

Objetivo: recompensar y estimular las actividades de investigación e innovación que, siendo socialmente rentables, no lo son privadamente.

- Sistema eficiente de Propiedad Intelectual.
- Financiación pública de proyectos de investigación básica o aplicada, precompetitiva, que de otro modo no se realizaría.
- Subvenciones a buenos proyectos de I+D de las empresas que de otro modo no se realizarían.
- Premios a la investigación y desarrollo tecnológicos.
- Fomento de la colaboración entre empresas, entre éstas y centros de investigación y entre centros de investigación dentro de un país y entre países.
- Coprovisión pública-privada de capital riesgo y asesoramiento para nuevos proyectos basados en el conocimiento.
- Facilitar la creación de servicios y redes de información y asesoramiento relacionados con la innovación.
- Incentivos fiscales para proyectos empresariales de I+D+i.
- Formación de personal altamente calificado.
- Provisión de infraestructuras (laboratorios) para experimentar, apoyo a proyectos piloto, establecimiento de mecanismos de verificación y certificación (información) de las nuevas tecnologías que se desarrollen... (OCDE (2007), *Environmental Innovation and Global Markets* ENV/EPOC/GSP (2007) final).

Políticas complementarias:

- Fomento de la competencia y eliminación de barreras a la entrada de nuevas empresas.
- Regulación eficiente de monopolios naturales e industrias o servicios de red.
- Regulación eficiente de entidades y mercados financieros.
- Eficiencia del sistema educativo y de formación continuada (formación técnica y empresarial y emprendedora).
- Mercado de trabajo eficiente.
- Provisión o promoción de ciertas infraestructuras complementarias.

18. Véase Vegara (2005), en el que se tratan diversas contribuciones sobre innovación, medio ambiente y regulación. Un panorama específico sobre la innovación y las políticas de innovación en Cataluña se puede encontrar en Busom (2006).

7.3.4. Un aspecto específico del cambio climático: la dimensión internacional de las dos externalidades

Un hecho muy importante es que los dos fallos son de dimensión mundial, lo que repercute en el diseño de políticas. Primero, como se ha expuesto en los capítulos anteriores, las emisiones de los agentes de un país afectan negativamente tanto a la población propia como a la del resto del mundo, en diferentes grados. Si cada país no implementa políticas ambientales que tengan en cuenta el impacto sobre el resto del mundo, el daño de las emisiones estará infravalorado y, por lo tanto, las correcciones, concebidas a nivel estatal, serán inferiores a las globalmente deseables. Es el conocido problema del polizón o dilema del prisionero a nivel mundial. Uno de los efectos de esta situación es que el mercado potencial para las nuevas tecnologías limpias será menor del que sería factible y deseable (como en la ficha 7.3, gráfico 7.9), y ello repercute en los incentivos para introducir innovaciones que son costosas y requieren disponer de un gran mercado. Si mediante la coordinación se establecen, por ejemplo, de forma generalizada impuestos sobre el carbono (o medidas equivalentes), se creará un mercado de ámbito mundial para las tecnologías limpias, haciendo que salga a cuenta aumentar su investigación y adopción.[19]

Segundo, la investigación genérica y la básica orientadas hacia un mejor conocimiento de causas y efectos del cambio climático y el desarrollo de las nuevas tecnologías para mitigación y adaptación benefician no sólo a los agentes del país donde se lleve a cabo esta investigación. Como la investigación es costosa y arriesgada, muy posiblemente ocurrirá, como ilustraba el gráfico 7.10, que en cada estado el nivel de financiación pública y privada será inferior a lo que le correspondería teniendo en cuenta lo que es deseable mundialmente. Cada país puede decidir esperar que el coste de inventar lo paguen otros, para después simplemente copiar. Un posible remedio es la cooperación. Al igual que la cooperación entre empresas, o entre universidades y empresas, puede ayudar a alcanzar el nivel de inversión en I+D deseable dentro de un país cuando las externalidades no vayan más allá de sus fronteras, la cooperación internacional puede ser una forma de conseguir el nivel deseable cuando las externalidades son de ámbito mundial.

Dos características adicionales de la investigación en el ámbito del cambio climático aconsejan el fomento de la cooperación internacional en investigación y desarrollo de conocimiento y tecnologías: la existencia de economías de escala (la colaboración permite reducir el coste medio y evitar duplicaciones, armonizar estándares) y el grado de incertidumbre, así como el horizonte temporal (la colaboración permite compartir el riesgo).

El marco de la Unión Europea ciertamente facilita la coordinación entre los países miembros en ambos tipos de políticas; por un lado, mediante el mercado de permisos, y por otro, mediante el Programa Europeo de Competitividad e Innovación 2007-2013, que incluye un subprograma dirigido a financiar proyectos relacionados con el cambio climático (desarro-

19. O al menos lo hagan los países miembros de la OCDE y grandes países y con influencia global como China e India.

llo de células de hidrógeno y fuel, captura de CO_2, eficiencia energética, transporte limpio y materiales no perjudiciales para el medio ambiente).[20] Esta iniciativa incluye también medidas para difundir las mejores prácticas (programas de demostración, plataformas tecnológicas) y medidas para compartir conocimientos científicos.

Pero esto es claramente insuficiente, dada la escala global del cambio climático. Para alcanzar el nivel de investigación y de innovación deseables mundialmente (tanto generación como difusión de innovaciones) sería necesaria, por un lado, la cooperación multilateral y, por otro, la eliminación de las barreras internas a la innovación en cada país. El problema de la cooperación es que puede ser que individualmente no salga a cuenta firmar un acuerdo, o si se firma, no se cumpla. El diseño de acuerdos internacionales, de modo que se creen los incentivos para cooperar y cumplirlos por parte de cada miembro, es fundamental. Varios economistas han utilizado la teoría de juegos para analizar las posibilidades de cooperación internacional –formación de coaliciones– en el ámbito del cambio climático. Según algunos autores, puede ser más fácil llegar a acuerdos que puedan cumplirse, en el caso de la cooperación tecnológica ambiental, que no llegar a acuerdos de reducción de emisiones, aunque también se estudian propuestas para hacerlos viables.[21]

Ahora bien, la cooperación tecnológica no es suficiente para alcanzar los niveles de reducción de emisiones colectivamente deseables. Una vía para avanzar puede ser el diseño de acuerdos que combinen el objetivo de reducción de emisiones y el de transferencia tecnológica.[22] Existen ya algunas iniciativas internacionales de acuerdos para el desarrollo y difusión de tecnologías para facilitar la reducción de emisiones, que se resumen en la ficha 7.5. Entre ellas puede ser especialmente interesante el Fondo Multilateral para la implementación del Protocolo de Montreal, establecido para ayudar a los países en desarrollo a reducir el uso de sustancias que afectan a la capa de ozono. Este tipo de acuerdo prevé que los países en desarrollo puedan tener dificultades de financiación para cumplir los acuerdos de reducción de emisiones, por lo que procura establecer incentivos apropiados para que estos países se comprometan.

Visto desde la perspectiva de los países en desarrollo, ¿hasta qué punto la necesidad de luchar contra la pobreza puede limitar su interés por participar en acuerdos para la reducción de emisiones o de otras medidas de mitigación y adaptación al cambio climático? Dos estudios recientes sugieren que precisamente para reducir la pobreza hay que tener en cuenta

20. Véase «Combating climate change. The EU leads the way», Comisión Europea 2007.

21. Algunos autores que muestran las dificultades de lograr acuerdos que puedan cumplirse son Eyckmans y Tulkens (2003). Por otra parte, para superar estas dificultades, algunos investigadores han propuesto crear un Fondo Climático Global –Global Refunding System– (véase Gersbach y Winkler, 2007). Según este sistema, un conjunto de países realizaría aportaciones –posiblemente moderadas– al fondo, procedentes de los ingresos de cada país en relación con su impuesto sobre emisiones, destinando los fondos a recompensar, anualmente, a aquellos países que las reduzcan. La propuesta pretende superar algunas limitaciones de sistemas como el Protocolo de Kioto.

22. Véase Buchner y Carraro (2006). O también Martin (2007), que propone la creación de un fondo ambiental global, de forma que los ingresos generados por los impuestos sobre el carbono y/o las subastas de los permisos se dediquen a la investigación básica y desarrollo sobre aspectos relacionados con el cambio climático.

Ficha 7.5 Organizaciones, acuerdos y convenios para la cooperación internacional en Investigación, Desarrollo y Demostración relacionados con la reducción de emisiones

Estas instituciones y convenios se pueden clasificar en cuatro tipos en función de su objetivo:

1. Para compartir conocimientos y coordinar agendas de investigación y/o estándares:
   - International Energy Agency, «Framework for International Technology Cooperation»: www.iea.org/
   - Carbon Sequestration Leadership Forum: www.cslforum.org
   - International Partnership for a Hydrogen Economy: www.iphe.net
   - Asia-Pacific Partnership on Clean Development & Climate
     Creada en 2005 e integrada por Australia, Canadá, China, India, Japón, Corea y Estados Unidos; tiene por objetivo cooperar en materia de desarrollo, difusión y transferencia de tecnologías energéticas que permitan reducir las emisiones de GEI: www.asiapacificpartnership.org/
2. Para llevar a cabo investigación, desarrollo y demostración:
   - Proyecto ITER (fusión nuclear): Reactor Termonuclear Experimental Internacional: www.iter.org/
   - Cern: European Organization for Nuclear Research: http://public.web.cern.ch/public/
3. Transferencia tecnológica (mediante la financiación de proyectos):
   - Global Environment Facility: www.gefweb.org/
   - Multilateral Fund under the Montreal Protocol: www.multilateralfund.org/
   - Programa de las Naciones Unidas: http://ozone.unep.org/
4. Mandatos Tecnológicos e Incentivos:
   - International Convention for the prevention of pollution from ships (Marpol); http://www.imo.org/
   - European Union Renewables Directive: http://ec.europa.eu/energy/climate_actions/
   - Programa de las Naciones Unidas para Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques (REDD)

Véase Coninck, Fischer, Newell y Ueno (2008) para una breve exposición del funcionamiento de estas instituciones y reflexiones sobre su efectividad.

las consecuencias del cambio climático, que se prevé sufrirán de manera más intensa justamente los países menos desarrollados. De esta forma, los dos objetivos no sólo no serían incompatibles, sino complementarios.

El primero es el Informe Sobre el Desarrollo Humano 2007-2008, realizado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y que en esta edición se centra precisamente en la lucha contra el cambio climático. La visión de este informe es justamente que hace falta integrar la política de desarrollo y la política de medio ambiente. Desde el año 2006 se asociaron de hecho el PNUD y el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente).

«El efecto que el aumento de las sequías, los episodios meteorológicos extremos, las tormentas tropicales y los aumentos del nivel del mar tendrán sobre gran parte de África, sobre muchos pequeños estados insulares y en zonas costeras, será algo que veremos con nuestros propios ojos. Es posible que, en términos de producto interior bruto (PIB) mundial total, estos efectos a corto plazo no sean notables, pero para algunas de las personas más pobres del mundo, las consecuencias podrían ser apocalípticas.

A la larga, el cambio climático es una amenaza gigante contra el desarrollo humano y en algunos lugares ya está perjudicando los esfuerzos de la comunidad internacional para reducir la pobreza extrema.»[23]

El Informe contiene una propuesta –en el marco posterior al Protocolo de Kioto– de creación de un fondo integrado de mitigación del cambio climático con varias funciones, siendo una de las principales facilitar el desarrollo de sistemas de energía con bajas emisiones de carbono en los países en desarrollo. Incluye entre otras la cooperación a gran escala en transferencia de tecnología, desarrollo tecnológico, formación de capacidades o compra de derechos de propiedad intelectual en los casos en que sea necesario.[24]

El segundo documento es el borrador de estrategia-marco sobre desarrollo y cambio climático que el Banco Mundial ha presentado a consulta recientemente a representantes de los gobiernos, sociedad civil, donantes, académicos, parlamentarios y otras partes interesadas.[25] En este documento se propone un conjunto de estrategias para hacer frente a los costes que el cambio climático puede representar para el desarrollo. Una de ellas consiste en acelerar el desarrollo y despliegue de tecnologías y mercados para la generación limpia de energía, para el sector industrial y para el del transporte. En definitiva, en la visión de esta institución, el cambio climático magnifica la preocupación por la seguridad alimentaria y energética y el acceso al agua en los países en desarrollo. Las innovaciones institucionales, financieras y tecnológicas, especialmente en el terreno energético y en relación con las emisiones de GEI, se consideran instrumentos estratégicos en la política para el desarrollo.[26]

7.3.5. Conclusiones

El cambio tecnológico nos puede permitir lograr reducir el coste de disminuir las emisiones de GEI. El análisis económico del cambio tecnológico permite hacer algunas predicciones al respecto:

1) Los incentivos que se establecen a través del mercado no serán suficientes para impulsar la investigación y la innovación necesarias, porque hay una fisura entre la rentabilidad privada y la social de la inversión en estas actividades.

2) La política de investigación, desarrollo e innovación, por sí sola, no será suficiente para conseguir el nivel de cambio tecnológico deseable, ya que se producen dos fallos del mercado.

23. Informe Sobre el Desarrollo Humano 2007-2008. Prólogo, págs. V-VI.
24. Véase el capítulo 3 del Informe.
25. Véase la página web: www.worldbank.org/climateconsult.
26. Con este objetivo se ha creado, por ejemplo, una plataforma o fondo gestionado por la International Finance Corporation (IFC Earth Fund), con una dotación inicial de 40 millones de dólares, para financiar proyectos relacionados con la reducción de emisiones de GEI.

3) Aunque se plantee al mismo tiempo una política de control de emisiones y una de fomento de la I+D+i, no bastará si ello únicamente se lleva a cabo a nivel de los estados y no se tiene en cuenta la dimensión internacional de las dos externalidades.

Posiblemente, si existe una palabra que puede describir lo que se desprende de estas predicciones, es *complementariedad*:

- Complementariedad entre políticas específicas contra el cambio climático y políticas de I+D+i. Al producirse dos fallos, se necesitan ambos tipos de políticas para corregirlos. La política para reducir las emisiones y la política de innovación no son sustitutas, sino complementarias –utilizadas conjuntamente se alcanzan mejor los objetivos que usando cada una por separado–. Esto indica que conviene diseñar un paquete adecuado de instrumentos, combinando impuestos sobre el carbono, permisos comerciables de emisión e incentivos para desarrollar energía de fuentes renovables y tecnologías limpias, de manera que se consigan las reducciones de emisiones deseables al mínimo coste posible, en términos de producción y bienestar.

  Este paquete debe hacerse con cuidado para evitar duplicaciones que encarecen los costes, al menos los administrativos, y contradicciones entre instrumentos –subvencionar el carbón o el petróleo y a la vez subvencionar el desarrollo de la energía eólica o solar–. Por consiguiente, es importante disponer de métodos para medir el impacto, *a posteriori*, de las diferentes combinaciones posibles.

