

# LA ECONOMÍA DE LA POLÍTICA DEL CLIMA\*

**Charles D. Kolstad  
Michael Toman**

*Universidad de California, Santa Bárbara y Recursos para el Futuro*

La economía ha desempeñado una función cada vez más importante en la configuración de la política, tanto en Estados Unidos como en otras partes. En este trabajo se exponen, en primer lugar, algunas de las aportaciones del enfoque económico respecto al análisis, la comprensión y el planteamiento de soluciones al problema del cambio climático. A continuación, se abordan las cuestiones relacionadas con el diseño de instrumentos reguladores para controlar el problema. El trabajo se cierra con el análisis de la economía política del control de los gases de efecto invernadero a escala internacional.

*Palabras clave:* cambio climático, diseño de la política del clima, evaluación integral, coordinación de la política medioambiental.

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos medioambientales de mayor relevancia durante la pasada década ha sido el calentamiento global del planeta o, de forma más general, el cambio climático causado por la actividad humana, en el que se incluye la emisión de gases de efecto invernadero. La economía ha desempeñado una función destacada en los debates políticos sobre el clima que han tenido lugar en Estados Unidos y en otras partes del mundo, una función más importante que la que ha desempeñado respecto a otros problemas medioambientales.

---

(\*) La presente traducción se basa en el Discussion Paper 00-40 de Resources for the Future, titulado *The Economics of Climate Policy*. Una versión revisada de este trabajo se publicará en inglés en el año 2002 con el título "Economics of Climate Change" en Mäler, K. G. y Vincent, J. R. (Eds.): *Handbook of Environmental Economics*, North Holland. La presente traducción se realiza con permiso de los autores y de *Elsevier Science* y se debe a Eva de Paz y Ana Viñuela.

En este trabajo se exponen algunas de las aportaciones del enfoque económico respecto al análisis, la comprensión y la búsqueda de soluciones para el problema del cambio climático<sup>1</sup>. Dado que se ha escrito mucho sobre este tema, en esta revisión sólo se resaltarán algunos de los resultados más notables de la literatura existente a este respecto.

En la siguiente sección, trataremos el problema del cambio climático desde un punto de vista general, centrándonos en las dimensiones físicas y tecnológicas del problema y en sus soluciones. En la sección 3 revisaremos los aspectos relacionados con las estimaciones de los costes y los beneficios que se derivarían del control de las emisiones contaminantes causantes del cambio climático. A continuación, en la sección 4, nos centraremos en el análisis económico del problema, presentando un modelo analítico sencillo que muestra cómo se puede abordar la cuestión desde la perspectiva de la ciencia económica. En la sección 5 consideramos los aspectos relacionados con el diseño de los instrumentos de la política del cambio climático. Finalmente, en la sección 6 nos centramos en el problema de cómo se podrían establecer acuerdos internacionales sobre el cambio climático que fuesen viables.

## 2. PERSPECTIVA GENERAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO

En esta sección comenzamos con una breve introducción a la ciencia del cambio climático, abarcando tanto los cambios que tienen lugar en la atmósfera terrestre como en el sistema climático, y las consecuencias potenciales de dichos cambios. Acto seguido, revisamos las diferentes opciones disponibles para poder hacer frente a los riesgos planteados por el cambio climático. Concluimos esta sección con una breve exposición de las acciones realizadas a nivel internacional con el fin de mitigar las amenazas.

### 2.1. La naturaleza del desafío

La composición de la atmósfera terrestre –concretamente, la presencia natural del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y de vapor del agua– favorece la retención del calor como si de un invernadero se tratara. La composición de la atmósfera asegura que la Tierra es más cálida y húmeda que Marte, si bien no tanto como Venus.

Las actividades humanas también contribuyen al incremento de la concentración en la atmósfera de gases que absorben calor. El gas de efecto invernadero producido por el hombre que más abunda es el  $\text{CO}_2$ , emitido por la utilización de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural). Otros gases de efecto invernadero (entre los que se incluyen el metano ( $\text{CH}_4$ )<sup>2</sup>, los ahora prohibidos clorofluorocarbonos (CFCs) y los pro-

---

(1) Esta revisión se basa, en parte, en el trabajo de Shogren y Toman (2000).

(2) Las emisiones de metano inducidas por el hombre provienen de fugas en el suministro de gas natural, de algunas minas de carbón, de la descomposición que se produce en el campo y de fuentes agrícolas como arrozales y animales domésticos.

ductos que los sustituyen en la actualidad, además de los óxidos nitrosos asociados con el uso de fertilizantes), se emiten en menor volumen que el CO<sub>2</sub>, pero captan más calor por cada unidad del gas.

Los científicos están preocupados porque la acumulación de estos gases en la atmósfera ha causado el cambio climático y continuará haciéndolo.<sup>3</sup> El cambio climático es un hecho histórico, tal como lo muestra la sucesión de varios períodos glaciales. Sin embargo, parte de la polémica actual tiene que ver con el grado en el que la actividad humana es responsable de los cambios producidos en el sistema climático. A la vez que reconocen el gran desconocimiento existente sobre su naturaleza exacta y la intensidad de la relación entre las actividades humanas y el cambio climático, muchos científicos sostienen que los datos indican que existe un efecto producido por la actividad humana, que lleva a demasiadas emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero a la atmósfera.<sup>4</sup>

En parte, los científicos llegan a esta conclusión al observar dos tendencias: por un lado, los datos existentes respecto a la temperatura global del planeta muestran que ésta ha aumentado 5° Centígrados (1° Fahrenheit) durante los últimos 100 años; por otro lado, las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub> se han incrementado en torno a un 30% durante los últimos 200 años, básicamente desde el comienzo de la revolución industrial. Los científicos intentan recoger datos sobre las interacciones entre un complejo sistema climático dinámico y las actividades humanas que llevan a la emisión adicional de gases de efecto invernadero, desarrollando complicados modelos informáticos. Estos modelos muestran cómo podrían cambiar las condiciones climáticas futuras si, por ejemplo, se duplicara la concentración en la atmósfera de gases de efecto invernadero que había en la época preindustrial.

Algunos científicos ponen énfasis en que no se debe confundir la correlación con la causalidad. Además, también cuestionan que en el momento actual se cuente con la capacidad requerida para diferenciar los cambios producidos por el hombre de los derivados de la variabilidad natural. Aunque la causalidad entre las acciones humanas y el aumento de las temperaturas continúa siendo objeto de debate, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPPC) determinó en su Segundo Infor-

(3) El cambio climático no es lo mismo que las fluctuaciones que se observan en el clima de día en día o incluso entre un año y otro. Sin embargo, la naturaleza de estas fluctuaciones es uno de los aspectos que podrían verse afectados por el cambio climático.

(4) El primer volumen del Segundo Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPPC 1996a) proporciona un excelente resumen del grado de conocimiento sobre el cambio climático a partir de comienzo de los noventa. (El IPPC es un grupo de científicos –físicos, biólogos y científicos sociales– reunidos por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Meteorológica Mundial para evaluar el estado del conocimiento existente respecto al cambio climático y su impacto). Desde el Segundo Informe de Evaluación se ha llevado a cabo una enorme cantidad de investigación científica acerca de los procesos del cambio climático. El IPPC ha sido convocado para elaborar su Tercer Informe de Evaluación en el año 2001.

me de Evaluación que “... *the balance of the evidence* (la evidencia) sugiere una influencia humana apreciable sobre el clima global”.<sup>5</sup> Un reciente informe del Consejo Nacional de Investigaciones de los Estados Unidos (2000) indica que cada vez hay más datos que confirman la contribución humana al calentamiento global. Sin embargo, al mismo tiempo, el informe muestra que los científicos cada vez confían menos en las previsiones cuantitativas actuales del cambio climático.<sup>6</sup>

Los gases de efecto invernadero permanecen en la atmósfera durante cientos de años, en función del gas de que se trate, y su concentración depende de los perfiles de las emisiones a largo plazo; los cambios en las emisiones en uno u otro año tienen un efecto trivial en los niveles de concentración generales. Una reducción significativa de las emisiones en la actualidad no afectaría sustancialmente a las concentraciones que habría durante décadas e incluso más tiempo. Además, conforme pasa el tiempo, cambiarán los principales emisores de gases de efecto invernadero. En la actualidad, el mundo industrializado es el responsable de la mayor parte de las emisiones. Sin embargo, es probable que, a mediados del siglo XXI, los países en vías de desarrollo generen la mayor parte de las emisiones, debido al aumento de su población y de su actividad económica. Ambos factores afectan al modo en que se diseñan las políticas del clima, tal y como veremos posteriormente.