- Complementariedad con otras políticas: la interacción entre agentes y mercados hace que otros aspectos del funcionamiento del sistema económico repercutan sobre los costes ambientales y sobre los incentivos para innovar. Cabe mencionar especialmente la política educativa, agrícola y pesquera, regulaciones de instituciones y mercados diversos –entre ellos los financieros–, comunicaciones y transportes. En este sentido es importante revisar el conjunto de intervenciones públicas a la luz de su impacto sobre la innovación, vigilando que en conjunto contribuyan a crearle un entorno favorable.

- Complementariedad entre países: la dimensión internacional de los dos fallos es innegable. Las emisiones de los agentes de un país afectan negativamente tanto a la población propia como a la del resto del mundo, en diferentes grados. La investigación genérica dirigida a tener un mejor conocimiento de causas y efectos del cambio climático y las nuevas tecnologías para mitigación y adaptación no sólo benefician a los agentes del país donde se lleve a cabo esta investigación. Es necesario hacer viable la cooperación para repartir los costes y beneficios de las políticas, y diseñar instituciones (acuerdos multilaterales) que sean ventajosas para todas las partes a fin de incentivar su participación. Una forma de hacerlo es vinculando acuerdos de reducción de emisiones, acuerdos de generación y transferencia de tecnologías.

7.4. Aprendiendo del comportamiento observado. La evidencia empírica sobre el impacto de las políticas ambientales y de innovación

Las propuestas de intervención se fundamentan en varios supuestos: que consumidores, usuarios y empresas cambian sus decisiones de consumo, de producción o de inversión frente a los cambios de precios, la competencia, los impuestos, las subvenciones y otros tipos de intervención pública. ¿Hasta qué punto estos supuestos tienen un fundamento empírico? ¿Qué evidencia tenemos de que los diferentes instrumentos de política ambiental y de política de investigación y de innovación funcionan, es decir, alcanzan sus objetivos en términos de emisiones, producción de energías renovables, investigación e innovación y de bienestar? La investigación económica puede proporcionar estas dos piezas fundamentales de evidencia.

En el ámbito de la innovación se han investigado cuestiones como los tipos de factores (características de la empresa tales como la dimensión, su capital humano, el tipo de mercado en el que opera –entre otros– y las características del entorno como el acceso a la financiación externa y la estructura de mercado) que afectan a un abanico de decisiones: el volumen de inversión en I+D que deciden llevar a cabo, el grado de cooperación con otras empresas, con centros públicos de investigación o con centros tecnológicos, si solicitan patentes o no y los efectos de estas decisiones sobre su productividad. También se ha comprobado, a través de diferentes indicadores, la importancia de las externalidades de conocimiento.

Desde el punto de vista de la política de investigación y de innovación, se estudia por ejemplo qué efectos tienen subvenciones para proyectos empresariales de I+D o incentivos fiscales sobre el esfuerzo innovador privado o sobre sus resultados. En este último caso se pretende obtener una estimación de cuál hubiese sido el esfuerzo –y el resultado– innovador de una empresa receptora de ayudas en caso de no haberlas recibido. Esto da una medida cuantitativa del impacto de un instrumento de intervención y, por lo tanto, de su efectividad. Los estudios disponibles indican que en general las subvenciones o los incentivos fiscales en la I+D empresarial tienen un efecto positivo, pero que en algunos países la magnitud del impacto es muy moderada, lo que pone de relieve la interacción entre estas medidas y otros elementos del sistema económico.

En esta sección, no obstante, nos centraremos en dos cuestiones sobre la relación entre políticas ambientales e innovación ambiental: la incidencia de las primeras sobre la generación de innovaciones ambientales, y sobre los incentivos para adoptar innovaciones.

7.4.1. ¿Han servido hasta ahora las medidas de política ambiental para promover la generación de innovaciones?

Tenemos evidencias sólidas de que las regulaciones ambientales (sean los precios o los estándares) han repercutido sobre los esfuerzos para producir investigación e innovaciones en

diferentes países.[27] La forma habitual de medir el esfuerzo en investigación y generación de innovaciones es mediante el valor de la inversión en I+D (un *input* o coste de la actividad de investigación y desarrollo) o el número de patentes (un *output* o resultado de esta actividad), bien sea en general o bien en un campo determinado. Todos los estudios confirman el efecto inductor de innovaciones de las medidas de carácter ambiental:

- En un estudio comparativo entre tres países (Estados Unidos, Japón y Alemania), se aprecia que las medidas de control de la contaminación –en términos del gasto en reducción de emisiones– vigentes a lo largo del período 1971-1988 tuvieron una influencia positiva sobre el número de patentes ambientales solicitadas u obtenidas en las correspondientes agencias de patentes (Lanjouw y Mody, 1996).

- En Estados Unidos, en el sector de la industria manufacturera en el período 1974-1991, se observa que los gastos en reducción de emisiones inducidos por la regulación ambiental conducen a un aumento de la inversión en I+D (Jaffe y Palmer, 1997).

- En el caso de la energía, se constata que el esfuerzo en I+D en este campo responde a los incrementos de precios de la energía. Se estima que, por término medio, si los precios de la energía aumentan un 10%, el gasto en I+D en este ámbito lo hace en un 3,5% a largo plazo, de forma que la mitad de este impacto tiene lugar justo al cabo de 5 años del aumento de precios (Popp, 2002). Investigaciones posteriores realizadas por varios investigadores confirman que, en el marco de los países miembros de la OCDE, los datos disponibles a lo largo de un período de 27 años permiten afirmar que un precio elevado de la electricidad ha conducido a más solicitudes de patentes relacionadas con este sector.

- Las regulaciones para limitar las emisiones de dióxido de azufre (SO_2) en las plantas generadoras de electricidad son responsables de la introducción de tecnologías desulfurizadoras en Estados Unidos y también en Alemania y Japón (Taylor *et al.*, 2003; Popp, 2006c).

- Existe una clara relación entre las medidas para controlar las emisiones de los vehículos en Estados Unidos, Japón y Alemania y las solicitudes de patentes de la categoría tecnológica correspondiente. También se observa una relación en el precio de los carburantes y en la innovación en tecnologías de eficiencia energética (OCDE, 2008a).

- La OCDE ha efectuado recientemente un estudio a partir de una encuesta a más de 4.000 empresas manufactureras de siete países miembros para analizar qué factores inciden en el hecho de que las empresas tengan sistemas de gestión ambiental, realicen inversiones para reducir impactos ambientales, inviertan en I+D ambiental o lleven a cabo cambios en los procesos productivos. Entre los resultados destaca que la severidad de la regulación ambiental es el factor que más influye sobre la innovación tecnológica en este ámbito y sobre los resultados ambientales de la empresa (Johnstone, 2007).

27. Los estudios que se comentan están basados en el uso de datos observados de empresas o de países a lo largo del tiempo para la estimación de modelos econométricos que permiten realizar contrastes de hipótesis.

Los estudios citados permiten concluir que las medidas de política ambiental tienen un impacto destacable sobre los incentivos para generar y utilizar innovaciones. Disponemos también de algunos estudios específicos sobre las energías renovables.

7.4.2. Política ambiental y estímulo de la innovación: el caso de las energías renovables

Como hemos visto en la sección 7.2, la inversión en fuentes renovables de energía (eólica, solar, geotérmica, biomasa, residuos) puede ser un instrumento para alcanzar, de hecho, dos objetivos: controlar las emisiones y, al mismo tiempo, aumentar la seguridad energética de los países. A pesar de que muchos países utilizan un abanico de medidas para estimular el despliegue de estas fuentes, su peso en la generación de energía es todavía limitado. En el año 2004, las energías renovables representaban aproximadamente un 7% de la oferta energética (IEA, 2006). ¿Por qué?

Varios factores pueden contribuir a explicarlo: unos relacionados con sus costes de producción e instalación, otros relativos a la existencia de subvenciones a los combustibles fósiles, barreras a la entrada en el sector o referentes al grado de eficiencia de las medidas de apoyo público. La investigación y la innovación tecnológica influyen sobre el primer tipo de factor. Por un lado, es posible que no se hayan dedicado suficientes recursos públicos a la I+D en este sector, como de hecho sugerían los datos presentados en la sección 7.2. Pero también es probable que los instrumentos de estímulo que se están utilizando en diferentes países –cuotas de producción, políticas de precios, incentivos fiscales– no sean apropiados o no sean efectivos.

Las diversas fuentes renovables de energía presentan distintos grados de madurez tecnológica, diferencias en costes y en riesgo. Por lo tanto, no sería sorprendente que los diferentes instrumentos no tuvieran el mismo efecto para todas las diversas fuentes. *A priori*, sería posible que las cuotas de producción que garantizan un mercado fueran más efectivas en casos de tecnologías aún inmaduras (sistemas de concentración solar y de bioenergía integrada), y que las políticas de precios (por ejemplo, *feed-in tariffs*) lo fueran para las que les falta poco para ser competitivas en relación con las basadas en el carbono, como la eólica, la biomasa y la geotérmica.

Desde la perspectiva de la incidencia sobre la innovación, ¿qué instrumentos son los más efectivos? Para estudiarlo, tres investigadores (Johnstone, Hascic i Popp, 2008) han utilizado los datos sobre patentes relacionadas con las energías renovables y datos sobre los instrumentos para su fomento utilizados en un amplio número de países (25) y durante un período largo de tiempo (26 años).

Los instrumentos concretos analizados son: apoyo a la I+D, incentivos a la inversión (garantías, subvenciones, créditos subvencionados), incentivos fiscales, incentivos de precios (primas o *feed-in tariffs*, precios garantizados), programas voluntarios, obligaciones (mercados garantizados, cuotas de producción) y certificados comerciables.

Los investigadores han descubierto que, en conjunto, impuestos, obligaciones y certificados comerciables son los instrumentos que conducen a la generación de más innovaciones, medidas éstas por el número de patentes solicitadas. Ahora bien, también parece que el impacto de los diferentes instrumentos varía según el tipo de energía renovable. Los incentivos a la inversión son efectivos en el caso de la energía solar; las estructuras de precios, en el caso de la biomasa; y las obligaciones, incentivos fiscales y certificados comerciables, en el caso de la tecnología eólica. Únicamente los incentivos fiscales parecen tener una influencia importante sobre la innovación para varias fuentes. Estos resultados dan fundamento empírico y refuerzan la idea de que el grado de innovación en el sector de energías renovables responde a los incentivos, y también que hay que estudiar bien cada caso porque los diferentes instrumentos no tienen el mismo efecto para diferentes tipos de fuentes renovables.

7.4.3. Adopción, difusión y transferencia de tecnologías

No basta, sin embargo, con que estén disponibles las tecnologías asociadas al uso de recursos renovables, sino que es necesario que salgan económicamente a cuenta para los usuarios potenciales, que a menudo son diferentes a quienes generan las tecnologías. En este sentido, ¿qué influencia tienen sobre las decisiones de adopción de nuevas tecnologías medidas tales como la fijación de estándares y los impuestos sobre emisiones o permisos comerciables? Los investigadores han estudiado esta cuestión para diferentes casos, entre los que aquí destacamos los siguientes:

a) El caso de la eliminación del plomo en la gasolina: la regulación impulsa la adopción por parte de las empresas de tecnologías alternativas disponibles.

Kerr y Newell (2003) han analizado el comportamiento de una amplia muestra de refinerías de petróleo (378 refinerías) en Estados Unidos, con datos anuales del período 1974-1996. Desde 1974 se produjeron una serie de regulaciones: en 1974 la ley estableció que los coches nuevos debían funcionar con gasolina sin plomo; más tarde se fijaron estándares de plomo, seguidos de un mercado de permisos comerciables (de 1983 a 1987), y, finalmente, la prohibición del plomo en 1996. Los investigadores concluyen que las empresas adoptaron gradualmente la nueva tecnología (isomerización de pentano-hexano), conforme aumentaba la severidad de la regulación. También constatan que las empresas para las cuales utilizar la nueva tecnología representa un coste bajo (normalmente las mayores y más técnicamente avanzadas) tienen más incentivo para hacerlo si existe un sistema de permisos comerciables que si hay un sistema de estándares.

b) El caso de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y dióxido de azufre (SO_2): la regulación en un país tiene impacto sobre terceros.

En un estudio comparativo entre Estados Unidos, Japón y Alemania, se ha investigado si, el hecho de que se hayan establecido estándares para controlar estas emisiones en uno de los tres países, ha influido sobre la investigación y sobre la adopción de tecnologías dirigidas a este fin en los otros dos, y de qué manera. El estudio determina que son las re-

gulaciones de cada país las que estimulan la actividad investigadora local. Ahora bien, el hecho de que un tercer país establezca regulaciones que repercuten en sus propios investigadores y aumentan las patentes en el campo relevante hace que los de los otros dos países puedan acceder y aprovechar este conocimiento. También se observa que las innovaciones tecnológicas generadas en un tercer país no se importan o adoptan directamente, ya que normalmente hay que adaptarlas a las condiciones locales, para lo que hace falta que exista inversión propia en I+D. Así pues, tener capacidad de llevar a cabo I+D pasa a ser una condición importante para beneficiarse de lo que se ha inventado en otros países (Popp, 2006c).

Este último estudio pone de relieve un aspecto muy importante relacionado con la necesidad de transferencia tecnológica en el ámbito energético y, en general, entre países desarrollados y el resto. La evidencia empírica muestra que se producen transferencias tecnológicas entre países, por diferentes vías. Unas son formales o contractuales, como es el caso del comercio y la inversión extranjera, mientras que otras son informales, mediante la difusión y aprovechamiento de información y conocimientos por otras vías. Ahora bien, estas vías no garantizan un nivel suficiente de transferencia de conocimientos técnicos.

Como hemos visto, por un lado, es necesario que en estos países también se introduzcan las regulaciones ambientales necesarias. Por otro lado, en los países en desarrollo suelen encontrarse barreras a la innovación, que debilitan su capacidad de realizar I+D localmente. Estas barreras son de tipo institucional, de falta de personal calificado o bien dificultades de acceso al crédito, que limitan los incentivos para introducir las nuevas tecnologías. Ésta es una cuestión sobre la que hay una amplia evidencia empírica y confirma la necesidad de adoptar un enfoque integral a la hora de diseñar políticas ambientales y de fomento de la innovación.[28]

Por último, no podemos ignorar la importancia de la información y su política de difusión, que provoca cambios de preferencias de los consumidores como un motor adicional de estímulo de innovaciones, si bien no reduce la necesidad de la intervención pública más directa.[29]

Dicho esto, ¿cómo podemos utilizar la información que nos proporcionan los estudios empíricos para diseñar o mejorar el diseño de políticas relativas al cambio climático? ¿De qué forma nos ayudan a tener una idea aproximada de cuál es el nivel deseable de inversión en I+D que convendría llevar a cabo de ahora en adelante y a lo largo de los próximos veinte o treinta años, tanto a nivel general como en el sector energético? Éste es el tema que se trata en la próxima sección.

28. Por ejemplo, en Etiopía la adopción de fertilizantes y de medidas para conservar el suelo están muy correlacionadas. El acceso limitado al crédito, la capacidad de tomar riesgo o la dimensión de la explotación condicionan la adopción de las nuevas tecnologías. Véase Yesuf y Kohlin (2008), o Kabubo-Mariara (2007).
29. Véase, por ejemplo, Popp, Johnstone y Hafner (2007).