## 2.2. Las posibles consecuencias socioeconómicas y físicas del cambio climático

El riesgo de cambio climático no sólo depende de lo que ocurre en el clima, sino también de las consecuencias físicas y socioeconómicas de un clima cambiante. El cambio climático puede causar, entre otros efectos, los siguientes:

- Reducida productividad de los recursos que el hombre utiliza o extrae del entorno natural, que se manifiesta, por ejemplo, en un descenso de la producción agrícola y maderera y en unos recursos acuíferos cada vez más escasos.

- Daños en los entornos construidos por el hombre, tales como la inundación de las zonas costeras, debido al aumento del nivel del mar, la intrusión de agua salada en los sistemas de agua potable y los perjuicios provocados por un incremento del número de tormentas e inundaciones.

---

(5) La expresión “*balance of the evidence*” ha sido tomada del resumen realizado por los diseñadores de políticas del informe del IPCC (1996a) y ha generado polémica por sí misma. En el Capítulo 8 del informe se describen las principales incertidumbres existentes al respecto.

(6) Resulta especialmente enojosa la incapacidad de los modelos físicos para reflejar mejor: (i) el cambio climático a una escala menor que la continental, imposibilitando la evaluación de cambios regionales; (ii) en qué medida los contaminantes convencionales, tales como las minúsculas partículas de “aerosol”, contribuyen a la acumulación de gases de efecto invernadero al reflejar la luz del sol y (iii) cómo las actividades humanas pueden crear “sumideros de carbono”, capturando los gases de efecto invernadero en la biomasa, mediante, por ejemplo, la reforestación o su acumulación en el suelo.

- Riesgos para la vida y la salud, como más muertes producidas por olas de calor y una cada vez mayor incidencia de las enfermedades tropicales, que emigran hacia climas que antes eran más templados.

- Daños en los "recursos menos controlados", tales como las áreas desérticas, el hábitat natural de las especies en peligro de extinción o la biodiversidad. Por ejemplo, la subida del nivel del mar inundaría las zonas húmedas de la costa, mientras que la creciente aridez de las regiones del interior podría destruir los humedales.

Se considera que todos estos daños serían el resultado de cambios de larga duración en las concentraciones de gases de efecto invernadero, así como de una elevada velocidad del cambio climático. Es muy probable que pasen décadas, o incluso más tiempo, antes de que los efectos negativos del cambio climático se materialicen. Además, las probabilidades de que estos acontecimientos ocurran son inciertas y no se llegan a comprender del todo. Las estimaciones cuantitativas de los impactos físicos son escasas y los intervalos de confianza son incluso más difíciles de delimitar. Por ejemplo, para el caso de la subida del nivel del mar causada por el deshielo de los polos, las estimaciones actuales de dicha subida varían en un espectro muy amplio.<sup>7</sup> Los riesgos de que se produzcan hechos catastróficos, tales como desplazamientos de la corriente del golfo o un desplome repentino de los casquetes polares son incluso más difíciles de estimar.

A los poco conocidos riesgos físicos hay que añadir las inciertas consecuencias socioeconómicas. Así, hasta cierto punto, es posible realizar estimaciones de los impactos potenciales en los bienes y servicios de mercado, tales como los productos agrícolas, al menos en los países desarrollados. Sin embargo, las estimaciones monetarias para los bienes no comerciables, como la salud humana o del ecosistema, provocan un serio debate.

Gran parte del debate sobre el cambio climático se centra en las consecuencias a largo plazo de la modificación del clima, dedicándosele una menor atención al ritmo con que se produce dicho cambio. Para ilustrar este punto, supóngase que la Tierra es extremadamente resistente y que, con el paso del tiempo, a largo plazo, puede adaptarse completamente a cualquier cambio en el clima. Sin embargo, los cambios a los que hay que adaptarse a medida que el clima cambia pueden ser muy costosos. Si la isla de Manhattan se inundase, con el tiempo la ciudad de Nueva York se reubicaría en las regiones del interior y, si volviéramos a visitarla dentro de un milenio o dos, es posible que nos encontráramos con que los ciudadanos de Nueva York se hubieran adaptado completamente. No obs-

---

(7) Los escenarios presentados en el IPCC (1996a) indican que, en caso de que se duplicara la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, el nivel del mar podría aumentar entre menos de 20 cm y casi 100 cm para el año 2100. Este resultado refleja, en parte, la incertidumbre que existe en cuanto al modo en que la temperatura responderá ante el aumento de los gases de efecto invernadero y, en parte, al modo en que los océanos y los casquetes polares reaccionarán ante el cambio en la temperatura.

tante, las consecuencias de una inundación repentina de la isla de Manhattan son enormes.

Además, las estimaciones actuales del riesgo se centran casi exclusivamente en los países industrializados como Estados Unidos, pero se sabe mucho menos de las consecuencias socioeconómicas negativas en los países más pobres, a pesar de que se puede demostrar que estas sociedades son más vulnerables al cambio climático. Cabe presumir que el crecimiento económico reducirá parte de esta vulnerabilidad al cambio climático, como por ejemplo la relacionada con las amenazas que se cierren sobre la producción agrícola o a los servicios sanitarios básicos. Sin embargo, a largo plazo estaría en peligro el crecimiento económico en aquellas áreas que dependieran de recursos naturales y ecológicos que se hubieran visto afectados negativamente por el cambio climático. Las estadísticas globales ocultan una considerable variación regional, en la que unas áreas podrían beneficiarse del cambio climático mientras que otras se verían perjudicadas.<sup>8</sup> Además, al ponderar las consecuencias del cambio climático es importante tener en cuenta también el hecho de que los seres humanos se adaptan al riesgo con el fin de reducir las pérdidas. Volveremos sobre este punto más adelante.

A la hora de elaborar una política climática de reducción de los riesgos que sea viable y efectiva, los diseñadores de políticas deben comparar las imprecisas estimaciones de los riesgos y beneficios de llevar a cabo alguna acción, así como del potencial de adaptación, con el incierto pero también importante coste de reducir la emisión de los gases de efecto invernadero. Al igual que los costes del cambio climático son importantes por sí mismos, los costes de la mitigación también son relevantes. Es necesario tener en cuenta las consecuencias que se derivan de comprometer determinados recursos para reducir el riesgo del cambio climático, unos recursos que, de otro modo, se utilizarían para satisfacer otros intereses del hombre, así como medir las consecuencias de diferentes cambios climáticos.

### *2.3. Mitigación y adaptación*

Indudablemente, se pueden hacer muchas cosas para “gestionar” el problema del cambio climático, algunas de las cuales deben ser realizadas por los gobiernos, por ejemplo ordenando reducciones en las emisiones. En otros casos, es preferible que sean llevadas a cabo por agentes privados que actúan por su propia cuenta, por ejemplo adaptando sus técnicas de producción a un clima diferente. De hecho, existe una gran variedad respecto al tipo de cosas que se pueden hacer para reducir los efectos nocivos del cambio climático. En esta sección, consideramos cuatro tipos de acciones: el control de las emisiones, la captura del carbono, la geingeniería y la adaptación.<sup>9</sup>

---

(8) En IPCC (1998) se presenta una revisión del estado actual del conocimiento respecto a los impactos regionales.

Como hemos visto anteriormente, el cambio climático puede traer consigo una miríada de efectos que van desde el cambio de la temperatura y las precipitaciones medias, la alteración de la variabilidad en la climatología (tormentas más o menos frecuentes) y el cambio en el nivel del mar, hasta efectos más sutiles como invasiones de plagas y enfermedades, en especial plagas de insectos cuyos territorios cambian (por ejemplo, el mosquito anopheles, que transmite la malaria). El modo en que el cambio climático se manifiesta es obviamente importante a la hora de caracterizar aspectos tales como la adaptación y la mitigación.

#### *a) El control de las emisiones*

La forma más obvia de controlar el cambio climático es reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero que se emiten a la atmósfera, en especial el CO<sub>2</sub> proveniente de la quema de combustibles fósiles. Desde un punto de vista tecnológico, este objetivo exige bien reducir el uso de combustibles ricos en carbono, o bien utilizar una tecnología específica para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero respecto a los niveles que, de no actuar, se estarían alcanzando; de forma similar a la que actúan los filtros que eliminan las partículas de las corrientes de humo. Aunque la eliminación de los gases de efecto invernadero de las corrientes de emisiones es técnicamente factible, a corto o medio plazo es probable que sea mucho menos importante que la derivada de la reducción en el uso de combustibles ricos en carbono. Esto se debe al volumen total de las emisiones de carbono y al problema que supone el que no se sepa qué se puede hacer con ellas, una vez que han sido separadas de la corriente de residuos.

Otra característica del control de las emisiones es que, en general, dicho control debe ser impuesto por el gobierno, cosa que no ocurre con algunas de las demás estrategias de mitigación y adaptación. Los gobiernos deben establecer los requisitos y/o los incentivos para que las personas, las empresas y los entes públicos reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero y para que adopten estrategias que sirvan para reducir el coste que supone el controlar las emisiones de estos gases. Más adelante se hará referencia a las políticas de las que se dispone para lograr este objetivo.