7.5. ¿Cuál sería el nivel deseable de inversión en I+D energética, ahora y a lo largo de los próximos 10, 30 y 50 años? ¿Cuáles son las políticas más adecuadas para alcanzarlo?

Una forma de obtener una estimación fundamentada de los recursos que conviene dedicar a la I+D de carácter energético para lograr los objetivos deseables relativos a las emisiones y al bienestar consiste en plantear algún tipo de representación simplificada de la organización económica –un modelo económico formalizado– que contemple la interacción entre el comportamiento económico y las repercusiones ambientales, representadas por un modelo geofísico, y simular los efectos que pueden tener diferentes políticas sobre estos objetivos.

Ciertamente no es fácil representar en un único modelo todos los mecanismos e interacciones entre precios de la energía, esfuerzo de investigación, innovación alcanzada, difusión de las innovaciones y políticas que afectan a las emisiones. Por consiguiente, todos los modelos deben hacer simplificaciones. Y ello sin hablar de la dificultad de anticipar con precisión la magnitud del propio cambio tecnológico. Por eso se realizan modelos relativamente especializados, abordando en cada caso algún aspecto diferente del problema.

Un tipo o familia de modelos es el que se plantea el problema de una manera global, utilizando como punto de partida un modelo dinámico de crecimiento económico. Se pregunta cuál es el nivel de I+D y de impuestos sobre el CO_2 (o de permisos) que permiten que el nivel de bienestar por persona a lo largo del tiempo sea el máximo posible, sujeto a un conjunto de restricciones económicas y climáticas (véase la ficha 7.6).[30] El bienestar depende de la cantidad de bienes y servicios disponibles y éstos, a su vez, dependen de los daños causados por las emisiones y el nivel de conocimientos. El objetivo: obtener una trayectoria de emisiones óptimas y de instrumentos óptimos para conseguirlo. Típicamente se estudian instrumentos como un impuesto sobre el carbono o la dedicación de recursos a I+D energética y se comparan los resultados obtenidos bajo diferentes supuestos y políticas. Aquí comentaremos dos modelos globales y un modelo específico del sector energético.

30. Hay varios tipos de modelos, como se ha discutido en un capítulo anterior. El objetivo de la investigación y las preguntas que se desea formular determinan cuáles son más adecuadas para cada caso.

Ficha 7.6 Una familia de modelos para analizar las interacciones e impactos de políticas de cambio climático y cambio tecnológico

Un modelo económico es una herramienta construida y utilizada por los economistas para prever los resultados probables del comportamiento conjunto de los diferentes agentes económicos (consumidores y usuarios, empresas, gobierno). Consiste en un conjunto de ecuaciones que, de forma simplificada, recoge su comportamiento *típico* en relación con decisiones de inversión, consumo, producción y, en este caso, de emisiones de GEI asociadas al uso de energía procedente del carbono, en un contexto institucional determinado. A este conjunto de ecuaciones se le añade un segundo conjunto de ecuaciones que representa el comportamiento climático, integrando de esta manera el conocimiento científico sobre los cambios geofísicos y los aspectos económicos de las emisiones de GEI.

Estos modelos permiten evaluar los efectos y los costes de políticas alternativas y, en consecuencia, aportan información fundamental para ayudar a tomar decisiones de política económica. Entre estos modelos, algunos de los que tratan de forma explícita el cambio tecnológico en el sector energético y las políticas de reducción de emisiones son los siguientes:

El modelo ENTICE (*Endogenous Technological Change*) es una variación del modelo DICE que permite considerar la posibilidad de que se produzcan innovaciones en el sector energético como resultado de la dedicación de recursos a la I+D en este sector. La cantidad de I+D es una variable endógena del modelo; permite aumentar el capital de conocimiento específico, de modo que se puede producir más con menos emisiones, bien porque aumenta la eficiencia energética o bien porque se controlan las emisiones. Desarrollado por Popp (Syracuse University y NBER), es un sistema de veintisiete ecuaciones de las que dieciséis representan restricciones económicas y diez, restricciones ambientales.

El modelo WITCH (*World Induced Technical Change Hybrid*), desarrollado por Bosetti, Carraro, Galeotti, Massetti y Tavoni (Fondazione Eni Enrico Mattei) en 2006, responde a la misma filosofía, pero en este caso desarrolla con más detalle las interdependencias estratégicas entre las doce regiones que contempla el modelo. También permite que se produzcan inversiones en I+D para mejorar la eficiencia energética y añade la posibilidad de que el coste de la generación de electricidad se reduzca por el aprendizaje a lo largo del tiempo.

El modelo MIND (*Model of Investment and Technological Development*), desarrollado por Edenhofer, Bauer y Kriegler (Potsdam Institute for Climate Impact Research y Carnegie Mellon University), es un modelo que incorpora cambio tecnológico generado dentro del propio sistema económico, pero amplía el número de sectores energéticos. En concreto, incorpora la posibilidad de efectuar I+D tanto en el sector energético como para aumentar la productividad del trabajo, inversión en cuatro sectores (energías renovables, energías fósiles y extracción de recursos fósiles, además de inversión en capital físico para el conjunto de la economía) y un sector de Secuestro de Carbono.

Otros modelos:

El modelo WIAGEM (Kemfert, 2005): desarrolla un modelo multisectorial y multirregional que contempla el hecho de que las políticas ambientales pueden inducir cambio tecnológico.

Los modelos ENV-Linkages e IMAGE: utilizados por la OCDE, el primero es un modelo económico de 34 países o regiones con 26 sectores económicos cada uno. IMAGE es un modelo dinámico integrado, diseñado para estudiar específicamente aspectos del cambio climático. Para una descripción más amplia, véase OCDE (2008b).

Nota: para saber más sobre estos modelos y otros: *The Energy Journal*, vol. 27, 2006.

7.5.1. Modelos globales para ayudar a determinar objetivos de reducción de emisiones y evaluar *ex ante* las políticas ambiental y tecnológica

Un modelo interesante es el ENTICE-BR (Popp, 2004, 2006a y 2006b), que recoge los vínculos entre la actividad económica, las emisiones de CO_2 y el clima. A partir de unos supuestos bastante realistas se calculan los niveles de inversión en I+D y de impuestos sobre el CO_2 que permiten alcanzar el máximo bienestar.

Posiblemente vale la pena explicar de forma breve los supuestos:

- Hay tres *inputs* energéticos: combustibles fósiles (con reservas finitas), una tecnología alternativa, renovable, no emisora de carbono y conocimientos que mejoran la eficiencia energética. Los dos primeros *inputs* son sustitutos imperfectos.
- Se realizan dos tipos de investigación: un primer tipo para mejorar la eficiencia energética y un segundo para obtener una tecnología que no produzca emisiones de carbono (una de fuentes renovables o *backstop technology*). La investigación ayuda a reducir el precio de esta tecnología alternativa.
- La rentabilidad de la investigación privada en I+D energética debe ser cuatro veces superior a la de la inversión en capital físico, reflejando las dificultades de apropiabilidad.
- Dedicar recursos al sector energético implica dejar de hacerlo en otros sectores (consumo, inversión o I+D en otros sectores). En concreto, la mitad de la I+D energética se lleva a cabo a costa de otra I+D.
- La elasticidad de la inversión en I+D en relación con el precio de la energía es inicialmente de 0,35 (relativamente inelástica).
- El precio de la tecnología alternativa puede tener tres niveles: alto, medio y bajo. Se elige el medio para hacer las simulaciones.
- El esfuerzo en I+D tiene rendimientos marginales decrecientes.

En estas condiciones se pregunta cuál sería la política óptima (impuesto) para corregir los efectos negativos de las emisiones de CO_2 y maximizar el bienestar, y cuáles los niveles de inversión en I+D, emisiones, producción, consumo y bienestar asociados. También estudia cómo cambian los resultados si se modifican estos supuestos.

De forma simplificada se pueden destacar algunas de sus conclusiones:

- El impuesto óptimo sobre las emisiones es creciente en el tiempo.
- El volumen real de inversión en I+D es creciente como consecuencia de la política ambiental (se produce innovación inducida).
- La innovación inducida reduce el coste en términos de bienestar de la política de emisiones.
- Disponer de una tecnología limpia alternativa permite reducir sustancialmente el coste de conseguir reducciones de emisiones.
- La mejora de bienestar (la reducción de costes) lograda mediante mejoras en la tecnología alternativa es menor que la conseguida por el solo hecho de disponer de ella, ya que la de-

dicación de recursos a I+D tiene un coste de oportunidad. Cuanto más bajo sea este coste, más contribuirá el cambio tecnológico a reducir emisiones y a aumentar el bienestar.

- El impacto de subvencionar la investigación energética sobre el bienestar puede ser considerable.

El modelo tiene unas limitaciones ya anticipadas por el autor: no se tienen en cuenta los problemas de coordinación internacional para conseguir el paquete óptimo de medidas; no se trata la cuestión de cómo se distribuirían los esfuerzos en I+D entre los diferentes países (actualmente ya muy concentrada), ni cómo tendría lugar la difusión de las innovaciones; finalmente, tampoco se consideran las consecuencias de la incertidumbre que hay, tanto por lo que respecta a los resultados de la I+D como de los propios efectos del cambio climático. El siguiente modelo da un paso en la primera dirección, la coordinación internacional.

7.5.2. Un modelo con varios países: el WITCH

Un trabajo en el que se tienen en cuenta los efectos difusión o externalidades internacionales de conocimientos es el que llevan a cabo Bosetti, Carraro, Massetti y Tavoni, utilizando el modelo WITCH.[31] En concreto, analizan hasta qué punto un país puede aprovecharse del conocimiento generado por otros y cómo repercute esto en su propio esfuerzo en I+D energético. Las características del modelo son muy parecidas a las del modelo de Popp, pero añadiendo la dimensión regional: consideran 12 regiones en el mundo, cinco de renta elevada (Estados Unidos, Europa, Canadá, Japón y otras) y siete de renta baja, que incluyen China, América Latina, África Subsahariana y otras. También añaden la posibilidad de que los costes de generación de electricidad se reduzcan por efectos del aprendizaje *(learning-by-doing)*.

Lo que hacen es calcular los costes y las ganancias de estabilizar las emisiones de CO_2 a 450 ppm a finales de este siglo, bajo diferentes políticas. Suponen que existe un mercado de permisos. En el caso de establecer un mecanismo de cooperación en I+D de forma que los países de renta alta utilizan parte de los ingresos de la venta de permisos para mejorar la capacidad de absorción de los países de renta baja, se reduce el coste de estabilización (comparado con política estándar). Para los de renta alta el coste aumenta, aunque globalmente disminuye. Ahora bien, si sólo se hace una política de cooperación tecnológica sin acompañarla de una de reducción de emisiones, el resultado podría ser que éstas aumentaran.

Por otra parte, si hay efectos difusión del conocimiento, el resultado final es que aumentan los incentivos para aprovecharse de la investigación de otros, de forma que la inversión total en I+D dedicada a la energía se reduce, especialmente en los países de renta alta.

31. Véase la ficha 7.6 y Bosetti *et al*. (2008).

En una investigación complementaria, Bosetti *et al.* (2007) estiman que, para poder estabilizar las concentraciones de GEI al nivel de 550 ppm hacia 2100, haría falta que la inversión en I+D en el sector energético aumentara a lo largo de los próximos veinticinco años, hasta llegar a ser el doble de la actual hacia 2035 (de unos 10.000 millones de dólares actuales a 20.000 millones) y el triple hacia 2050. En cambio, si el objetivo de estabilización fuera de 450 ppm, la inversión debería duplicarse antes, hacia 2020.

7.5.3. Un modelo sectorial: ¿qué medidas pueden ser más efectivas para impulsar la innovación y la difusión de energías renovables?

Algunos investigadores han estudiado, mediante modelos de simulación que permiten contemplar diferentes escenarios, el impacto comparativo de diversas medidas que potencialmente se pueden tomar en sectores concretos, como es el caso de la generación de energía eléctrica.

En una reciente investigación, Fischer y Newell (2008) comparan la efectividad de seis posibles medidas, en un marco en el que hay dos sectores productores de energía que se diferencian por el hecho de que uno comporta emisiones de CO_2 (con una combinación de dos posibilidades, a la vez: carbón y gas natural) y el otro no (basado en fuentes renovables). Además, asumen que los costes de producción del sector no emisor dependen de las mejoras del conocimiento, resultado de la inversión en I+D. Los autores desarrollan primero un marco teórico y después efectúan una simulación numérica para el caso del sector eléctrico de Estados Unidos utilizando, cuando les resulta posible, parámetros estimados en otros estudios empíricos.[32]

Las posibles medidas estudiadas son las que se utilizan en varios países actualmente: 1) poner un precio sobre las emisiones de CO_2, 2) aplicar un impuesto sobre la energía generada a partir de recursos fósiles, 3) un estándar comerciable de emisiones, 4) diseñar una cartera de estándares –certificados verdes, obligaciones de cuota y similares–, 5) subvencionar la producción de energías renovables, y 6) proporcionar subvenciones para invertir en I+D en energías renovables.

Los criterios para compararlas son cuatro: el grado de reducción de emisiones que consiguen, la producción de energía de fuentes renovables, el nivel de inversión en I+D y el bienestar económico.[33] Además, su marco analítico también permite ver cómo cambia el impacto de las diferentes medidas según el tipo de cambio tecnológico que se produce (el grado de problemas de apropiabilidad, o la intensidad de la reducción de costes por aprendizaje).

32. El modelo consiste en un conjunto de ecuaciones que representan: las emisiones asociadas a la producción de energía de cada sector; las decisiones de producción de las empresas basadas en el uso de carbón o gas (que lo hacen en función del beneficio que les generan diferentes niveles de producción); las de las empresas basadas en energías renovables, para las que el coste de producción depende de los cambios en el conocimiento (I+D) y de la experiencia (aprendizaje), y que pueden recibir subvenciones, bien para I+D, bien por unidad producida; y, finalmente, la demanda de energía de los consumidores. Se supone que la oferta de energía hidráulica y nuclear es exógena.
33. Medido por la suma del bienestar que resulta de la reducción de los daños asociados al cambio climático que se consigue con cada medida y teniendo en cuenta los cambios en el excedente del consumidor causados por los impuestos y las subvenciones.

Los resultados más importantes que obtienen pueden resumirse en estos cuatro puntos:

- La medida más efectiva para reducir las emisiones es ponerles un precio, ya que proporciona al mismo tiempo incentivos a los productores de energía a partir de recursos fósiles para reducir su intensidad, incentivos para que los consumidores también lo hagan e incentivos a los productores de energía renovable para aumentar su producción e invertir en conocimientos. Esta medida es más efectiva que las que sólo se fundamentan en dar subvenciones a los productores de energías renovables.

- La utilización únicamente de subvenciones para impulsar la investigación y el desarrollo en energías renovables es ineficiente (de todas las analizadas, ésta sería la medida más costosa para lograr un objetivo dado de emisiones), porque conlleva renunciar a utilizar a corto y medio plazo oportunidades factibles (desde una perspectiva de costes) de reducción de emisiones. Las medidas menos efectivas son sólo subvencionar la producción de energía renovable o sólo subvencionar las actividades de I+D.

- La mejor política es combinar a la vez dos medidas: poner un precio a las emisiones y facilitar subvenciones para la investigación tecnológica en energías renovables. Esto no es sorprendente, dado que hay dos tipos de fallos del mercado y que cada una de las medidas individualmente sólo corrige uno. Este resultado coincide, cualitativamente, con los que se obtienen con los estudios más globales.

- La simulación numérica que realizan estos investigadores del caso de Estados Unidos ilustra de manera cuantitativa el grado de complementariedad entre la política ambiental y la política de investigación e innovación. Fischer y Newell constatan que, fijado un objetivo de reducción de emisiones de un 4,8%, éste es alcanzable poniendo un precio de 7 dólares por tonelada de CO_2; pero si se considera también la posibilidad de dar una subvención del 50% para I+D (que en sus cálculos representa el 6% de los ingresos del sector de energías renovables), junto a una subvención del 4% sobre el precio de la electricidad, entonces el precio que hay que poner a cada tonelada de CO_2 puede bajar hasta 4,5 dólares (una reducción del 36%). Es decir, la generación y difusión de innovaciones en este sector permite reducir el coste de conseguir menos emisiones mediante impuestos o similares sobre éstas. Es evidente que, si la inversión en I+D permitiese descubrir tecnologías rompedoras, el coste de reducir las emisiones podría ser aún mucho menor.

Por otra parte, está claro que la distribución de los costes de cada medida entre productores, consumidores y contribuyentes no es igual. Un precio sobre las emisiones o sobre la producción de energía a partir de fuentes fósiles aumenta el precio de la electricidad, y la carga se distribuye entre productores y consumidores en función de las elasticidades de la oferta y la demanda. Las subvenciones para la I+D o la producción en el sector de energías renovables recae en cambio sobre los contribuyentes en general.

7.6. Conclusiones, reflexiones y retos

Es obvio, y nadie lo discute, que seguir desarrollando los conocimientos sobre los diferentes aspectos (geofísicos, económicos, sociales) asociados al cambio climático es del todo esencial para hacerle frente. Del conocimiento y la evidencia empírica contrastada que tenemos hasta ahora en el campo de la ciencia económica podemos extraer algunas conclusiones útiles para la formulación de políticas y acciones colectivas. Podemos resumirlas como sigue:

- El cambio tecnológico, resultado de la investigación, generación y adopción de nuevas tecnologías y productos, puede permitir hacer compatibles, a medio plazo, los objetivos de reducir las emisiones de GEI, mantener globalmente la competitividad de un país, aumentar el grado de seguridad energética y mantener una tasa de crecimiento económico y de bienestar positiva.[34]

- Tanto producir el conocimiento como transformarlo en cambio tecnológico requiere esfuerzo, recursos y a menudo también el replanteamiento de otras políticas que, a veces sin anticiparlo, ponen de hecho barreras a la innovación y al cambio tecnológico.

- El fomento de la innovación ambiental, y en particular en el sector energético, no es un sustituto de políticas ambientales específicas dirigidas a hacer que los precios de los bienes y servicios que producimos y utilizamos reflejen los daños que se producen por emisiones de GEI. Tampoco basta con estas medidas, ya que las actividades de investigación científica y tecnológica generan efectos positivos para terceros. Es, por lo tanto, necesario combinar los dos tipos de instrumentos.

- En conjunto, la experiencia y la evidencia empírica contrastada indican que los instrumentos de política ambiental basados en los incentivos (precios) acostumbran a tener más impacto sobre la generación de innovaciones que instrumentos de otro tipo. También se desprende de esta evidencia la conveniencia de que el apoyo público a la investigación contemple un abanico de opciones (y no únicamente en el sector energético), ya que es difícil, por un lado, predecir de antemano cuál será la mejor tecnología, y por otro, saber qué innovaciones desarrolladas en otros sectores repercutirán en la investigación e innovación en el ámbito del cambio climático.

- Es importante diseñar cuidadosamente el abanico de instrumentos para que se puedan alcanzar los objetivos respecto a emisiones y bienestar, y conseguirlos con el mínimo coste posible. Por eso son útiles los ejercicios de simulación, incorporando en ellos información relevante sobre las tecnologías existentes, sus posibilidades de mejora y las posibilidades realistas de aparición de nuevas tecnologías, junto a otros parámetros procedentes de la evidencia empírica.

34. Dentro de un mismo país puede haber sectores que sufran repercusiones negativas, tanto del cambio tecnológico como de las medidas ambientales, pero las ganancias para el conjunto son superiores. La innovación es a menudo, como señalaba Schumpeter, un proceso de destrucción creativa.

También queda claro, como ponen de manifiesto muchos investigadores, que hay mucho trabajo por hacer en diversos ámbitos. Primero, en el desarrollo de bases de datos económicos que permitan mejorar la investigación empírica sobre generación y difusión de innovaciones concretas y también sobre los efectos a corto y a medio plazo de diferentes medidas sobre el comportamiento de empresas, consumidores y usuarios, tanto en el terreno de la política de innovación, como en el de la ambiental y como en el de aquéllas que repercuten en él. Segundo, en la mejora de los modelos de simulación que incorporan el cambio tecnológico como resultado de las decisiones de empresas, consumidores y usuarios y sus respuestas a diferentes acciones públicas. Y tercero, en la integración de estos dos tipos de instrumentos.

A lo largo de este capítulo nos hemos centrado en el cambio tecnológico, en el sentido de que hemos investigado cuáles son los factores que pueden conducir a que tengamos tecnologías y productos nuevos que reduzcan o eliminen los daños ambientales asociados al cambio climático. Pero para llevar a cabo este cambio está claro que también se necesitan cambios organizativos e institucionales: entre ellos, la apertura de mercados, cambios en el funcionamiento de universidades y centros de investigación, en leyes de propiedad intelectual, en la regulación de determinados sectores, en la creación de mecanismos para la vigilancia del cumplimiento de medidas y acuerdos, en el replanteamiento de intervenciones públicas que tienen repercusiones negativas en términos de emisiones de GEI.[35]

Finalmente, cabe destacar la importancia de la difusión de información objetiva entre los ciudadanos sobre las causas y las consecuencias del cambio climático, sobre las incertidumbres existentes y sobre las posibilidades de redistribuir los costes y los beneficios de la mitigación y la adaptación, a fin de que el debate y las decisiones se basen en el conocimiento objetivo. Tenemos ante nosotros, pues, un gran abanico de retos científicos y también políticos.

35. Ésta no es una lista exhaustiva. Sobre algunos de estos aspectos también se está llevando a cabo investigación, que por razones de espacio no se pueden tratar en este capítulo.

Bibliografía

I. Introducción: características e impactos del cambio climático

Alcántara, V.; Padilla, E. y J. Roca (2007): «Actividad económica y emisiones de CO_2 derivadas del consumo de energía en Cataluña, 1990-2005. Análisis mediante el uso de los balances energéticos desde una perspectiva *input-output*», Documents de Treball, nº 10, Departament d'Economia Aplicada. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.

Bromley, D. W. (ed.) (1995): *The Handbook of Environmental Economics.* Cambridge, Estados Unidos: Blackwell.

Estrela Navarro, Mª J. (2008): *Riesgos climáticos y cambio global en el Mediterráneo español. ¿Hacia un clima de extremos?* Valencia: CEAM, Colección Interciencias.

Folch, R. (2008): *Suarem!* Barcelona: Mina, Col·lecció L'Arquer.

Griffin, J. M. (ed.) (2003): *Global Climate Change. The Science, Economics and Politics.* Cheltenham, Reino Unido, Massachusetts, Estados Unidos, Edward Elgar.

Horner, Ch. C. (2007): *Guía políticamente incorrecta del calentamiento global (y del ecologismo).* Madrid: Ciudadela Libros.

Houghton, J. (1994): *Global Warming.* Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.

IEE (2006): *Mitos y realidades del cambio climático.* Madrid: Revista del Instituto de Estudios Económicos, nº 3 y 4.

IPCC (2007a): *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: The Physical Science Basis.* Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.

— (2007b): *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability.* Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.

— (2007c): *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007. Mitigation of Climate Change.* Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.

Llebot, J. E. (1998): *El canvi climàtic.* Barcelona: Rubes Editorial.

— (ed.) (2005): *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya.* Barcelona: Institut d'Estudis Catalans-CADS.

Manresa, A. y F. Sancho (1997): «El análisis medioambiental y la tabla *input-output*. Cálculos energéticos y emisiones de CO_2» en *Comissió de Medi Ambient i Serveis Urbans*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona.

Manresa, A.; Sancho, F. y J. M. Vegara (1998): «Measuring Commodities' Commodity Content», *Economic Systems Research,* vol. 10 (4), págs. 357-365, diciembre.

Martín Vide, J. (2006): «Un decálogo del cambio climático», en IEE (2006) *Mitos y realidades del cambio climático*, Revista del Instituto de Estudios Económicos, nº 3 y 4.

— (ed.) (2007): *Aspectes econòmics del canvi climàtic.* Barcelona: Caixa de Catalunya.

Monbiot, G. (2008): *Cómo parar el calentamiento global.* Barcelona: RBA.

OCDE (2008): *Environment Outlook.* París: OCDE.

PNUD (2007): *Informe sobre el desenvolupament humà 2007/2008. La lluita contra el canvi climàtic: la solidaritat humana en un món dividit.* Nueva York: PNUD.

Schneider, S.; Rosencrantz, A. y J. O. Niles (eds.) (2002): *Climate Change Policy: A Survey.* Washington, Estados Unidos: Island Press.

Stern, N. (2007): *The Economics of Climate Change: The Stern Review.* Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

Terradas, J. (2006): *Biografía del mundo. Del origen de la vida al colapso ecológico.* Barcelona: Ediciones Destino.

Tietenberg, T.; Button, K. y P. Nijkamp (eds.) (1999): *Environmental Instruments and Institutions.* Cheltenham, Reino Unido. Northampton, Estados Unidos: An Elgar Reference Collection.

Toman, M. (ed.) (2001): *Climate Change Economics and Policy.* An RFF Anthology. Washington DC, Estados Unidos: Resources for the Future.

Vegara, J. M. (1979): *Economía política y modelos multisectoriales.* Madrid: Ed. Tecnos.

Vegara, J. M. (coord.); Barracó, H.; Colldeforns, M.; Relea F. y P. Rodríguez (2004): *Introducción al medio ambiente y a la sostenibilidad.* Barcelona: Vicens Vives.

Wagner, U. J. (2001): «The Design of Stable International Environmental Agreements: Economic Theory and Political Economy», *Journal of Economic Surveys*, vol. 15, nº 3.

II. Un fallo del mercado global

Aguilera, F. y V. Alcántara (comps.) (1994): *De la economía ambiental a la economía ecológica.* Barcelona: Icària.

Aldy, J. E. y R. N. Stavins (2007): *Architectures for Agreement.* Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.

Anderson, C. L. (1987): «The Production Process: Inputs and Wastes», en *Journal of Environmental Economics and Management,* nº 14, págs. 1-12.

Anderson, J. W. (2001): «How the Kyoto Protocol Developed», en Toman, M. (ed.) (2001): *Climate Change Economics and Policy. An RFF Anthology.* Washington DC: Resources for the Future.

Arrow, K. E. (1985): «Potential and Limits of the Market in Resource Allocations» en G. R. Feiwell (ed.) (1985): *Issues in Contemporary Microeconomics and Welfare*. Nueva York: Macmillan.

Azqueta, D. (1994): *Valoración económica de la calidad ambiental.* Nueva York: McGraw Hill.

Barrett, S. (2005): «Kyoto Plus», en D. Helm (ed.) (2005): *Climate-change Policy.* Oxford, Nueva York: Oxford University Press.

Böhringer, Ch. y M. Finus (2005): «The Kyoto Protocol: Success or Failure?», en D. Helm (ed.) (2005): *Climate-change Policy.* Oxford, Nueva York: Oxford University Press.

Bromley, D. W. (ed.) (1995): *The Handbook of Environmental Economics*. Cambridge, Estados Unidos: Blackwell.

Dasgupta, D. y G. Heal (1979): *Economic Theory and Exhaustible Resources.* Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

Gallástegui Zulaica, C. y M. González Ruiz (2008): «El clima de la Tierra: un bien público que debemos conservar», *Ekonomi Gerizan,* nº 15.

Guesnerie, R.; Champsaur, P. y A. Lipietz (2003): *Kyoto et l'économie de l'effet de serre*. París: Conseil d'Analyse Économique, La Documentation Française.

Hanna, S. S.; Folke, C. y K.-G. Mäler (1996): *Rights to Nature*. Washington: Island Press.

Kahn, J. R. (1998): *The economic approach to environmental and natural resources.* Orlando, Estados Unidos: The Dryden Press.

Kolstad, Ch. (2000): *Economía ambiental.* Oxford: Oxford University Press.

Labandeira, X.; León, C. y M. X. Vázquez (2006): *Economía ambiental*. Madrid: Pearson Educación.

Macho, I. y D. Pérez Castrillo (2005): *Introducción a la economía de la información*. Barcelona: Ariel.

Mas-Colell, A.; Whinston, M. D. y J. R. Green (1995): *Microeconomic Theory*. Nueva York: Oxford University Press.

Pearce, D. W. y R. K. Turner (1995): *Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente.* Madrid: Celeste Ediciones.

Rosenberg, N. (1976): *Perspectives on Technology.* Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, Parte 4.

Stiglitz, J. E. (2000): *La economía del sector público.* Barcelona: Antoni Bosch editor.

Vegara, J. M. (coord.); Barracó, H.; Colldeforns, M.; Relea, F. y P. Rodríguez (2004): *Introducción al Medio Ambiente y a la Sostenibilidad.* Barcelona: Vicens Vives.

Yamin, F. y J. Depledge (2004): *The International Climate Change Regime.* Cambridge: Cambrige University Press.

III. El análisis economía-cambio climático (I)

Ambrosi, Ph. y J. Ch. Hourcade (2003): «Évaluer les dommages: une tâche impossible?» en Guesnerie, R.; Champsaur, P. y A. Lipietz (2003): *Kyoto et l'économie de l'effet de serre.* París: Conseil d'Analyse Économique, La Documentation Française.

Arrow, K.; Dasgupta, P. y K.-G. Mäler, (2003): «Evaluating Projects and Assessing Sustainable Development in Imperfect Economies», en Dasgupta P. y K.-G. Mäler (eds.) (2004): *The Economics of Non-convex Ecosystems.* Berlín: Springer.

Arrow, K. *et al.* (1995): «Economic growth, carrying capacity and the environment», *Science,* vol. 268, 28 abril, págs. 520-521.

— (2004): «Are We Consuming Too Much?». *Journal of Economic Perspectives,* vol. 18, nº 3.

Arrow, K. y L. Hurwicz (1958): «Gradient Method for Concave Programming, III. Further Global Results and Applications to Resource Allocation», en Arrow, K.; Huwicz, L. y H. Uzawa (eds.) (1977): *Studies in Linear and Non-Linear Programming.* Stanford: Stanford University Press.