#### *b) La captura*

Aunque restringir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera es un objetivo importante, la atmósfera ya cuenta con grandes cantidades de estos gases, en especial de CO<sub>2</sub>. Otra estrategia para controlar el problema de los gases de efecto invernadero es almacenar el CO<sub>2</sub> (o

---

(9) Hay otras formas de clasificar las medidas que se pueden tomar para controlar el cambio climático. La Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos (1992) las clasifica desde una perspectiva temporal en medidas de mitigación, aquellas que pretenden controlar el problema antes de que se agraven sus efectos, y medidas de adaptación, aquellas que intentan reducir los impactos negativos del cambio climático. El IPCC (1996b) no distingue entre adaptación y ajuste y, es más, define la adaptabilidad como el grado en que es posible realizar ajustes. Por supuesto, lo que importa son los conceptos, no la semántica.

simplemente carbono) que se encuentra en la atmósfera en algún lugar fuera de la misma. Esta práctica se denomina captura (*sequestration*).<sup>10</sup>

La forma más común y obvia de captura es el carbono que se almacena en las plantas, especialmente en los árboles (Sedjo et al., 1997), aunque existen problemas con la captura en los mismos. Las zonas boscosas que existen en el mundo están siendo exterminadas, con lo que se está liberando a la atmósfera el carbono previamente almacenado.<sup>11</sup> Además, la tierra escasea cada vez más debido a la presión del aumento de la población, y para que haya captura en los árboles se necesita tierra. Otro problema es que el proceso de captura del carbono concluye cuando el árbol alcanza la madurez. Así, existe un límite respecto a la cantidad de carbono que se puede capturar plantando árboles. Respecto a este problema, algunos investigadores han propuesto la "conservación" de los árboles cortados, almacenándolos quizá en el fondo del frío océano. Otro problema relacionado con la captura es que el proceso se puede invertir con facilidad. Un bosque que ha servido para capturar carbono puede talarse rápidamente, o quemarse, invirtiendo la captura. Por esta razón, algunos de los partidarios de la reducción de los gases de efecto invernadero no confían en la captura como medida de control.

Hay otros lugares, además de en los árboles, donde se puede capturar el carbono. Existen diversas prácticas agrícolas que pueden aumentar el almacenamiento del carbono en el suelo a través de las raíces de las plantas. Además, una gran cantidad de CO<sub>2</sub> (y otros gases) se disuelve en los océanos. Los seres vivos microscópicos oceánicos (el fitoplancton) incorporan carbono a sus esqueletos y a sus conchas, que posteriormente se depositan en el fondo oceánico. En principio, se podría explotar este potencial fomentando el crecimiento de estos microorganismos oceánicos, "fertilizando" el océano con otros nutrientes necesarios como pequeñas cantidades de hierro, que estimulan la fotosíntesis y por lo tanto hacen crecer el fitoplancton (Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos, 1992). Sin embargo, no se conocen adecuadamente los efectos que esta forma de actuar puede tener sobre la ecología marina.

Al igual que en la mitigación, la captura requiere la intervención activa del gobierno. La captura no avanzará más allá de las tendencias habituales de aceptación de las propuestas ecológicas si no es con el incentivo o la dirección gubernamental.

### *c) La geoingeniería*

La geoingeniería es el mundo de los grandes pensadores. En vez de controlar la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmós-

---

(10) En algunos casos, se entiende que la captura incluye la extracción y el almacenamiento de gases de efecto invernadero procedentes de corrientes de gas residual (que nosotros denominamos mitigación), así como el almacenamiento biológico, que es el caso que nos ocupa.

(11) Por supuesto, cuando se corta un árbol, el carbono que contiene no se libera inmediatamente a la atmósfera. Esta liberación requiere bien la combustión de la madera o bien su descomposición.

fera, la geoingeniería propondría llevar a cabo una ingeniería a gran escala sobre nuestro medio ambiente para reducir directamente los impactos del cambio climático.<sup>12</sup> La gama de posibilidades es muy grande.

En diversos enfoques de geoingeniería se ha planteado la posibilidad de reducir el nivel del cambio climático, en particular, mediante el aumento de la reflectividad de la tierra. Tal y como se describe en Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos (1992), existen muchas opciones para lograr este objetivo, como por ejemplo añadiendo polvo a la estratosfera; colocando espejos en el espacio, inmediatamente después de la atmósfera; haciendo sobrevolar grandes globos a una gran altura en la atmósfera; pintando de blanco los tejados de las casas ó utilizando poderosos rayos láser para descomponer los CFCs de la estratosfera (los CFCs son potentes gases de efecto invernadero). Algunas de estas ideas parecen ser factibles, aunque no dejan de ser ideas. La geoingeniería necesitaría un mayor apoyo de las políticas públicas, incluso en mayor medida que para la mitigación y la captura.

#### *d) La adaptación*

Los tres enfoques que acabamos de ver –el control de las emisiones, la captura y la geoingeniería– se centran en la naturaleza de bien público que posee el clima global; de ahí que dichas actividades hayan sido iniciadas por los gobiernos en su calidad de proveedores de bienes públicos. A continuación nos centraremos en acciones que los agentes individuales, así como los gobiernos, llevan a cabo para reducir el impacto del cambio climático.

Claramente los agricultores pueden y desean modificar sus prácticas habituales al observar o prever el cambio climático. La actividad agraria se puede desarrollar en climas muy diferentes en todo el mundo, de modo que no es necesario que exista homogeneidad climática. Así, a nivel muy básico, cuando en una zona de la tierra el clima cambia terminará pareciéndose al de otra zona del mundo, con lo que se adoptarán sus correspondientes técnicas agrarias. Esta observación es la esencia del análisis de Mendelsohn et al. (1994) respecto a los efectos del cambio de los climas de Estados Unidos sobre la productividad agrícola (utilizando el valor de la tierra).

El tema de la adaptación de los agricultores ha sido investigado y discutido ampliamente (véase Schimmelpfennig et al., 1996; Rosenberg, 1993). Aunque no se ha logrado ningún consenso a este respecto, la conclusión principal que se deduce de esta literatura es que a una escala global, e incluso regional, la agricultura puede adaptarse con gran facilidad si los agricultores cuentan con la capacidad de anticipación y reacción ante los cambios esperados. Esta conclusión es reforzada por la probabilidad de que investigaciones futuras logren incrementar las posibilidades

---

(12) La plantación masiva de árboles o los proyectos de fertilización de los océanos, mencionados en el epígrafe sobre la captura, podrían incluirse dentro de la geoingeniería.

de adaptación (por ejemplo, nuevos tipos de cultivos más resistentes a las sequías). Así, el cambio climático no representará ninguna amenaza significativa para el suministro alimentario. Sin embargo, sí podría ocasionar problemas locales, especialmente durante el período de transición hacia el nuevo clima. Este problema podría complicar la situación en algunas áreas, en especial en los países en vías de desarrollo, donde la capacidad de adaptación es más limitada y donde la agricultura (tanto de mercado como de subsistencia) constituye una parte fundamental de la actividad económica.

La adaptación de los sistemas forestales al cambio climático también ha sido objeto de amplios estudios (véase, por ejemplo, Sohngen y Mendelsohn, 1999). Una vez más, la conclusión principal es que, en general, a largo plazo el impacto en los mercados mundiales de la madera es muy probable que sea moderado (teniendo en cuenta la recuperación de las plantaciones en los casos de mortalidad masiva, la regeneración de diferentes bosques naturales, y la adaptación mediante técnicas avanzadas de plantación y de cultivo). Como en el caso anterior, los costes de transición pueden ser más relevantes en algunas áreas y el impacto sobre los recursos forestales no comercializables, en especial la biodiversidad, pueden ser más problemáticos.

Algo similar se puede decir respecto a los recursos acuíferos. La modificación del perfil de las precipitaciones ocasionará problemas locales a los que será posible adaptarse, aunque sea a cierto coste. Así, los efectos dependerán de la severidad de los impactos locales, que siguen siendo inciertos, y de si se cuenta con más o menos capacidad de adaptación, la cual podría causar problemas en ciertas zonas (una vez más, nos referimos especialmente a los países en vías de desarrollo; Frederick et al., 1997).

Se tiene menos conocimiento respecto a la capacidad de adaptación al cambio climático de otros sectores de la economía. Nordhaus (1997) sugiere que la mayoría de los sectores no agrícolas de las economías desarrolladas no dependen especialmente del clima o del tiempo. Mendelsohn (1999), en su revisión de la vulnerabilidad al cambio climático, llega a una conclusión similar. No obstante, esta conclusión se basa principalmente en las consecuencias de un aumento en la temperatura media a largo plazo y de los efectos a él asociados. Sin duda, una mayor frecuencia de un tiempo devastador (como los huracanes) puede tener efectos más amplios, incluso para un sector que, en general, no dependa de la climatología. Por ejemplo, el sector de la energía eléctrica puede hacer frente sin problemas a los cambios en la temperatura media, pero las tormentas pueden causarle estragos, concretamente en lo que respecta a los sistemas de distribución y transmisión.