— (eds.) (1977): *Studies in Resource Allocation*. Cambridge: Cambridge University Press.

Arrow, K. y M. D. Intrilligator (1986): *Handbook of Mathematical Economics.* Amsterdam: Elsevier.

Azqueta, D. (2002): *Introducción a la economía ambiental.* Madrid: McGraw Hill.

Baumol, W. J. y W. E. Oates (1971): «The Use of standards and Price for Protection of the Environment», *Swedish Journal of Economics,* 73 (1), marzo, págs. 42-54.

Blitzer, Ch. R.; Clark, P. B. y L. Taylor (1975): *Economy-wide models and development planning.* Oxford, Estados Unidos: Oxford University Press.

Bromley, D. W. (ed.) (1995): *The Handbook of Environmental Economics.* Cambridge, Estados Unidos: Blackwell.

Cline, W. R. (1992): *Economics of Global Warming.* Washington: Institute for International Economics.

Colldeforns, M. y J. M. Vegara: *Las respuestas al cambio climático: Naciones Unidas, Unión Europea y Gobierno de España.* Madrid: Instituto de Estudios Fiscales. En prensa.

Costanza, R.; Cumberland, J.; Daly, H.; Goodland, R. y R. Norgaard (1997): *An Introduction to Ecological Economics.* Roca Raton, Estados Unidos: CRC Press LLC.

Costanza, R. *et al.* (1997): «The value of the world's ecosystem services and natural capital», *Nature*, 387, págs. 253-260.

Criqui, P.; Vielle, M. y L. Viguier (2003): «Le coût des politiques climatiques», en Guesnerie, R.; Champsaur, P. y A. Lipietz (2003): *Kyoto et l'économie de l'effet de serre*. París: Conseil d'Analyse Économique, La Documentation Française.

Daily *et al.* (2000): «The Value of Nature and the Nature of Value», *Science*, vol. 289, nº. 5478, págs. 395-396.

Dasgupta, P. y K.-G. Mäler (eds.) (2004): *The Economics of Non-convex Ecosystems*. Berlín: Springer.

Dasgupta, P.; Mäler, K.-G. y S. Barrett (1999): «Intergenerational Equity, Social Discount Rates and Global Warming», en Portney, P. R. y J. P. Weyant (eds.) (1999): *Discounting and Intergenerational Equity.* Washington DC: Resources for the Future.

Dervis, K.; De Melo, J. y S. Robinson (1982): *General equilibrium models for development policy.* Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

Drèze, J. y N. Stern (1990): «Policy Reform, shadow prices and market prices», *Journal of Political Economics*, nº 42.

Ekins, P. (2001): «Carbon Taxes and Carbon Emissions Trading», *Journal of Economic Surveys,* vol. 15, nº 3, págs. 325-352.

Foley, D. (2007): *The economic fundamentals of global warming.* Nueva York: New School for Social Research.

Freeman, A. M. (1993): *The Measurement of Environment and Resource Values: Theory and Methods.* Washington DC: Resources for the Future.

Garrod, G. y K. G. Willis (1999): *Economic Evaluation of the Environment.* Cheltenham, Reino Unido: Edward Elgar.

Goreux, L. M. (1977): *Interdependence in Planning.* Baltimore, Estados Unidos: The Johns Hopkins University Press.

Goreux, L. y A. Manne (eds.) (1973): *Multi-level Planning: Case Studies in Mexico.* Amsterdam: North Holland.

Goulder, L. H. (2003): «Benefit-cost analysis and climate-change policy», en Griffin (ed.) (2003): *Global Climate Change. The Science, Economics and Politics.* Cheltenham, Reino Unido, Massachusetts, Estados Unidos: Edward Elgar.

Griffin, J. M. (ed.) (2003): *Global Climate Change. The Science, Economics and Politics.* Cheltenham, Reino Unido, Massachusetts, Estados Unidos: Edward Elgar.

Guesnerie, R.; Champsaur, P. y A. Lipietz (2003): *Kyoto et l'économie de l'effet de serre.* París: Conseil d'Analyse Économique, La Documentation Française.

Haurie, A. y L. Viguier (eds.) (2005): *The Coupling of Climate and Economic Dynamics. Essays on Integrated Assessment.* Berlín: Springer Verlag.

Heal, G. (2002): «Valuing ecosystem services», en Kriström, B.; Dasgupta, P. y K. G. Löfgren (eds.) (2002): *Economic Theory for the Environment. Essays in Honour of Karl-Göran Mäler.* Cheltenham, Reino Unido. Northampton, Estados Unidos: Edward Elgar.

Heal, G. y P. Dasgupta (1981): *Economic Theory and Exhaustible Resources.* Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.

Helm, D. (ed.) (2005): *Climate-change Policy.* Nueva York: Oxford University Press.

IPCC (2007a): *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: The Physical Science Basis.* Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.

— (2007b): *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability.* Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.

— (2007c): *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007. Mitigation of Climate Change.* Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.

Janssen, R. y G. Munda (1999): «Multi-criteria methods for quantitative, qualitative and fuzzy evaluation problems», en J. C. J. M. Van den Bergh (ed.) (1999): *Handbook of Environmental and Resource Economics,* Cheltenham, Reino Unido. Northampton, Estados Unidos: Edward Elgar.

Kolstad, Ch. (2000): *Economía ambiental.* Oxford: Oxford University Press.

Lecocq, F. y J. Ch. Hourcade (2003): «Incertitude, irréversibilités et actualisation», en Guesnerie, R.; Champsaur, P. y A. Lipietz (2003): *Kyoto et l'économie de l'effet de serre.* París: Conseil d'Analyse Économique, La Documentation Française.

Lipietz, A. *et al.* (1998): *Fiscalité de l'environnement*. París: Conseil d'Analyse Économique, La Documentation Française.

Maler, K.-G. y J. R. Vincent (2005): *Handbook of Environmental Economics.* Volume 2: Valuing Environmental Changes. Amsterdam: North Holland.

Markandya, A. y K. Halsnaes (eds.) (2002): *Climate Change & Sustainable Development.* Londres: Earthscan Publications, Ltd.

Martínez Alier, J. y J. Roca (2000): *Economía ecológica y política ambiental.* México: Fondo de Cultura Económica.

Mas-Colell, A.; Whinston, M. D. y J. R. Green (1995): *Microeconomic Theory.* Oxford: Oxford University Press.

Mendelsohn, R. (2003): «Assessing the market damages from climate change», en J. M. Griffin (ed.) (2003): *Global Climate Change. The Science, Economics and Politics.* Cheltenham, Reino Unido, Massachusetts, Estados Unidos: Edward Elgar.

Mendelsohn, R.; Dinar, A. y L. Williams (2006): «The distributional impact of climate change on rich and poor countries», *Environment and Development Economics,* nº 11, págs. 159-178.

Mendelsohn, R.; Nordhaus, W. D. y D. Shaw (1994): «The Impact of Global Warming on Agriculture: a Ricardian Analysis», *American Economic Review,* septiembre 1994.

Mills, E. *et al.* (2005): «Insurance in a Climatic Change». *Science,* nº 309, págs. 1040-1044.

Mitchell, R. C. y R. T. Carson (1989): *Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Methods.* Washington DC: Resources for the Future.

Munda, G. (2008): *Social-Multicriteria Evaluation for a Sustainable Economy.* Berlín: Springer.

OCDE (1969): *Manual de análisis de proyectos industriales.* París: OCDE.

ONUDI (1972): *Guidelines for Project Evaluation.* Nueva York: United Nations.

Pearce, D. (2005): «The social cost of carbon» en D. Helm (2005): *Climate Change Policy.* Nueva York: Oxford University Press.

Rial, J. *et al.* (2004): «Nonlinearities, feedbacks and critical thresholds within the Earth's climate system», *Climatic Change,* vol. 65, págs. 11-38.

Rosenberg, N. (1976): *Perspectives on Technology.* Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

Schneider, S.; Rosenkrantz, A. y J. O. Niles (eds.) (2002): *Climate Change Policy. A Survey.* Washington DC: Island Press.

Smith, J. B.; Lazo, J. K. y H. Hurd (2005): «The difficulties of estimating global non-market damages from climate change» en D. Helm (ed.) (2005): *Climate-change Policy*. Nueva York: Oxford University Press.

Stern, N. (2007): *The Economics of Climate Change: The Stern Review.* Cambridge: Cambridge University Press.

Tietenberg, T.; Button, K. y P. Nijkamp (eds.) (1999): *Environmental Instruments and Institutions.* Cheltenham, Reino Unido. Northampton, Estados Unidos: An Elgar Reference Collection.

Tol, R. S. J. (2002a): «Estimates of the Damage Costs of Climate Change. Part 1: Benchmark Estimates», *Environmental and Resource Economics,* vol. 21 (1), págs. 47-73.

— (2002b): «Estimates of the Damage Costs of Climate Change. Part 2: Dynamic Estimates», *Environmental and Resource Economics,* vol. 21 (2), págs. 135-160.

— (2005): «The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties», *Energy Policy*, vol. 33 (16), págs. 2064-2074.

Toman, M. (ed.) (2001): *Climate Change Economics and Policy. An RFF Anthology,* Washington DC: Resources for the Future.

Ulph, A. y D. Ulph (1994): «The Optimal Time Path of a Carbon Tax», *Oxford Economic Papers,* octubre 1994, págs. 857-868.

Uzawa, H. (2003): *Economic Theory and Global Warming.* Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.

Van den Bergh, J. C. J. M. (ed.) (1999): *Handbook of Environmental and Resource Economics.* Cheltenham, Reino Unido. Northampton, Estados Unidos: Edward Elgar.

Vegara, J. M. (1975): *Programación Matemática y Cálculo Económico. Teoría y aplicaciones.* Barcelona: Vicens Vives.

— (1987): *La evaluación pública de grandes proyectos de inversión por integración en modelos macroeconómicos.* Madrid: Instituto de Estudios Fiscales.

Vegara, J. M. (coord.), Barracó, H.; Colldeforns, M.; Relea, F. y Rodríguez, P. (2004): *Introducción al Medio Ambiente y a la Sostenibilidad.* Barcelona: Vicens Vives.

Vegara, J. M. y C. Sebastián (1974): *La separabilidad en programación matemática y la evaluación de proyectos.* Madrid: Fundación del INI.

— (1977): *La evaluación de proyectos en un contexto macroeconómico.* Madrid: Fundación del INI.

Wagner, U. J. (2001): «The Design of Stable International Environmental Agreements: Economic Theory and Political Economy», *Journal of Economic Surveys,* vol. 15, nº 3.

Willis, K. G.; Button, K. y P. Nijkamp (ed.) (1999): *Environmental Valuation*, en el vol. 1, *Methods and Anomalies.* Cheltenham, Reino Unido. Northampton MA, Estados Unidos: Edward Elgar.

Weitzman, M. L. (1974:) «Price *vs*. Quantities», *Review of Economic Studies,* nº 41, págs. 477-491.

IV. El análisis economía-cambio climático (II)

Albi, E. (1989): *Introducción al análisis Coste-Beneficio.* Madrid: Instituto de Estudios Fiscales.

Arrow, K. (1995): *Intergenerational Equity and the Rate of Discount in Long-Term Social Investment.* Tunicia: IEA World Congress.

— (1999): «Discounting, Morality and Gaming», en Portney, P. R. y J. P. Weyant (1999): *Discounting and Intergenerational Equity.* Washington DC: Resources for the Future.

Arrow, K.; Dasgupta, P. y K.-G. Mäler (2003): «Evaluating Projects and Assessing Sustainable Development in Imperfect Economies», en Dasgupta, P. y K.-G. Mäler (eds.) (2004): *The Economics of Non-convex Ecosystems.* Berlín: Springer.

Arrow, K. *et al.* (1996): «Intertemporal Equity, Discounting and Economic Efficiency», en Bruce, J. P.; Lee, H. y E. F. Haites (eds.): *Climate Change 1995. Economic and Social Dimensions of Climate Change.* Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.

— (2004): «Are We Consuming Too Much?», en *Journal of Economic Perspectives*, vol. 18, nº 3.

Arrow, K. y A. C. Fisher (1974): »Environmental preservation, uncertainty and irreversibility», en *Quarterly Journal of Economics*, nº 88 (2), mayo, págs. 312-319.

Arrow, K. y L. Hurwicz (1977): «An optimality criterion for decisions-making under ignorance», en Arrow, K. y L. Hurwicz (eds.) (1977): *Studies in Resource Allocation.* Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.

Arrow, K. y M. D. Intrilligator (1986): *Handbook of Mathematical Economics.* Amsterdam: Elsevier.

Boyer, R.; Chavance, B. y O. Godard (eds.) (1991): *Les figures de l'irréversibilité en économie.* París: Éditions de l'EHESS.

Bromley, D. W. (ed.) (1995): *The Handbook of Environmental Economics.* Cambridge, Estados Unidos: Blackwell.

Bruce, J. P.; Lee, H. y E. F. Haites (eds.) (1996): *Climate Change 1995.* Nueva York, Estados Unidos: Cambridge University Press.

Chichilnisky, G. y G. Heal (1993): «Global Environmental Risks», *Journal of Economics Perspectives*, vol. 7, nº 4, otoño 1993, págs. 65-86.

Cline, W. R. (1992): *Economics of Global Warming.* Washington DC: Institute for International Economics.

COMISIÓN MUNDIAL DEL MEDIO AMBIENTE Y EL DESARROLLO (1988): *Nuestro Futuro Común.* Madrid: Alianza Editorial.

Costanza, R.; Cumberland, J.; Daly, H.; Goodland, R. y R. Norgaard (1997): *An Introduction to Ecological Economics.* Roca Raton, Estados Unidos: CRC Press LLC.

Dasgupta, P. (1974): «On Some Alternative Criteria for Justice between Generations», *Journal of Public Economics*, nº 3, págs. 405-423.

Dasgupta, P.; Mäler, K.-G. y S. Barrett (1999): «Intergenerational Equity, Social Discount Rates and Global Warming», en Portney, P. R. y J. P. Weyant (eds.) (1999): *Discounting and Intergenerational Equity.* Washington DC: Resources for the Future.

Dervis, K.; De Melo, J. y S. Robinson (1982): *General equilibrium models for development policy.* Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

Dragun, A. K. y K. M. Jakobsson (1997): *Sustainability and Global Environmental Policy. New Perspectives,* Cheltenham, Reino Unido: Edward Elgar.

Embrechts, P.; Klüppelberg, C. y T. Mikosch (2003): *Modelling Extremal Events.* Berlín: Springer.

Freixas, X. y J. J. Laffont (1984): «The irreversibility effect», en Boyer, M. y R. Kihlstrom (eds.) (1984): *Bayesian models in Economic Theory.* Amsterdam: North Holland.

Goldin, I. y L. Alan Winters (eds.) (1995): *The Economics of Sustainable Development.* Nueva York, Estados Unidos: Cambridge University Press.

Gollier, Ch.; Jullien, B. y N. Treich (2000): «Scientific progress and irreversibility: an economic interpretation of the "Precautionary Principle"», *Journal of Public Economics*, nº 75 (2), págs. 229-253.