Los ecosistemas naturales también se ven afectados por el cambio climático y, en la medida en que los ecosistemas influyen de forma tangible o intangible sobre el ser humano, necesitamos conocer cual es su capacidad de adaptación. Por ejemplo, en las zonas húmedas o en las áreas desérticas esta capacidad es impredecible. Existe también bastante incertidumbre respecto al impacto del cambio climático sobre la salud huma-

na (una climatología más extrema, más enfermedades tropicales), así como de la capacidad de adaptación a esos impactos.<sup>13</sup>

Los costes de adaptación de un clima a otro podrían ser importantes y dependen especialmente de la velocidad a la que se produce el cambio climático, así como de la resistencia de los sistemas naturales afectados. Según vaya cambiando el clima, es previsible que se produzcan dos tipos principales de ajustes. Uno de ellos tiene que ver con el aprendizaje de los agentes, con el fin de enfrentarse a un nuevo medioambiente. Esta adaptación podrá resultar fácil o difícil, pero será complicada por la existencia de incertidumbre acerca del cambio climático, un aspecto que abordaremos más adelante. El otro efecto se asocia con el reajuste del stock de capital, como las construcciones y la maquinaria. Lógicamente, si se eleva el nivel del mar 1 mm cada año en Manhattan, será más fácil adaptarse que si el ritmo de crecimiento fuera de 100 mm al año. En el primer caso, el capital tiene tiempo para depreciarse, mientras que en el segundo el capital tendría que ser abandonado.

En general, a la hora de reducir el riesgo neto del cambio climático, la capacidad de adaptación es más relevante en aquellas situaciones en las que el control humano sobre los sistemas naturales y la infraestructura es mayor. Por ejemplo, existe mayor capacidad de adaptación en las actividades agrícolas que en la conservación de las áreas desérticas. La capacidad de adaptación también depende de la riqueza de una sociedad y de la presencia de infraestructuras sociales, tales como los sistemas educativo y de salud pública. Así, es muy probable que el impacto del cambio climático sobre la salud humana sea menor en los países más ricos que en las sociedades más pobres, al contar estas últimas con menos infraestructuras.

#### *2.4. La política internacional respecto al cambio climático*

En el cuadro 1 se recogen algunos de los hitos en la evolución de la política sobre el cambio climático. La negociación de la Convención Marco sobre el Cambio Climático en 1992 fue un momento decisivo en este proceso.<sup>14</sup> El Artículo 2 de la Convención indica que el objetivo es estabilizar las concentraciones en un período de tiempo tal que evite daños humanos "peligrosos" al ecosistema.

El Artículo 3 indica que una reducción preventiva del riesgo debería lograrse teniendo en cuenta la equidad, tanto a lo largo del tiempo como en función de los niveles de riqueza, tal y como se ha expresado en el concepto de "responsabilidades comunes, pero diferenciadas" ("*common but differentiated responsibilities*"). El Artículo 4 establece que las naciones deberían cooperar para mejorar la adaptación del ser humano y la mitigación del cambio climático mediante ayudas financieras y tecnologías de bajos niveles de emisión. Los Artículos 3 y 4 también se refieren a la utilización de medidas de respuesta rentables.

(13) Para una discusión más amplia sobre las posibilidades de adaptación, véase Smith et al. (1996), Pielke (1998) y Dane y Shogren (2000).

(14) Para acceder al texto de la Convención y a los documentos posteriores (incluyendo el Protocolo de Kioto, sobre el que trataremos más adelante), véase [www.unfccc.de](http://www.unfccc.de).

### Cuadro 1 RESUMEN DE LOS ACONTECIMIENTOS CLAVE DE LA POLÍTICA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

1979	Primera Conferencia Mundial sobre el Clima.
1990	Primer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC); Primera evidencia empírica respecto a que las actividades humanas podrían estar afectando al clima, si bien la incertidumbre es considerable.
1990	Segunda Conferencia Mundial sobre el Clima. Se acuerda negociar un "tratado marco".
1992	Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas, establecida en la Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas (la "Cumbre de la Tierra"), Río de Janeiro. Los países desarrollados del "Anexo I" se comprometen a reducir el nivel de emisiones, de tal manera que en el año 2000 estas se sitúen en el nivel del año 1990. Estados Unidos ratifica la Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas ese mismo año.
1993	La Administración Clinton publica su "Plan de Acción sobre el Cambio Climático", un conjunto de programas, en gran medida voluntarios, de reducción de emisiones.
1995	Segundo Informe de Evaluación (publicado en 1996); una convicción más firme respecto a que las actividades humanas podrían estar afectando negativamente al clima.
1995	"Mandato de Berlín", desarrollado en la primera Conferencia de las Partes de la Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas, para negociar objetivos de obligado cumplimiento y calendarios, con el fin de limitar las emisiones de los países del Anexo I
1997	La tercera Conferencia de las Partes, celebrada en Kioto (Japón), lleva al "Protocolo de Kioto". Se acuerda que, voluntariamente, en el período 2008-2012, los países del Anexo I –o Anexo B– deberán haber reducido sus emisiones un promedio del 5% respecto a las de 1990, utilizando "mecanismos de flexibilidad" (incluyendo el comercio de cuotas de emisión). No se llega a ningún compromiso respecto a la limitación de las emisiones de los países en vías de desarrollo.
1997	El Senado de Estados Unidos aprueba la resolución Byrd-Hagel 95-0, en virtud de la cual Estados Unidos no debería aceptar ningún acuerdo climático que no implicara sacrificios equivalentes para todos los participantes; además, la Administración debe justificar cualquier propuesta de ratificación del Protocolo de Kioto con un análisis de los costes y los beneficios.
1998	En la cuarta Conferencia de las Partes, celebrada en Buenos Aires (Argentina), se insiste en la necesidad de hacer operativos los "mecanismos de flexibilidad" del Protocolo de Kioto; comienza el Tercer Informe de Evaluación del IPCC
1999	En la quinta Conferencia de las Partes, celebrada en Bonn (Alemania), se continúa insistiendo en la necesidad de concretar los "mecanismos de flexibilidad".

Fuentes: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente ([www.unep.ch/iucc/fact17.html](http://www.unep.ch/iucc/fact17.html)); Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático ([www.ipcc.ch/activity/act.htm](http://www.ipcc.ch/activity/act.htm)); Secretariado de la Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas ([www.unfccc.de/text/resource/index.html](http://www.unfccc.de/text/resource/index.html)).

El Protocolo de Kioto de 1997 de la Convención Marco es el siguiente hito fundamental. El Protocolo hace constar cómo los países industrializados del "Anexo B" (conocidos en la Convención como países del "Anexo I") se comprometieron a imponer legalmente la reducción de sus emisiones en el período 2008-2012, de tal manera que el nivel de emisiones se reduciría en promedio un 5% respecto a las de 1990.<sup>15</sup> Dado el crecimiento que habrá entre 1990 y 2010 en las emisiones de Estados Unidos si todo sigue igual, las reducciones reales que se precisan para cumplir con el Protocolo son sustanciales (del orden de un tercio de lo que, de otro modo, prevalecería en Estados Unidos). En el Protocolo no se establece ningún objetivo cuantitativo para las emisiones de los países en vías de desarrollo. En otras palabras, se adoptó un enfoque "intenso, y posteriormente extenso" ("*deep, then broad*"), es decir, unos pocos países realizarían recortes significativos en una primera etapa, con la esperanza de que la participación aumentase más tarde, en lugar de una estrategia "extensa, y posteriormente intensa" promovida por muchos críticos de Kioto.<sup>16</sup>

El Protocolo de Kioto incluye varios mecanismos "de flexibilidad" que confieren a las naciones cierta libertad en cuanto al modo en que van a cumplir sus objetivos y calendarios. Los detalles concretos respecto a cómo funcionarían estos mecanismos se dejaron, en su mayor parte, para futuras negociaciones. Cada uno de los países incluidos en el Anexo B tiene libertad para lograr sus objetivos mediante cualquier política nacional plausible que deseen utilizar; no es necesario que las políticas nacionales estén coordinadas. El Protocolo permite también que haya localización internacional de dicha flexibilidad en el sentido de que las naciones pueden reducir las emisiones mediante diferentes formas de comercio internacional de cuotas de emisión. Estas opciones se verán con más detalle en la sección 5. Además, el Protocolo confiere también flexibilidad en cuanto a que se pueden lograr los objetivos reduciendo las emisiones de cualquiera de seis diferentes gases, no sólo de CO<sub>2</sub>, así como mediante la captura de carbono utilizando "sumideros" como, por ejemplo, los bosques. Los gases distintos del CO<sub>2</sub> se comparan con éste según factores de equivalencia de "potencial de calentamiento global", los cuales

---

(15) Los países del Anexo I figuran en una lista en un apéndice (Anexo I) de la Convención Marco. En el Protocolo de Kioto, la lista que incluye a dichas naciones se encuentra en el Anexo B. Los objetivos acordados en Kioto fueron diferentes para cada país, acordándose una reducción del 7% en el caso de Estados Unidos, mientras que para los países europeos occidentales se establecía un 8% en conjunto (dividido de forma desigual entre los miembros de la Unión Europea en negociaciones posteriores), y Japón aceptaba una reducción menos severa del 6%. Se estipularon condiciones especiales respecto a las obligaciones de los países industrializados de Europa Central y del Este y de la antigua Unión Soviética, cuyas emisiones ya se encuentran por debajo de los niveles de 1990. El acuerdo se complica aún más por el hecho de que también "cuentan" las reducciones en otra serie de gases de efecto invernadero diferentes del CO<sub>2</sub>. Aunque no llevo a concretarse, también se consideró la posibilidad de captura de carbono en la biomasa (es decir, el aumento de la cubierta forestal).