Guesnerie, R.; Champsaur, P. y A. Lipietz (2003): *Kyoto et l'économie de l'effet de serre.* París: Conseil d'Analyse Éonomique, La Documentation Française.

Heal, G. M. (1998): *Valuing the Future: Economic Theory and Sustainability.* Nueva York: Columbia University Press.

Heal, G. M. y B. Kristom (2002): «Uncertainty and Climatic Change», en *Evironmental and Resource Economics*, nº 22, págs. 3-39.

Helm, D. (ed.) (2005): *Climate Change-Policy.* Nueva York: Oxford University Press.

Henry, C. (1974): «Investment Decisions Under Uncertainty: The "Irreversibility Effect"», en *The American Economic Review*, vol. 64, nº 6, diciembre, págs. 1006-1012.

Hirsleifer, J. y J. G. Riley (1992): *The analytics of uncertainty and information.* Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.

Howarth, R. B. (1996): «Climate Change and Overlapping Generations» en *Contemporary Economic Policy*, vol. 14 (4), octubre, págs. 100-111.

Howarth, R. B. y B. Norgaard (1995): «Intergenerational Choices under Global Environmental Change», en D. W. Bromley (ed.) (1995): *The Handbook of Environmental Economics.* Cambridge, Estados Unidos: Blackwell, págs. 111-138.

IPCC (2007a): *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: The Physical Science Basis.* Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.

— (2007b): *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability.* Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.

— (2007c): *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007. Mitigation of Climate Change.* Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.

Köhn, J.; Gowdy, J.; Hinterberger, F. y J. Van Der Straaten (eds.) (1999): *Sustainability in Question.* Cheltenham, Reino Unido: Edward Elgar.

Kolstad, Ch. (2000): *Economía ambiental.* Oxford: Oxford University Press.

Laffont, J. J. (1986): *Cours de théorie microéconomique II. Économie de l'incertitude et de l'information.* París: Economica.

Lecocq, F. y J. Ch. Hourcade (2003): «Incertitude, irréversibilités et actualisation», en Guesnerie, R.; Champsaur, P. y A. Lipietz (2003): *Kyoto et l'économie de l'effet de serre.* París: Conseil d'Analyse Économique, La Documentation Française.

Legrand, J. (1991): *Equity and Choice.* Londres, Reino Unido: Harper Collins Academic.

Londero, E. (1996): *Benefits and Beneficiaries.* Washington, Estados Unidos: Inter-American Development Bank.

Lowenstein, G. y J. Elster (1992): *Choice over Time.* Nueva York, Estados Unidos: Russell Sage Foundation.

Mäler, K.-G. y J. R. Vincent (2005): *Handbook of Environmental Economics, Volumen 2: Valuing Environmental Changes.* Amsterdam: North Holland.

Malinvaud, E. (1993): *Équilibre Général dans les Économies de Marché. L'apport des recherches récentes.* París: Economica.

Manne, A. S. y R. G. Richels (1991): «Buying greenhouse insurance» en *Energy Policy*, vol. 19 (6), julio/agosto, págs. 543-552.

Martínez Alier, J. y J. Roca (2000): *Economía ecológica y política ambiental.* México: Fondo de Cultura Económica.

Mas-Colell, A.; Whinston, M. D. y J. R. Green (1995): *Microeconomic Theory.* Oxford: Oxford University Press.

Medio, A. (1992): *Chaotic Dynamics. Theory and Applications to Economics.* Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

Mendelsohn, R. (2005): «The Social Cost of Greenhouse Gases: Their Value and Policy Implications», en D. Helm (ed.) (2005): *Climate Change-Policy.* Oxford: Oxford University Press.

— (2003): «Assessing the market damages from climate change», en J. M. Griffin (ed.): *Global Climate Change.* Cheltenham, Reino Unido: Edward Elgar.

Mendelsohn, R.; Dinar, A. y L. Williams (2006): «The distributional impact of climate change on rich and poor countries» en *Environment and Development Economics*, nº 11, págs. 159-178.

Mills, E. *et al.* (2005): «Insurance in a Climatic Change» en *Science*, nº 309, págs. 1040-1044.

Mitchell, R. C. y R. T. Carson (1989): *Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Methods.* Washington DC: Resources for the Future.

Molho, I. (1997): *The Economics of Information.* Oxford: Blackwell.

Munasinghe, M.; Meier, P.; Hoel, M.; Hong, S. W. y A. Aaheim (1996): «Applicability of Techniques of Cost-Benefit Analysis to Climate Change», en IPCC (1996): *Climate Change 1995. Economic and Social Dimensions of Climate Change.* Nueva York, Estados Unidos: Cambridge University Press.

Nordhaus, W. D. (2007): «A Review of The Stern Review on the Economics of Climate Change» en *Journal of Economic Literature*, vol. XLV (septiembre), págs. 686-702.

O'Riordan, T. y J. Cameron (ed.) (1994): *Interpreting the Precautionary Principle.* Londres: Earthscan.

Pearce, D. (1973): *Análisis coste-beneficio*. Barcelona: Vicens Vives.

Pearce, D. (1994): «The Precautionary Principle and Economic Analysis», en T. O'Riordan y J. Cameron (eds.) (1994): *Interpreting the Precautionary Principle.* Londres: Earthscan.

Perman, R.; Ma, Y. y J. McGilvray (1996): *Natural Resource and Environmental Economics.* Londres, Nueva York: Longman.

Portney, P. y J. P. Weyant (1999): *Discounting and Intergenerational Equity.* Washington DC: Resources for the Future.

Prigogine, I. (1997): *Las leyes del caos.* Barcelona: Crítica.

Rawls, J. (2005): *A Theory of Justice.* Harvard, Estados Unidos: Harvard University Press (1ª ed., 1971).

Rial, J.; Pielke, R. A.; Beniston, M.; Claussen, M.; Canadell, J.; Cox, P.; Held, H.; De Noblet, N.; Prinn, R.; Reynolds, J. y J. D. Salas (2004): «Nonlinearities, feedbacks and critical thresholds within the Earth's climate system» en *Climatic Change*, vol. 65, págs. 11-38.

Schneider, S., Rosencrantz, A. y J. O. Niles (2002): *Climate Change Policy.* Washington, Estados Unidos: Island Press.

Sen, A. (1997a): *On Economic Inequality.* Oxford: Oxford University Press.

— (1997b): «Individual Preference as the Basis of Social Choice». En Arrow, K. J.; Sen, A. y K. Suzumura (1997): *Social Choice Re-Examined.* Nueva York: Palgrave Macmillan, vol. 1.

— (1982): *Choice, Welfare and Measurement.* Oxford: Basil Blackwell.

— (2004): *Rationality and Freedom.* Harvard, Estados Unidos: Belknap Press.

— (2007): *Primero la gente.* Bilbao: Ediciones Deusto.

Sen, A. y Williams, B. (1982): *Utilitarianism and beyond.* Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

Smith, J. B., Lazo, J. K. y H. Hurd (2003): «The difficulties of estimating global non-market damages from climate change», en D. Helm (ed.) (2003): *Climate-change Policy.* Oxford, Nueva York: Oxford University Press.

Solow, R. M. (1973): «Intergenerational Equity and Exhaustible Resources», *Review of Economic Studies*, junio.

Stern, N. (2007): *The Economics of Climate Change: The Stern Review.* Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

Tietenberg, T.; Button, K. y P. Nijkamp (eds.) (1999): *Environmental Instruments and Institutions.* Cheltenham, Reino Unido. Northampton, Estados Unidos: An Elgar Reference Collection.

Uzawa, H. (2003): *Economic Theory and Global Warming.* Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.

Van Den Bergh, J. C. J. M. (ed.) (1999): *Handbook of Environmental and Resource Economics.* Cheltenham, Reino Unido. Northampton (MA), Estados Unidos: Edward Elgar.

Vegara, J. M. (1975): *Programación Matemática y Cálculo Económico.* Teoría y aplicaciones. Barcelona: Vicens Vives.

— (1987): *La evaluación pública de grandes proyectos de inversión por integración en modelos macroeconómicos.* Madrid: Instituto de Estudios Fiscales.

Vegara, J. M. (coord.); Barracó, H.; Colldeforns, M. Relea, F. y P. Rodríguez (2004): *Introducción al Medio Aambiente y a la Sostenibilidad.* Barcelona: Vicens Vives.

Vegara, J. M. y C. Sebastián (1977): *La evaluación de proyectos en un contexto macroeconómico: un enfoque multinivel.* Madrid: Fundación del INI.

Wagner, U. J. (2001): »The Design of Stable International Environmental Agreements: Economic Theory and Political Economy», en *Journal of Economic Surveys*, vol. 15, nº 3.

Weitzman, M. L. (1974): «Price *vs*. Quantities», en *Review of Economic Studies*, nº 41, págs. 477-491.

— (2007a): «A Review of The Stern Review on The Economics of Change», en *Journal of Economic Literature*, vol. XLV (septiembre), págs. 703-724.

— (2007b): «On modeling and interpreting the economics of catastrophic climate change», en *Department of economics.* Harvard University, diciembre.

Referencias páginas WEB

www.ases.org
American Solar Energy Society

www.atm.ch.cam.ac.uk
Centre for Atmospheric Science University of Cambridge.
El problema de la capa de ozono y sus consecuencias

www.carma.org
Carbon Monitoring for Action.
Datos de emisiones para todo el mundo

www.ciemat.es
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

www.climatetech.net
Climate Technology Initiative (CTI)

www.cnie.org
National Council for Science and the Environment

www.ecologistasenaccion.org
Página web de la ONG Ecologistas en acción

www.ecology.com
Basada en el contenido de la revista *Ecology today*

www.eea.eu.int
Agencia europea del medio ambiente

www.empresaclima.org
Fundación Empresa y Clima

www.envirolink.org
Envirolink Network. The Online Environment Community

www.epa.gov
Agencia USA de Protección del Medio Ambiente

www.essential.org/FOE.html
Información esencial para activistas

www.eurocities.org
Red europea de grandes ciudades

www.europa.eu.int
Comisión Europea

www.europa.eu.int/comm/eurostat
Eurostat

www.fao.org
Food and Agriculture Organization of United Nations

www.forumambiental.org
Fundació Fòrum Ambiental

www.forumsocialmundial.org.br
Foro de Porto Alegre

www.greenercars.org
A*merican Council for an Energy-Efficient Economy*

www.greenpeace.es
Greenpeace España

www.greenpeace.org
Greenpeace International

www.iclei.org
Local Goverments for Sustainability

www.idescat.es
Institut d'Estadística de la Generalitat de Catalunya

www.iea.org
International Energy Agency

www.iiasa.ac.at
International Institute for Applied Systems Analysis

www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm
Los informes del IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*)

www.johannesburgsummit.org
La cumbre del 2002, a los diez años de la de Río de Janeiro. La información actualizada puede hallarse en: www.un.org/esa/sustdev/index.html

www.marm.es
Ministerio del Medio Ambiente y el Medio Rural y Marino

www.mediambient.bcn.es
Medi Ambient de l'Ajuntament de Barcelona

www.mediambient.gencat.cat
Departament de Medi Ambient i Habitatge.
Generalitat de Catalunya

mediambient.gencat.net/cat/el_medi/C_climatic/inici.jsp
Oficina Catalana del Canvi Climàtic. Generalitat de Catalunya

www.nrel.gov
National Renewable Energy Laboratory. El principal laboratorio norteamericano de investigación sobre las energías renovables

www.panda.org
World Wildlife Fund

www.ocde.org
Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (*Organization for Economic Co-operation and Development*)

www.sostenibilidad-es.org
Observatorio de la Sostenibilidad en España

www.sustainable-cities.org
Red de ciudades europeas sostenibles

www.ulb.ac.be/ceese
Centre for Economic and Social Studies on the Environment

www.unctad.org
Conferencias de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo

www.unep.org
Agencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

www.unfccc.de
United Nations Framework Convention on Climate Change

www.unhabitat.org
UN-HABITAT. *United Nations Human Settlements Programme*

www.un.org
Web general de las Naciones Unidas

www.un.org/Depts/unsd/enviro/environment.htm
Oficina estadística de las Naciones Unidas

www.unsystem.org
Localizador de la página web oficial de las Naciones Unidas

www.wcmc.org.uk
World Conservation Monitoring Centre

ww.who.int
Organización Mundial de la Salud

www.worldbank.org
Banco Mundial

www.worldwatch.org
The Worldwatch Institute

www.worldwildlife.org
La organización de protección de la naturaleza a nivel mundial

www.wri.org
World Resources Institute

www.wri.org/biodiv
World Resources Institute (Biodiversity and Protected Areas)

www.wupperinst.org
Wuppertal Institute. Climate, environment, energy

V. Modelos económicos para la evaluación del medio ambiente y del cambio climático

Barker, T.; Qureshi, M. S. y J. Köhler (2006): «The Costs of Greenhouse Gas Mitigation with Induced Technological Change: A Meta-Analysis of Estimates in the Literature». *Tyndall Centre for Climate Change Research*, nº 89, julio.

Böhringer, C. (1998): «The synthesis of bottom-up and top-down in energy policy modelling». *Energy Economics*, vol. 20, nº 3, págs. 233-248.

Cardenete, M. A.; Fuentes, P.; Gual, M. A. y F. Sancho (2008): «Análisis del "efecto-rebote" del sector energético español a través de un modelo de equilibro general aplicado». Madrid: IDAE, Ministerio de Industria.

Coase, R. H. (1960): «The Problem of Social Cost». *Journal of Law and Economics*, nº 3, págs. 1-44.

González Ruiz de Eguino, M. (2007): *Impacto económico del control del cambio climático en España*. Madrid: FUNCAS.

Hidalgo González, I. (2005): «Introducción a los modelos de sistemas energéticos, económicos y medioambientales: descripción y aplicaciones del modelo Poles» *Revista de Economía Mundial*, nº 13.

— (2005): «Introducción a los modelos de sistemas energéticos POLES», *Revista de Economía Mundial*, nº 13, págs. 33-75.

Hirschman, A. O. (1958): *The Strategy of Economic Development*. New Haven: Yale University Press.

Holtz-Eakin, D. y T. M. Selden (1995): «Stoking the fires? CO_2 emissions and economic growth», *Journal of Public Economics*, vol. 57, nº 1, págs. 85-101.

Hope, Ch. (2005): «Integrated Assessment Models». En D. Helm (ed.) (2005): *Climate Change Policy*. Oxford: Oxford University Press.

Huntington, H. G. (2005): «US carbon emissions, technological progress and economic growth since 1870», *International Journal of Global Energy Issues*, vol. 23, nº 4, págs. 292-306.

Jevons, S. (1865): «The Coal Question». Londres: Macmillan.

Khazzoom, J. D. (1980): «Economic Implications of Mandated Efficiency Standards for Household Appliances». *The Energy Journal*, nº 4, págs. 21-40.

Labandeira, X. y M. Rodríguez (2007): *Wide and Narrow Approaches in Climate Change Policies: The Case of Spain*. Documento de Trabajo 2007-39 Serie 10, Madrid: Cátedra Fedea-Iberdrola.