(16) Para una crítica del carácter "intenso y posteriormente extenso" del Protocolo de Kioto, véase Jacoby et al. (1998) y Shogren (1999). Volveremos sobre este asunto en la sección 6.

reflejan las propiedades para atrapar el calor que poseen los diferentes gases en la atmósfera.<sup>17</sup>

El debate internacional continuó en las reuniones posteriores a Kioto, especialmente en lo relacionado con los fundamentos técnicos, legales y morales de los mecanismos de flexibilidad propuestos. Este debate reveló la existencia de acusadas diferencias de opinión entre Estados Unidos –junto con otros países industrializados grandes consumidores de energía– por un lado, y la Unión Europea y muchos países en vías de desarrollo por el otro. La discusión se centraba en si el grado de confianza depositado en el sistema de comercio internacional de cuotas con el fin de lograr reducir el uso de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> es suficiente como para sustituir, o simplemente complementar, los esfuerzos nacionales. Mientras que las diferencias empiezan a resolverse, el destino final de los mecanismos de flexibilidad –y del mismo Protocolo– todavía no está claro.

### 3. LOS BENEFICIOS Y LOS COSTES DEL CONTROL DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO

Una pieza fundamental para que una política de control climático sea viable es comprender cuantitativamente las consecuencias del cambio climático y del control de las emisiones, aspectos que abordaremos en esta sección.

La pérdida de bienestar causada por un cambio en el clima se puede medir en términos de los beneficios derivados del control de los gases de efecto invernadero o en términos de los daños derivados de la ausencia de control y de la continuidad del crecimiento de las emisiones, el cual lidera el cambio climático. Nos referimos a los beneficios en lugar de a los daños, aunque los conceptos son equivalentes. Los costes del control de los gases de efecto invernadero son más directos. Aunque a veces se afirma que las emisiones de gases de efecto invernadero pueden reducirse significativamente sin coste alguno simplemente eliminando las ineficiencias, la mayoría de los analistas reconocen que existen costes asociados con una reducción significativa del nivel de emisiones.

---

(17) Sin embargo, las variaciones en la capacidad de atrapar el calor a largo plazo no se traducen de forma inmediata en variaciones en el daño potencial. Por ejemplo, en comparación con el CO<sub>2</sub>, el metano posee un gran potencial para atrapar calor pero permanece muy poco tiempo en la atmósfera. Por ello, si los daños causados por el cambio climático aumentan a lo largo del tiempo debido a la acumulación de gases de efecto invernadero, a corto plazo las emisiones de CH<sub>4</sub> tendrán menos importancia que las emisiones de CO<sub>2</sub>. Lo contrario sería cierto si dichas emisiones se produjeran en un momento temporal en el que estuviese comenzando el impacto del cambio climático. (Reilly y Richards, 1993, Schmalensee, 1993, Hammitt et al., 1996, Smith y Wigley, 2000a, 2000b). A efectos de política climática, lo ideal sería que los diferentes gases de efecto invernadero se compensaran entre sí de acuerdo con su contribución relativa a los impactos socioeconómicos, y no sólo en función de sus propiedades químicas. Sin embargo, no hay consenso sobre qué factores de equivalencia basados en el daño deberían utilizarse.

En esta sección se examinan tres cuestiones a un nivel bastante superficial. La primera de ellas se refiere a los costes del control de los gases de efecto invernadero. La segunda trata de los beneficios del control de dichos gases y la tercera tiene que ver con la estimación de los beneficios netos de llevar a cabo algún tipo de control óptimo que equilibre los costes y los beneficios.

### *3.1. Los costes del control de los gases de efecto invernadero*

En primer lugar, trataremos de ver cuáles son los costes económicos que podrían asociarse con la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Aunque sería deseable en última instancia agrupar dichos costes en una tabla de costes marginales donde se indicase el coste marginal global ante niveles concretos de reducción, conviene comprender la naturaleza de estos costes y la dificultad que existe para medirlos.

Imaginemos que un país establece un impuesto sobre las emisiones de 10 dólares por tonelada de carbono. ¿Cómo respondería la economía de ese país ante dicho impuesto? Si realizáramos este experimento mental para una serie de tasas obtendríamos los costes marginales del control.

A causa del incremento del precio del carbono se producen una serie de efectos, algunos de corto plazo y otros de largo plazo. A corto plazo, los consumidores de combustibles fósiles reducirían su uso debido al aumento de su coste causado por el impuesto sobre las emisiones de carbono. Sin embargo, esta reducción del consumo de combustibles fósiles no es un proceso que carezca de costes. Los conductores que renuncian a un viaje han perdido utilidad como resultado de un aumento en el coste efectivo de la conducción. Aquellos productos cuyo proceso de producción conlleve la emisión de gases de efecto invernadero se encarecerán, de modo que las ventas serán ligeramente menores. Por ejemplo, los fertilizantes serán más caros debido al uso de combustibles fósiles en su fabricación; este aumento del precio dará como resultado una reducción en el uso de fertilizantes. En ambos casos –el del conductor que utiliza menos el automóvil y el del agricultor que utiliza menos fertilizantes– se incrementa el uso de recursos adicionales para compensar el mayor precio. Los conductores pierden utilidad por el hecho de conducir menos, pero también podrían adquirir automóviles más caros que consumieran menos combustible; los agricultores podrían adoptar técnicas agrícolas más caras para compensar la pérdida del uso de fertilizantes. En síntesis, al aumentar el precio del carbono hay efectos directos y, por el equilibrio general, efectos indirectos.

#### *a) Clasificación de los costes*

Hourcade et al. (1996a) distinguen cuatro tipos de costes asociados a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero: gastos directos del control, costes de equilibrio parcial para los consumidores y los productores, costes de equilibrio general y costes ajenos al mercado.

Los gastos directos del control son los costes más intuitivos y obvios: filtros para eliminar el CO<sub>2</sub>, los costes adicionales que supone el uso de

gas natural en lugar de carbón o los costes de mejorar el aislamiento de las casas. La gente suele basarse en este tipo de costes a la hora de decidir llevar a cabo alguna opción "de costes negativos" (esto es, una opción plausible con la que a la larga se ahorra dinero). Por ejemplo, mejorar el aislamiento de una casa es casi siempre una medida rentable si consideramos toda la vida útil de la casa. Sin embargo, debido a cierta miopía, a la imperfección de los mercados de capitales y a la información distorsionada de los propietarios, en muchas ocasiones las familias no realizan dichas acciones de costes negativos.

El siguiente nivel de los costes incluye estos gastos directos, de carácter técnico, pero también costes más sutiles que se terminan reflejando en una reducción del excedente del consumidor y del productor. Ejemplos para el caso del productor podrían ser una acelerada depreciación del capital fijo cuando los precios relativos cambian (el valor de los automóviles que consumen grandes cantidades de combustible se reduce cuando el precio de la energía aumenta), o bien los costes de ajuste asociados a los cambios en los procesos de producción. En el caso de los consumidores, un ejemplo puede ser el tener que renunciar a actividades que han pasado a ser más costosas, lo cual causa una pérdida de utilidad y de excedente del consumidor. Estos efectos son de equilibrio parcial en la medida en que no se tiene en cuenta el impacto total, sobre el conjunto de la economía, del aumento del precio de las emisiones de gases de efecto invernadero; es decir, el precio de la gasolina aumenta y, manteniéndose los demás precios constantes, los consumidores y productores se adaptan a esta nueva situación.