Labriet, M.; Loulou, R. y A. Kanudia (2005): «Global Energy and CO_2 Emission Scenarios: Analysis with a 15-Region World MARKAL Model». En Haurie, A. y L. Viguier (eds.) (2005): *The Coupling of Climate and Economic Dynamics*. Países Bajos: Springer.

Lutz, C.; Meyer, B.; Nathani, C. y J. Schleich (2005): «Endogenous technological change emissions: the case of the German Steel industry». *Energy Policy*, vol. 33, nº 9, págs. 1143-1154.

Manne, A.; Mendelsohn, R. y R. Richels (1995): «MERGE. A model for evaluating regional and global effects of GHG reduction policies», *Energy Policy*, vol. 23, nº 1, págs. 17-34.

Manresa, A. y F. Sancho (2005): «Implementing a Double Dividend: Recycling Ecotaxes Towards Lower Labour Taxes». *Energy Policy*, vol. 33, nº 12, págs. 1577-1585.

McFarland, J. R.; Reilly, J. M. y H. J. Herzog (2004): «Representing energy technologies in top-down economic models using bottom-up information», *Energy Economics*, vol. 26, nº 4, págs. 685-707.

Mendelsohn, R. O.; Morrison, W. N.; Schlesinger, M. E. y N. G. Andronova (2000): «Country-specific market impacts of climate change», *Climatic Change*, vol. 45, nº 3-4, págs. 553-569.

NACIONES UNIDAS (1993): «Handbook of National Accounting: Integrated Environmental and Economic Accounting». Nueva York: Naciones Unidas. http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seea2003.pdf.

Neumayer, E. (2004): «National carbon dioxide emissions: geography matters», *Royal Geographical Society. AREA*, vol. 36, nº 1, págs. 33-40.

Nordhaus, W. D. y Zili Yang (1996): «A Regional Dynamic General-Equilibrium Model of Alternative Climate-Change Strategies», *The American Economic Review*, vol. 86, nº 4 (septiembre), págs. 741-765.

Nordhaus, W. D. y J. Boyer (2000): «Warming the World: the Economics of the Greenhouse Effect». Cambridge, MA: MIT Press.

Pigou, A. C. (1946): *La economía del bienestar.* Madrid, Aguilar (1920, 1ª ed.).

Rao, S., Keppo, I. y R. Keywan (2006): «Importance of technological change and spillovers in long-term climate policy», *The Energy Journal.* Endogenous Technological Change (número especial).

Roca, J. y V. Alcántara (2001): «Energy intensity CO_2 emissions and the environmental Kuznets curve. The Spanish case», *Energy Policy*, vol. 29, nº 7, págs. 553-556.

Schmalensee, R.; Stoker, T. M. y R. A. Judson (1998): «World Carbon Dioxide Emissions: 1950-2050», *The Review of Economics and Statistics*, vol. 80, nº 1, págs. 15-27.

Seppala, T.; Haukioja, T. y J. Kaivo-Oja (2001): «The EKC Hypothesis Does Not Hold for Direct Material Flows: Environmental Kuznets Curve Hypothesis Tests for Direct Material Flows in Five Industrial Countries», *Population and Environment*, vol. 23, nº 2, págs. 217-232.

Stern, N. (2007): «The Economics of Climate Change: The Stern Review», Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

Sun, J. W. (1999): «The Nature of CO_2 emission Kuznets curve», *Energy Policy*, vol. 27, nº 12, págs. 691-694.

Tol, R. S. J. (2002): «Estimates of the damage costs of climate change-part II: dynamic estimates», *Environmental and Resource Economics*, vol. 21, nº 2, págs. 135-160.

Vinnikov, K. Y.; Grody, N. C.; Robock, A.; Stouffer, R. J.; Jones, P. D. y M. D. Goldberg (2005): «Observed and Model-Simulated Temperature Trends at the Surface and in the Troposphere». *Journal of Geophysical Research*, vol. 111.

Warren, R.; Arnell, N.; Nicholls, R.; Levy, P. y J. Price (2006): *Understanding the Regional Impacts of Climate Change,* Tyndall Centre for Climate Change Research. Working Paper nº 90.

Wei Ming Huang, Grace W. M. Lee i Chih Cheng Wu (2008): «GHG emissions, GDP growth and the Kyoto Protocol: A revisit of Environmental Kuznets Curve Hypothesis», *Energy Policy*, vol. 36, núm. 1, pàgs. 239-247.

Weitzman, M. L. (1978): «Optimal Rewards for Economic Regulation». *American Economic Review*, vol. 68, nº 4, págs. 683-691.

VI. Los instrumentos

AEMA (Agencia Europea del Medio Ambiente) (2006): (EEA European Environment Agency) *Utilizar el mercado para una política ambiental eficaz y rentable. Instrumentos de mercado en Europa*. Traducción del original inglés realizada por el Ministerio de Medio Ambiente 2007. Título original: *Using the market for cost-effective environmental policy. Market based instruments in Europe.*

— (2008): (EEA European Environment Agency) *Technical report No 3/2008 Application of the Emissions Trading Directive by EU Member States - reporting year 2007.*

BANCO MUNDIAL (2007): *Carbon Finance for sustainable development, Annual report 2006 y 2008.* Washington DC. Accesible *on-line* en: http://www.carbonfinance.org.

— (2008): *State and Trends of the Carbon Market 2008.* Washington DC.

Böhringer, C. (2003): «The Kyoto protocol: a Review and Perspectives», *Oxford Review of Economic Policy*, 19 (3), págs. 451-466.

CONSEIL D'ANALYSE ÉCONOMIQUE (1998): *Fiscalité de l'environment.* París: La Documentation Française.

Dietz, S. y N. Stern (2008): «Why Economic Analysis Suports Strong Action on Climate Change: a response to the "Stern Review's Critics"» en *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 2, 1, invierno 2008.

Ellerman, D. y B. Buchner (2006): «Over-Allocation or Abatement? A preliminary analysis of the EU ETS based on the 2005 emissions Data», FEEM Working paper, 139, (citado en Grubb, 2007).

Ellerman, D.; Joskow, P. L.; Schmalensee, R.; Montero, J. P. y E. M. Bailey (2000): *Markets for Clean Air. The US Acid Rain Program.* Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

Estrada, M.; Corbera, E. y K. Brown (2008): «How do regulated and voluntary carbon-offset schemes compare?», Tyndall Centre Working Paper 116.

Godard, O. y C. Henry (1998): *Les instruments des politiques internationales de l'environnement: la prévention du risque climatique et les mécanismes de permis négociables* en Conseil d'Analyse Économique (1998).

Grubb, M. (2007): «The European Emissions Trading Scheme: an overview of operation and lessons», CESifo - Dice Report, en *Journal for Institutional Comparisons*, vol. 5, nº 4, invierno.

Hepburn, C. (2006): «Regulation by prices, quantities or both: a review of instrument choice». *Oxford Review of Economic Policy*, vol. 22, nº 2.

— (2007): «Carbon Trading: A review of the Kyoto Mechanisms», en *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 32, págs. 375-393.

IPCC (2007): 4t Informe d'Avaluació: base científica, adaptació i mitigació. Resúmenes de los informes presentados por los grupos de trabajo I, II y III del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Generalitat de Catalunya, CADS y Departament de Medi Ambient i Habitatge. Col·lecció documents nº 17. Accesible *on-line* desde www.ipcc.ch/ipccreports/translations.htm. La versión en lengua castellana es accesible en www.ipcc.ch/languages/spanish.htm.

Mendelsohn, R. (2008): «Is the Stern Review an Economic Analysis?», en *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 2, nº 1, págs. 45-60.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2004): *Guía española para la utilización de los mecanismos basados en proyectos en el Protocolo de Kyoto.* Madrid.

Nordhaus, W. D. (1991): «To slow or not to slow: The economics of the greenhouse effect» en *Economic Journal*, nº 101, págs. 920-937.

— (2007): «To tax or not to tax: Alternative Approaches to Slowing Global Warming», en *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 1, nº 1, invierno, págs. 26-44.

OCDE (2006): *The Political Economy of Environmentally Related taxes.* París: OCDE.

— (2007): *Instrument Mixes for Environmental Policy.* París: OCDE.

— (2008a): *A taxonomy of instruments to reduce greenhouse gas emissions and their interactions.* ECO/WKP (2008)44. Economics Department working paper, nº 636, por Romain Duval. París: OCDE.

— (2008b): *Economic aspects of adaptation to climate change: Costs, Benefits and Policy Instruments.* París: OCDE.

— (2008c): *Environmentally related taxes and Tradable Permit Systems in practice*. Environment Directorate - Centre for Tax policy and Administration COM/ENV/EPOC/CTPA/CFA (2007)31/FINAL. París: OCDE.

OCDE/EEA: *database on instruments used for environmental policy and natural resources management,* http://www2.oecd.org/ecoinst/queries/index.htm.

Pindyck, R. S. (2007): «Uncertainty in environmental economics», en *Review of Environmental Economics and Policy*, tema 1, invierno, págs. 45-65.

Roberts, M. J. y M. Spence (1976): «Effluent Charges and Licences under Uncertainty» en *Journal of Public Economics*, nº 5, págs. 193-208.

Stern, N. (2007): *The economics of climate change: The Stern Review.* Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

SYMPOSIUM (2008): «The economics of Climate Change: The Stern Review and its critics», publicado en *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 2, 1, invierno, que incluye artículos de Robert Mendelsohn, John P. Weyant y otros. Incluye también la respuesta de S. Dietz y N. Stern.

UNIÓN EUROPEA (2007): *Libro verde de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité económico y social europeo y al Comité de las regiones. Adaptación al cambio climático en Europa: opciones de actuación para la UE.* Bruselas, 29.6.2007 COM (2007).

— (2008): *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Dos veces 20 para el 2020. El cambio climático, una oportunidad para Europa.* COM (2008) 30 final de 23.2008.

Vegara, J. M. (coord.); Barracó, H.; Colldeforns, M.; Relea, F. y P. Rodríguez (2004): *Introducción al medio ambiente y a la sostenibilidad.* Barcelona: Vicens Vives.

Viladrich, M. (2004): «Las principales aportaciones a la teoría de la regulación medioambiental: Los últimos 40 años». *Economía agraria y recursos naturales*, 4 (8), págs. 41-62.

Weitzman, M. (1974): «Prices *vs.* Quantities» en *Review of Economic Studies*, nº 41 (4), págs. 477-491.

VII. Cambio climático y cambio tecnológico

Aghion, P. y S. Durlauf (ed.) (2005): *Handbook Economic Growth. Amsterdam: Elsevier.*

Bloom, N.; Schankerman, M. A. y J. Van Reenen (2007): Identifying Technology Spillovers and Product Market Rivalry, NBER Working Paper nº W13060.

Bosetti, V.; Carraro, C.; Galeotti, M.; Massetti, E. y M. Tavoni (2006): «WITCH: A World induced technical Change Hybrid Model», en *The Energy Journal*, Special issue on Hybrid Modeling of Energy Environment Policies, vol. 27.

Bosetti, V.; Carraro, C.; Massetti, E. y M. Tavoni (2007): «Optimal Energy Investment and R&D Strategies to Stabilise Greenhouse Gas Atmospheric Concentrations», Documento de Trabajo 95.2007. Fondazione Eni Enrico Mattei.

— (2008): «International energy R&D spillovers and the economics of greenhouse gas atmospheric stabilization» en *Energy Economics*, vol. 30 (6), págs. 2912-2929.

Bretschger, L. (2005): «Economics of technological change and the natural environment: How effective are innovations as a remedy for resource scarcity?» *Ecological Economics*, nº 54 (2-3), págs. 148-163.

Buchner, B. y C. Carraro (2006): «Economic and environmental effectiveness of a technology-based climate protocol», en WP Department of Economics, Ca'Foscari, Universidad de Venecia.

Busom, I. (coord.) (2006): *La situació de la innovació a Catalunya.* Col·lecció Estudis, CIDEM, Generalitat de Catalunya.

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (2006): Green paper: *A European strategy for sustainable, competitive and secure energy,* SEC (2006)317, COM (2006)105 final, Bruselas.

De Coninck, H.; Fischer, C.; Newell, R. G. y T. Ueno (2008): «International technology oriented agreements to address climate change», *Energy Policy*, 36, págs. 335-356.

Edenhofer, O.; Bauer, N. y E. Kriegler (2005): «The impact of technological change on climate protection and welfare: insights from the model MIND», *Ecological Economics*, 54 (2-3), págs. 277-292.

Encaoua, D.; Guellec, D. y C. Martínez (2006): «Patent Systems for Encouraging Innovation: Lessons from Economic Analysis» en *Research Policy*, 35, nº 9, págs. 1423-1440.

EUROPEAN COMMUNITIES (2007): «Panorama of Energy. Energy Statistics to support EU policies and solutions», *Eurostat.* Luxemburgo.

— (2008): «Science, technology and innovation in Europe», *Eurostat,* Luxemburgo.

Eyckmans, J. y H. Tulkens (2003): «Simulating coalitionally stable burden sharing agreements for the climate change problem», *Resource and Energy Economics*, 25 (4), págs. 299-327.

Fischer, C. (2008): «Emissions pricing, spillovers and public investment in environmentally friendly technologies», *Energy Economics*, 30 (2), págs. 487-502.

Fischer, C. y R. Newell (2008): «Environmental and technology policies for climate mitigation», *Journal of Environmental Economics and Management*, 55, págs. 142-162.

Gersbach, H. y R. Winkler (2007): «An Economic Analysis of Global Refunding and Climate Change», CEPR Discussion Paper, nº 6379.

Gillingham, K.; Newell, R. G. y W. A. Pizer (2008): «Modeling endogenous technological change for climate policy analysis», *Energy Economics*, vol. 30 (6), págs. 2734-2753.

Goulder, L. H. y W. A. Pizer (2006): «The Economics of Climate Change», Discussion Paper RFF DP 06-06 (también publicado en New Palgrave Dictionary of Economics, 2nd edition, Macmillan).

Grabowski, H. (2002): «Patents, Innovation and Access to New Pharmaceuticals», *Journal of International Economic Law* 5 (4).

Griliches, Z. (1988): *Technology, Education and Productivity: Early Papers with Notes to Subsequent Literature.* Nueva York: Basil Blackwell.

— (1992): «The search for R&D Spillovers». *The Scandinavian Journal of Economics*, vol. 94 (suplemento).

Gupta, S.; Tirpak, D. A.; Burger, N.; Gupta, J.;Höhne, N.; Boncheva, A. I.; Kanoan, G. M.; Kolstad, C.; Kruger, J. A.; Michaelowa, A.; Murase, S.; Pershing, J.; Saijo, T. y A. Sari (2007): «Policies, Instruments and Cooperative Agreements. A Climate Change 2007: Mitigation». Contribución del Working Group III al *Fourth Assessment Report of the IPCC,* editado por B. Metz *et al.*, Cambridge University Press.

Hu, A. G. Z. y A. B. Jaffe (2003): «Patent citations and international knowledge flow: the cases of Korea and Taiwan», *International Journal of Industrial Organization* 21 (6), págs. 849-880.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2007): *World Energy Outlook* 2006.

IPCC (2007): «Cambio climático 2007: Informe de síntesis». Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza: IPCC.

Irwin, D. A. y P. J. Klenow (1994): «Learning-by-Doing Spillovers in the Semiconductor Industry», en *The Journal of Political Economy*, 102 (6).

Jaffe, A. B.; Newell, R. G. y R. N. Stavins (2005): «A tale of two market failures. Technology and environmental policy», en *Ecological Economics,* vol. 54 (2-3), págs. 14-174.

Jaffe, A. B. y K. Palmer (1997): «Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study», en *The Review of Economics and Statistics*, 79 (4), págs. 610-619.

Johnstone, N. (ed.) (2007): *Environmental Policy and Corporate Behavior.* París: Edward Elgar y OCDE.

Johnstone, N.; Hascic, I. y D. Popp (2008): «Renewable energy policies and technological innovation: evidence based on patent counts», NBER Working Paper Series 13760.

Jones, C. (2002): «Sources of US Economic Growth in a World of Ideas», en *American Economic Review*, 92 (2), págs. 220-239.

Jones, Ch. y J. Williams (1998): «Measuring the Social Return to R&D», a *The Quarterly Journal of Economics,* vol. 113 (4), págs. 1119-1135.

Kabubo-Mariara, J. (2007): «Land Conservation and Tenure Security in Kenya: Boserup's Hypothesis Revisited», en *Ecological Economics*, octubre, vol. 64, nº 1, págs. 25-35.

Kemfert, C. (2005): «Induced technological change in a multi-regional, multi-sectoral, integrated assessment model (WIAGEM). Impact assessment of climate policy strategies», en *Ecological Economics* 54 (2-3), págs. 293-305.

Kerr, S. y R. Newell (2003): «Policy-induced technology adoption: Evidence from the US lead phase down», en *The Journal of Industrial Economics* 51 (3), págs. 317-343.

Lanjouw, J. O. y A. Mody (1996): «Innovation and the international diffusion of environmentally responsive technology», en *Research Policy*, 25 (4), págs. 549-571.

Lecocq, F. y Z. Shalizi (2007): «How might climate change affect economic growth in developing countries?», WP 4315, *The World Bank Development Research Group*.

Maloney, W. y A. Rodríguez-Clare (2007): «Innovation Shortfalls», en *Review of Development Economics*, vol. 11 (4).

Martin, R. (2007): «Technologies to tackle global warming». CentrePiece, invierno 2006/07.

Metz, B.; Davidson, O.; De Coninck, H.; Loos, M. y L. Meyer (2005): «La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono». Informe especial del IPCC.

NACIONES UNIDAS (2008): Informe sobre el desenvolupament humà 2007/2008. La lluita contra el canvi climàtic: la solidaritat humana en un món dividit, UNDP. Versión catalana en la web http://hdr.undp.org/en/media/HDR_20072008_Catalan.pdf.

Nemet, G. (2006): «How well does learning-by-doing explain cost reductions in a carbon-free energy technology?» Documento de Trabajo, Fondazione Eni Enrico Mattei, nº 143.

— (2007): «Policy and innovation in low-carbon energy technologies» (Tesis doctoral), en *Energy and Resources Group*, Berkeley, CA: Universidad de California.

Nordhaus, W. (2007): «The Challenge of Global Warming: Economic Models and Environmental Policy in the DICE-2007 Model», Mimeo.

— (2008): *A Question of Balance. Weighing the options on global warming policies.* New Haven y Londres: Yale University Press.

OCDE (2008a): *Environmental Policy, Technological Change and Patent Activity*, Working Party on National Environmental Policies.

— (2008b): OECD Environmental Outlook to 2030, París, 2008.

Pershing, J. y J. Mackenzie (2004): «Removing Subsidies. Leveling the playing field for renewable energy technologies», en *Thematic Background Paper for the International Conference for Renewable Energies*, Bonn.

Popp, D. (2002): «Induced Innovation and Energy Prices», en *American Economic Review* 92, págs. 160-180.

— (2004): «ENTICE: endogenous technological change in the DICE model of global warming» en *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 48, págs. 742-768.

— (2005): «Lessons from patents: Using patents to measure technological change in environmental models» en *Ecological Economic*s, 54 (2-3), págs. 209-226.

— (2006a): «ENTICE-BR: The effects of backstop technology R&D on climate policy models», *Energy Economics*, 28, págs. 188-222.

— (2006b): «R&D subsidies and climate policy: is there a "free lunch"?», *Climatic Change* 77, (3-4), págs. 311-341.

— (2006c): «International innovation and diffusion of air pollution control technologies: the effects of NOx and SO_2 regulation in the US, Japan and Germany», en *Journal of Environmental Economies and Management,* vol. 51 (1), págs. 46-71.

Popp, D.; Hafner, T. y N. Johnstone (2007): «Policy *vs.* consumer pressure. Innovation and diffusion of alternative bleaching technologies in the pulp industry», en NBER Working Paper, 13439.

Rouvinen, P. (2002): «The existence of R&D spillovers: a cost function estimation with random coefficients», en *Economics of Innovation and New Technology* 11 (6), págs. 525-541.

Taylor, M. R.; Rubin, E. S. y D. A. Hounshell (2003): «Control of SO_2 emissions from power plants: A case of induced technological innovation in the US», en *Technological Forecasting and Social Change.*

Tietenberg, T. y L. Lewis (2008): *Environmental and Natural Resource Economics*, 8th Edition, Addison Wesley Series in Economics.

UAB (2008): *Revista de Divulgació Científica* (entrevista a la Dra. M. Maroto-Valer), publicada en junio de 2008. Web: www.uab.es/uabdivulga/.

Van Den Bergh, J. C. J. M. (2007): «Evolutionary thinking in environmental economics», *Journal of Evolutionary Economics* 17, págs. 521-549.

Vegara, J. M. *et al.* (2005): *La innovació tecnològica*, Enginyers Industrials de Catalunya, Col·lecció Societat, Indústria i Tecnologia.

WORLD BANK (2008): «Development and Climate Change. A Strategic Framework for the World Bank Group». *Consultation Draft*, agosto 2008.

Yesuf, M. y G. Kohlin (2008): «Market Imperfections and Farm Technology Adoption Decisions: A Case Study from the Highlands of Ethiopia», *RFF Discussion Paper*, EfD 08-04.

Yohe, G. W.; Tol, R. S. J.; Richels, R. G. y G. Blanford (2008): «Global Warming», en *Copenhagen Consensus 2008 Challenge Paper*, abril.

Otras colecciones del Servicio de Estudios

Todas las publicaciones están disponibles en Internet:
www.laCaixa.es/estudios
Correo electrónico:
publicacionesestudios@lacaixa.es

INFORME MENSUAL
Informe sobre la situación económica

THE SPANISH ECONOMY MONTHLY REPORT
Versión inglesa del Informe Mensual

ANUARIO ECONÓMICO DE ESPAÑA 2008
Selección de indicadores
Edición completa disponible en Internet

COLECCIÓN COMUNIDADES AUTÓNOMAS

1. La economía de Galicia: diagnóstico estratégico

2. La economía de Illes Balears: diagnóstico estratégico

CÁTEDRA "la Caixa" ECONOMÍA Y SOCIEDAD

1. El tiempo que llega. Once miradas desde España José Luis García Delgado (editor)

DOCUMENTOS DE ECONOMÍA "la Caixa"

1. El problema de la productividad en España: ¿Cuál es el papel de la regulación? Jordi Gual, Sandra Jódar Rosell y Àlex Ruiz Posino

2. El empleo a partir de los 55 años Maria Gutiérrez-Domènech

3. *Offshoring* y deslocalización: nuevas tendencies de la economía internacional Claudia Canals

4. China: ¿Cuál es el potencial de comercio con España? Marta Noguer

5. La sostenibilidad del déficit exterior de Estados Unidos Enric Fernández

6. El tiempo con los hijos y la actividad laboral de los padres Maria Gutiérrez-Domènech

7. La inversión extranjera directa en España: ¿qué podemos aprender del tigre celta? Claudia Canals y Marta Noguer

8. Telecomunicaciones: ¿ante una nueva etapa de fusiones? Jordi Gual y Sandra Jódar-Rosell

9. El enigmático mundo de los *hedge funds:* beneficios y riesgos Marta Noguer

10. Luces y sombras de la competitividad exterior de España Claudia Canals y Enric Fernández

11. ¿Cuánto cuesta ir al trabajo? El coste en tiempo y en dinero Maria Gutiérrez-Domènech

12. Consecuencias económicas de los ciclos del precio de la vivienda Oriol Aspachs-Bracons

13. Ayudas públicas en el sector bancario: ¿rescate de unos, perjuicio de otros? Sandra Jódar-Rosell y Jordi Gual

14. El carácter procíclico del sistema financiero Jordi Gual

"la Caixa" ECONOMIC PAPERS

1. Vertical industrial policy in the EU: An empirical analysis of the effectiveness of state aid Jordi Gual and Sandra Jódar-Rosell

2. Explaining Inflation Differentials between Spain and the Euro Area Pau Rabanal

3. A Value Chain Analysis of Foreign Direct Investment Claudia Canals and Marta Noguer

4. Time to Rethink Merger Policy? Jordi Gual

5. Integrating regulated network markets in Europe Jordi Gual

6. Should the ECB target employment? Pau Rabanal

"la Caixa" WORKING PAPERS

Disponible sólo en formato electrónico en: www.laCaixa.es/estudios

06/2006. Inflation Differentials in a Currency Union: A DSGE Perspective Pau Rabanal

01/2007. Parental Employment and Time with Children in Spain Maria Gutiérrez-Domènech

02/2007. Trade Patterns, Trade Balances and Idiosyncratic Shocks C. Canals, X. Gabaix, J. Vilarrubia and D. E. Weinstein

03/2007. Non Tradable Goods and The Real Exchange Rate Pau Rabanal and Vicente Tuesta

04/2007. European Telecoms Regulation: Past Performance and Prospects Jordi Gual and Sandra Jódar-Rosell

01/2008. Offshoring and wage inequality in the UK, 1992-2004 Claudia Canals

02/2008. The Effects of Housing Prices and Monetary Policy in a Currency Union Oriol Aspachs and Pau Rabanal

03/2008. Cointegrated TFP Processes and International Business Cycles P. Rabanal, J. F. Rubio-Ramírez and V. Tuesta

01/2009. What Matters for Education? Evidence for Catalonia Maria Gutiérrez-Domènech and Alícia Adserà

Consejo Asesor

El Consejo Asesor orienta el Servicio de Estudios en sus tareas de análisis de las políticas económicas y sociales que puedan ser más eficaces para el progreso de la sociedad española y europea. Forman parte del Consejo:

- Carles Boix
  University of Princeton
- Antonio Ciccone
  ICREA-Universitat Pompeu Fabra
- Juan José Dolado
  Universidad Carlos III
- Jordi Galí
  CREI y Universitat Pompeu Fabra
- Mauro F. Guillén
  Wharton School, University of Pennsylvania
- Inés Macho-Stadler
  Universitat Autònoma de Barcelona
- Víctor Pérez-Díaz
  Universidad Complutense
- Ginés de Rus
  Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
- Robert Tornabell
  ESADE Business School
- Xavier Vives
  IESE Business School y UPF

Dirección

- Jordi Gual
  Subirector General de "la Caixa"

Diseño, maquetación
e impresión: www.cege.es
D.L.: B. 16572-2009
ISBN: 978-84-691-9355-6

Últimos números publicados en la Colección Estudios Económicos

25. QUIEBRAS Y SUSPENSIONES DE PAGOS: CLAVES PARA LA REFORMA CONCURSAL
Fernando Cerdá Albero e Ignacio Sancho Gargallo

26. EL EURO: BALANCE DE LOS TRES PRIMEROS AÑOS
Joan Elias (director), Pere Miret, Àlex Ruiz y Valentí Sabaté

27. LA AMPLIACIÓN DE LA UNIÓN EUROPEA. EFECTOS SOBRE LA ECONOMÍA ESPAÑOLA
Carmela Martín, José Antonio Herce, Simón Sosvilla-Rivero y Francisco J. Velázquez

28. INTERNET: SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS
Fèlix Badia

29. EL GOBIERNO DE LA EMPRESA
Vicente Salas Fumás

30. LA BANCA EN LATINOAMÉRICA. REFORMAS RECIENTES Y PERSPECTIVAS
Josep M. Liso, Montserrat Soler, Montserrat Manero y Maria Pilar Buil

31. LOS NUEVOS INSTRUMENTOS DE LA GESTIÓN PÚBLICA
Guillem López Casasnovas (director), Jaume Puig-Junoy, Juan José Ganuza e Ivan Planas Miret

32. LA COMPETITIVIDAD DE LA ECONOMÍA ESPAÑOLA: INFLACIÓN, PRODUCTIVIDAD Y ESPECIALIZACIÓN
Francisco Pérez (director), Pilar Chorén, Francisco J. Goerlich, Matilde Mas, Juliette Milgram, Juan Carlos Robledo, Ángel Soler, Lorenzo Serrano, Deniz Ünal-Kesenci, Ezequiel Uriel

33. LA CREACIÓN DE EMPRESAS. UN ENFOQUE GERENCIAL
Josep Maria Veciana

34. POLÍTICA AGRARIA COMÚN: BALANCE Y PERSPECTIVAS
José Luis García Delgado y M. Josefa García Grande (directores)

35. LA GENERACIÓN DE LA TRANSICIÓN: ENTRE EL TRABAJO Y LA JUBILACIÓN
Víctor Pérez-Díaz y Juan Carlos Rodríguez

36. EL CAMBIO CLIMÁTICO: ANÁLISIS Y POLÍTICA ECONÓMICA. UNA INTRODUCCIÓN
Josep M. Vegara (director), Isabel Busom, Montserrat Colldeforns, Ana Isabel Guerra y Ferran Sancho

El primer objetivo de este nuevo volumen de la Colección Estudios Económicos, que edita el Servicio de Estudios de "la Caixa", es exponer los principales problemas que es preciso afrontar para tratar las cuestiones fundamentales asociadas con el análisis y la política económica del cambio climático. Un segundo objetivo consiste en facilitar los instrumentos conceptuales necesarios. El tercer objetivo del libro es explicar las aportaciones del análisis económico con relación al cambio climático; está centrado en el análisis económico convencional, neoclásico. ¿Qué enfoques del análisis económico son los más relevantes para entender los diferentes aspectos que relacionan la economía y el cambio climático? ¿Cuál es su nivel de adaptación a los problemas y cuáles son las insuficiencias?

El trabajo no tiene la pretensión de hacer un panorama exhaustivo de las contribuciones del análisis económico a los diferentes aspectos del cambio climático. Por su parte, la política económica está reflejada en términos del análisis de los instrumentos existentes, sin entrar –pero– en un relato sistemático de las políticas concretas vigentes en las diversas instituciones.

El libro está escrito desde una posición que comparte las diagnosis y las previsiones realizadas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

0015211460 42

Publicación impresa en papel y cartulina ecológicos

Edición electrónica disponible en Internet:
www.laCaixa.es/estudios