El tercer nivel de costes comprende todos los costes económicos del control de los gases de efecto invernadero, teniendo en cuenta los múltiples efectos indirectos y de realimentación, que se producen en una economía moderna. Por ejemplo, si el precio del carbono aumenta, el precio del petróleo (excluidos los impuestos) se espera que disminuya. Esto afectaría negativamente al sector petrolero y, consecuentemente, a las empresas proveedoras, a las actividades locales que dependen de la renta de los trabajadores del sector del petróleo y a las universidades locales cuya financiación depende de los ingresos procedentes de dicho sector. Estos efectos sectoriales posteriores son los efectos secundarios, los cuales no se tienen en cuenta normalmente en los análisis de equilibrio parcial. No obstante, estos efectos pueden ser menores ya que estamos considerando pequeños cambios en una parte de la economía. También es relevante diferenciar entre los costes de ajuste a corto plazo (incluyendo el desempleo temporal) y los ajustes relacionados con el equilibrio a largo plazo.

Algo más ambiguos son los costes generados por las distorsiones preexistentes en la economía, como los impuestos que gravan el trabajo. Cuando los impuestos sobre el carbono u otras políticas relacionadas con el mismo acentúan las ineficiencias de los impuestos que gravan el trabajo, ¿podrían atribuirse esos costes adicionales a los impuestos sobre el carbono? Si no existieran los impuestos sobre el trabajo, no se produciría una ineficiencia adicional por el impuesto del carbono. Tal y como señalaría Coase, se podría responsabilizar de la ineficiencia adicional tanto al impuesto sobre carbono como al impuesto sobre trabajo. Sin embargo, lo

relevante no es averiguar cual de los dos genera la ineficiencia, sino el reconocer que como consecuencia de un incremento del impuesto sobre el carbono surge un coste adicional para la sociedad (véase Goulder, 1995). Además, al contrario que en las políticas neutras respecto al ingreso (Parry et al., 1999), estos costes podrían ser menores si se realizase una adecuada redistribución de los ingresos conseguidos gracias a la recaudación de dichos impuestos.

Los economistas resaltan el hecho de que no todos los aspectos del bienestar humano se reflejan en el valor de los bienes y servicios de mercado o en la utilidad que proporciona su consumo. Sin duda existen muchos beneficios que surgen del control de los gases de efecto invernadero que no se manifiestan en el mercado como, por ejemplo, la mejora global del ecosistema. Por ello, se puede deducir que existen también algunos costes derivados del control de los gases de efecto invernadero de los cuales tampoco existe constancia en el mercado. Por ejemplo, la aplicación de una política de control de las emisiones de los gases de efecto invernadero podría generar cierto desempleo de largo plazo, y los costes sociales del desempleo incluyen aspectos no monetarios.

*b) Bottom-Up versus Top-Down (de abajo a arriba versus de arriba a abajo)*

Una revisión de los costes asociados al control de los gases de efecto invernadero no estaría completa sin prestar atención al debate llamado *bottom-up* versus *top-down* (de abajo a arriba versus de arriba abajo) sobre el método a utilizar para estimar los costes. La estimación de los costes del control con el método *bottom-up* (de abajo a arriba) utiliza modelos muy pormenorizados sobre los costes asociados al control de los gases de efecto invernadero. Estos modelos intentan incluir todas las formas posibles con las que cuentan los consumidores, productores o sectores específicos para reducir la emisión de gases. Asignando costes a cada una de las opciones se pueden determinar las formas menos costosas de reducción de los gases de efecto invernadero. Por ejemplo, uno de los modelos podría incluir el sector de la vivienda, considerando las distintas opciones existentes para reducir las necesidades de calefacción de un hogar medio (con aislamiento adicional, termostatos programables o cambiando el color del tejado). Se puede considerar que estos modelos son puramente ingenieriles en la medida en que la elección de la tecnología se basa únicamente en los costes sin tener en cuenta la conducta humana. Ya que la estimación de los costes agregados se obtiene a partir de datos microeconómicos este enfoque se ha denominado *bottom-up*.

El enfoque *top-down* parte de la observación del comportamiento agregado de la economía ante variaciones en los precios relativos. La respuesta de los consumidores y los productores ante cambios en los precios de la energía se conoce gracias a la experiencia acumulada durante más de tres décadas de variaciones significativas en los precios del petróleo. Las estimaciones *top-down* del coste del control no están relacionadas con lo que hace, desde el punto de vista tecnológico, un consumidor o un productor cuando el precio de la energía cambia, sino con el resultado global en términos de consumo energético.

Se podría pensar que las estimaciones del coste agregado del control de los gases de efecto invernadero derivadas de ambos enfoques deberían llevarnos prácticamente a la misma curva de coste marginal, ya que los dos se centran en el comportamiento económico de los mismos agentes y pretenden medir la misma variable: el coste del control de los gases de efecto invernadero. Sin embargo, la estimación de los costes a partir del enfoque *bottom-up* suele ser de mayor cuantía que la obtenida a través del *top-down*. Los motivos de esta discrepancia no están muy claros. Una posible explicación es que al utilizar el enfoque *bottom-up* se es inevitablemente optimista, pues se identifican procedimientos tecnológicamente factibles y efectivos en términos de costes para reducir los gases de efecto invernadero. La viabilidad tecnológica es, obviamente, una condición necesaria para poder acometer el control de los gases de efecto invernadero. Sin embargo, existen otros muchos factores, además de la viabilidad tecnológica, que se deben tener en cuenta a la hora de tomar decisiones sobre cómo controlar los gases de efecto invernadero, factores que provocan una subida de los costes por encima de los que le corresponderían a la estrategia tecnológicamente viable de menor coste.

Un ejemplo un tanto extremo sirve para ilustrar este punto. Supongamos que queremos analizar el uso que hace un hogar del automóvil para desplazamientos locales. La cuestión relevante en este caso es en qué medida se puede reducir su utilización si aumenta el precio de la gasolina. Un análisis *bottom-up* podría sugerirnos que el uso del automóvil se podría reducir drásticamente; por ejemplo, los miembros de la familia podrían elaborar una lista detallada de la compra e ir al supermercado una vez por semana o incluso con una menor frecuencia; se podrían compartir los desplazamientos al trabajo con los vecinos, así como utilizar sus visitas al supermercado para realizar los pequeños recados. Así, las posibilidades de reducir el uso parecen ser ilimitadas, y un enfoque *bottom-up* podría mostrar que un pequeño aumento en el precio de la gasolina provocaría una reducción drástica del consumo de gasolina. Dicho enfoque mostraría también las posibilidades que existen para reducir el consumo de gasolina sin coste alguno; por ejemplo, la posibilidad mencionada de compartir los desplazamientos con los vecinos es una buena idea con independencia de cual sea el precio de la gasolina.

Los resultados obtenidos a partir de un enfoque *top-down* serían muy diferentes. Este enfoque considera que existen muchos factores que intervienen a la hora de decidir cómo utilizar el vehículo, aunque sea para tareas tan vulgares como acudir al supermercado o hacer algún recado. Así, la comodidad, una planificación deficiente o la valoración del tiempo influyen en dicha decisión. La mejor medida de la disminución del consumo por parte del consumidor sería pues el recorte del gasto en gasolina la última vez que aumentó su precio.

A partir de este ejemplo se puede deducir que, en comparación con el enfoque *bottom-up*, el enfoque *top-down* puede llevar a un mayor coste a la hora de reducir el consumo de gasolina en una determinada cantidad. Los partidarios del enfoque *bottom-up* probablemente alegarán que el pasado no tiene por qué ser un buen indicador de lo que ocurra en el futu-

ro y, además, que el enfoque *top-down* no tiene en cuenta las ineficiencias existentes. Por ejemplo, podrían señalar que educando a las personas sobre cómo hacer uso de sus automóviles se podría ahorrar más energía que en el pasado.

Como se puede comprobar, estas dos escuelas de pensamiento pueden proporcionar estimaciones muy diferentes del coste del control de los gases de efecto invernadero. Para niveles reducidos de control, los costes estimados a través del enfoque *bottom-up* son negativos, y por tanto sugieren que, llevando algún tipo de control, la sociedad podría ahorrar dinero.

#### *c) La relatividad de los costes*

En un conocido informe, Costanza et al. (1997) intentan estimar el valor global del medioambiente mundial, incluyendo el aire que respiramos y los océanos. Una de las críticas realizadas a este análisis es que el valor económico se considera relativo e incremental, en vez de absoluto y total. El valor del aire que respiramos se define como la diferencia entre el bienestar del que disfrutamos por tener aire que respirar frente a no tenerlo, valor ciertamente de gran cuantía pero que en cierto modo carece de sentido.

De igual modo, los costes del control de los gases de efecto invernadero deben ser estimados en relación con cierta base de referencia, en especial si se tiene en cuenta que los costes no se soportan en un momento determinado, sino que van a continuar en un futuro previsible. Si establecemos un impuesto sobre el carbono e intentamos estimar el coste de este impuesto en el año 2020, ¿cuáles son los costes relativos? Lógicamente, la base no es el impuesto sobre el carbono.

Considerando los costes desde esta perspectiva, resulta evidente cómo abordar las imperfecciones preexistentes, tales como las ineficiencias relacionadas con el actual sistema tributario. Dichas imperfecciones hacen que las economías reales sean consideradas como economías de "*second-best*". De ahí que deban ser tomadas como punto de partida y de ahí que los costes adicionales causados por el impuesto sobre el carbono, ya sean directos o debidos a un empeoramiento de las ineficiencias asociadas a otros impuestos, se deban atribuir en su totalidad a las medidas fiscales que se apliquen sobre el mismo.

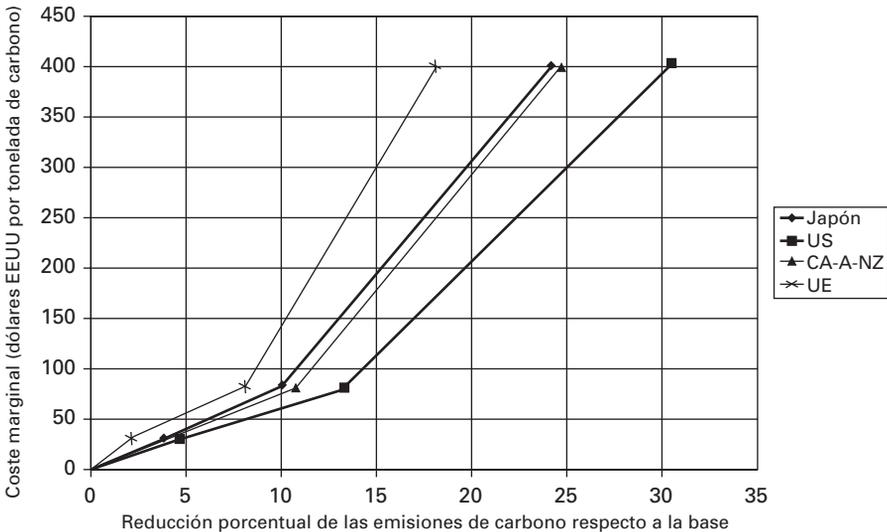
#### *d) Las estimaciones de los costes del control*

Diversos estudios se centran en el coste agregado del control de los gases de efecto invernadero, más concretamente del CO<sub>2</sub>. Muchos de estos estudios han sido realizados para el caso de Estados Unidos, donde la disponibilidad de datos es abundante. Hourcade et al. (1996b) proporcionan una amplia revisión, si bien algo anticuada, de las diversas estimaciones de los costes de reducción de los gases de efecto invernadero.

Unas estimaciones más actualizadas, aunque similares, se encuentran en Weyant y Hill (1999), donde muestran los resultados comparativos entre diferentes análisis de los costes del control de las emisiones. Esta comparación, realizada con el patrocinio del *Energy Modeling Forum* de la Uni-

versidad de Stanford, incluye casi una docena de modelos de evaluación integral que parten de los mismos supuestos básicos. Dichos modelos, calibrados de forma similar, son comparados sobre la base de un conjunto de aspectos, incluyendo el coste marginal del control de los gases de efecto invernadero. El gráfico 1 muestra la tendencia central de las estimaciones del coste marginal del control en cuatro regiones del mundo: Estados Unidos, la Unión Europea, Japón y Canadá/Australia/Nueva Zelanda.<sup>18</sup> Aunque no se aprecia claramente en el gráfico, existe una dispersión considerable de las estimaciones de los diferentes modelos en relación con cada una de estas tendencias. Por ejemplo, para los Estados Unidos –el país probablemente más estudiado–, las estimaciones del coste marginal del control para una reducción del 25% oscilan entre 60 y 300 dólares. Evidentemente, para menores niveles de reducción, la dispersión es más pequeña en términos absolutos.

**Gráfico 1**  
**TENDENCIA CENTRAL (A PARTIR DE LAS ESTIMACIONES DE DIFERENTES MODELOS) DEL COSTE MARGINAL DEL CONTROL DE LAS EMISIONES DE CARBONO RESPECTO A LA REDUCCIÓN PORCENTUAL DE LAS EMISIONES DE CARBONO PARA LAS REGIONES SELECCIONADAS**  
**(Dólares de 1990 por tonelada de carbono respecto a la reducción porcentual de carbono tomando como base el año 2010)**



*Fuente:* Stanford Energy Modeling Forum Data; adaptación de Weyant y Hill (1999) gracias a los datos pormenorizados facilitados generosamente por John Weyant.

(18) En el gráfico se muestra la estimación del modelo MS-MRT (Bernstein et al., 1999), la cual se aproxima bastante a las estimaciones medias (de todos los modelos) del coste marginal del control.

Merece la pena destacar dos aspectos de este gráfico. El primero es la considerable diferencia de costes marginales del control entre las regiones del mundo consideradas. Dichas diferencias pueden deberse a las distintas dotaciones de combustibles (pobres y ricos en carbono), a las estructuras económicas preexistentes, o quizás a que ciertas economías pueden que ya no sean, en términos relativos, intensivas en carbono, con lo que se hace más difícil conseguir reducciones significativas.

El segundo aspecto a resaltar en el gráfico es que se puede lograr un modesto control de las emisiones de carbono (menos del 10%) con costes marginales inferiores a los 100 dólares por tonelada de carbono e incluso, en algunos casos, con costes mucho menores a los 100 dólares. Por expresarlo en términos comparativos, un impuesto de 100 dólares por tonelada de carbono supone aproximadamente 12 dólares por barril de crudo ó 0,25 dólares por galón (0,06 dólares por litro) de gasolina.<sup>19</sup> Estos datos son consistentes con las estimaciones habituales de la elasticidad precio de la demanda de energía y con el efecto que un impuesto sobre el carbono tendría sobre el precio de la energía.

### *3.2. Los beneficios del control de los gases de efecto invernadero*

Además de costes, existen beneficios asociados a la reducción global de la concentración de gases de efecto invernadero. Estos beneficios no obstante son todavía más difíciles de cuantificar, por no hablar de su valoración en términos monetarios. El clima afecta a casi todas las dimensiones de la actividad humana en la tierra y caracterizar las posibles consecuencias del cambio climático en toda su extensión es, como mínimo, un gran desafío.

#### *a) Alcance de los beneficios*

Pearce et al. (1996) proporcionan una valiosa visión general sobre la envergadura de los daños causados por el cambio climático que, como ya hemos indicado, es la otra cara de los beneficios derivados de evitar dicho cambio (véase también Smith y Tirpak, 1990). Un buen punto de partida en la mayoría de los estudios es la sencilla hipótesis de que el cambio climático implica un aumento en la temperatura media y/o en el nivel del mar. Otros estudios trabajan con supuestos acerca de la creciente variabilidad climática ó la existencia de cambios significativos, por ejemplo, de las principales corrientes oceánicas.

Se obtienen beneficios al evitar las consecuencias de un aumento de la temperatura media sobre los sectores agrario, de la construcción, el turismo y la industria manufacturera. Gran parte de los trabajos de cuantificación de estos efectos sectoriales se han centrado en la agricultura y la silvicultura, aunque otros sectores también pueden verse afectados por el cambio climático. Por ejemplo, se ha sugerido que la construcción va a salir beneficiada de la existencia de un clima más cálido pero, al mismo

(19) Suponiendo un contenido de carbono de 0,117 toneladas de carbono por barril de petróleo (EIA 1999).

tiempo, el nivel de precipitaciones más elevado que acompaña al calentamiento del planeta le causará problemas.

Otro de los beneficios del control del cambio climático surge al considerar las pérdidas que podría haber causado la subida del nivel del mar. En diversos estudios se han estimado los costes del aumento del nivel del mar, el más obvio de los cuales es la pérdida de tierra, que anteriormente era zona costera, la cual permanece inundada tras el aumento del nivel del mar. No obstante, se ha señalado que la extensión de zona costera permanece casi constante, ya que una nueva franja costera sustituye a la anterior. Lo que se pierde, a medida que la zona costera se traslada hacia el interior, son las tierras intramarginales. Asimismo, a causa de la subida del nivel del mar podrían perderse o alterarse las dotaciones de capital fijo (fábricas, edificios e infraestructura) o la riqueza de los ecosistemas (humedales costeros).

También se espera que la industria energética se vea afectada por el cambio climático. Empezando por lo más obvio, la demanda de aire acondicionado aumentará y la de calefacción disminuirá. Muchos productores de electricidad estarán, además, preocupados por la fiabilidad de su infraestructura, en especial ante la mayor variabilidad meteorológica y el creciente número de fenómenos atmosféricos extremos, ya que las líneas de transmisión son especialmente sensibles.

La infraestructura de las conducciones del agua también podría ser vulnerable. Los cambios en las precipitaciones afectarán obviamente a la idoneidad de la infraestructura actual de las presas, los embalses y las conducciones de agua. Además, la subida del nivel del mar puede provocar la invasión por agua salada de los acuíferos situados cerca de la costa.

También se prevé que el cambio climático afecte a la salud humana. La elevación de las temperaturas provocaría un aumento del estrés físico durante los tórridos veranos, los insectos portadores de enfermedades podrían migrar, y el hábitat natural de los mosquitos portadores de la fiebre del dengue y la malaria podría ampliarse, con lo que aumentaría la población expuesta a dichas enfermedades.

Igualmente son importantes muchos de los efectos del cambio climático que no se registran en el mercado, desde los efectos sobre el ecosistema hasta en el tiempo de ocio como consecuencia de un mejor clima.

#### *b) La estimación cuantitativa de los beneficios*

La mayor parte de los estudios se han centrado en sectores muy concretos y en el daño ocasionado a dichos sectores como consecuencia del cambio climático. Pearce et al. (1996) hacen una revisión de varios de esos trabajos. En algunos estudios, de carácter minoritario, se ha intentado realizar una estimación global del daño causado por dicho cambio climático. De hecho, la mayor parte de estos trabajos se han centrado en el caso de Estados Unidos, en parte porque la disponibilidad de los datos necesarios es más inmediata así como por la existencia de un considerable volumen de estudios sectoriales en dicho país. En el cuadro 2 se muestra un resumen de cinco estimaciones sobre el daño ocasionado si

se duplicase la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (obsérvese como el cambio de temperatura varía de un estudio a otro).

Sorprendentemente, el cuadro 2 muestra una escasa coincidencia respecto a los impactos individualmente considerados pero, por otro lado, las estimaciones del impacto global muestran una oscilación relativamente pequeña, entre los 55.000 y los 140.000 millones de dólares. El impacto global supone un pequeño porcentaje (por debajo del 2%) del PIB de Estados Unidos. Siguiendo el ejemplo de Nordhaus (1994), estos resultados han llevado a muchos autores de modelos de evaluación integral a valorar el daño causado por el cambio climático en términos de pérdida porcentual del PIB. Las cifras obtenidas para los Estados Unidos suelen ser extrapoladas para el resto del mundo. En Nordhaus (1994) se sostiene que un incremento de 3°C en la temperatura provocaría una disminución del 1,33% en la producción mundial. La representación en un mismo gráfico de una función cuadrática del daño que pase por el origen y de dicha estimación de las pérdidas son suficientes para concluir que los daños dependen del cambio mundial de la temperatura media.

**Cuadro 2**  
**CINCO DE LAS ESTIMACIONES PUBLICADAS**  
**SOBRE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO**  
**CAUSADOS POR LA DUPLICACIÓN DEL DIÓXIDO DE CARBONO**  
**EN ESTADOS UNIDOS**  
**(miles de millones de dólares de 1990)**

SECTOR	Nordhaus (1991) 3°C	Cline (1992) 3°C	Fankhauser (1995) 2,5°	Tol (1995) 2,5°	Titus (1992) 4°
<i>Impactos que se reflejan en el mercado</i>					
Agricultura	-1,1	-17,5	-8,4	-10	-1,2
Energía	-1,1	-9,9	-7,9	-	-5,6
Nivel del mar	-12,2	-7	-9	-8,5	-5,7
Industria maderera	-	-3,3	-7	-	-43,6
Agua	-	-7	-15,6	-	-11,4
<i>Total</i>	<i>-14,4</i>	<i>-44,7</i>	<i>-41,6</i>	<i>-18,5</i>	<i>-67,5</i>
<i>Impactos que no se reflejan en el mercado</i>					
Vida humana	-	-5,8	-11,4	-37,4	-9,4
Migración	-	-5	-6	-1	-
Fenómenos atmosféricos extremos	-	-8	-2	-3	-
Calidad de vida	-	-	-	-12	-
Ocio	-	-1,7	-	-	-
Extinción de especies	-	-4	-8,4	-5	-
Infraestructura urbana	-	-1	-	-	-
Contaminación del aire	-	-3,5	-7,3	-	-27,2
Calidad del agua	-	-	-	-	-32,6
Aire acondicionado	-	-	-	-	-2,5
<i>Total</i>	<i>-41,1</i>	<i>-16,4</i>	<i>-27,9</i>	<i>-55,7</i>	<i>-71,7</i>
<b>TOTAL</b>	<b>-55,5</b>	<b>-61,1</b>	<b>-69,5</b>	<b>-74,2</b>	<b>-139,2</b>
<b>% del PIB de 1990</b>	<b>-1</b>	<b>-1,1</b>	<b>-1,3</b>	<b>-1,5</b>	<b>-2,5</b>

Fuente: Mendelsohn y Neumann (1990) a partir del IPCC.

### 3.3. *Los beneficios netos del control*

En las últimas dos secciones se han especificado los posibles costes y beneficios derivados del control de los gases de efecto invernadero. Dependiendo del nivel de control, los costes y los beneficios pueden ser mayores o menores. Para situar estos costes y beneficios en su contexto, nos centramos ahora en el análisis de los costes y beneficios netos del control de los gases de efecto invernadero cuando se pueden elegir el nivel de emisiones con el fin de obtener el mayor beneficio neto (beneficios menos costes). Lógicamente, al existir incertidumbre sobre los niveles de beneficios y de costes, también existirá incertidumbre respecto a la cuantía de los beneficios netos.

Diversos investigadores han intentado determinar los beneficios netos del control de los gases de efecto invernadero suponiendo que el objetivo del control de las emisiones es la maximización de los beneficios netos. Con dicho fin se han utilizado modelos de evaluación integral, sobre los que trataremos en la siguiente sección.

Uno de los análisis sobre los costes y beneficios netos del control del clima más citados es Nordhaus (1994). Utilizando un modelo de evaluación integral dicho autor determina el nivel de emisiones que maximiza los beneficios netos derivados del control de los gases de efecto invernadero. Asimismo, compara estos resultados con los de otras políticas como la de lograr la estabilización de las emisiones en los niveles del año 1990 o la estabilización del clima limitando el aumento de la temperatura a 1,5° C por encima de los niveles preindustriales. Sus resultados muestran que, para lograr el control óptimo de los gases de efecto invernadero, se deberían reducir las emisiones entre un 9% y un 13% respecto a los niveles de emisión que, de otra forma, se podrían esperar para el próximo siglo. Esta estimación sería compatible con la imposición de impuestos sobre el carbono comprendidos entre 5 y 20 dólares. Por el contrario, la estabilización de las emisiones en los niveles de 1990 exige un endurecimiento gradual, hasta llegar al 60% en el año 2100, de los niveles de control (es decir, las emisiones deberían ser en el 2100 un 60% menores que las que, de otro modo, cabría esperar). La estabilización de la temperatura exige una desaparición progresiva de las emisiones de carbono hasta mediados de este siglo. En lo que respecta a los costes, Nordhaus (1994) calcula que un nivel óptimo de control de las emisiones genera unos beneficios netos, descontados a lo largo del siglo XXI, de 271.000 millones de dólares. Eso es, como resultado del control de las emisiones estaríamos sólo un poco mejor; para poder apreciar esta cifra en su justa medida, es conveniente señalar que equivaldría al 0,04% del valor actual neto del consumo global del próximo siglo, todo un logro, si bien no de cuantía significativa. En el estudio de Nordhaus, una política de estabilización más estricta generaría importantes pérdidas económicas netas.

## 4. ELEMENTOS BÁSICOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

En esta sección exponemos los fundamentos económicos que subyacen bajo los llamados modelos de evaluación integral del cambio climáti-

co. Todo lo expuesto hasta el momento permite ver que, para poder estimar los efectos que causan las actividades humanas sobre el clima y los que causa el cambio climático sobre el bienestar humano, es necesario incluir en el modelo los siguientes aspectos:

- Las actividades del ser humano generan gases de efecto invernadero y alteran el uso de la tierra (por ejemplo, la superficie forestal), lo cual afecta a su vez a la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. Se sostiene que las actividades humanas, al modificar la composición química de la atmósfera, provocan cambios en el sistema climático a largo plazo (temperatura media, variabilidad atmosférica, patrón de las precipitaciones, etcétera).

- Se supone que los cambios climáticos afectan a su vez al bienestar humano. Estos cambios se manifestarían de muy diversas maneras (productividad de los cultivos de fibras y alimentos, impactos en los ecosistemas naturales, agresiones a las zonas costeras, salud humana, etcétera). De este modo, existe una retroalimentación entre los impactos humanos sobre el clima y los impactos climáticos sobre la sociedad.

- Las respuestas a estos efectos de retroalimentación pueden comprender medidas mixtas de mitigación (reducción de emisiones, reducción de la deforestación) y de adaptación (tanto con anterioridad como con posterioridad) que reduzcan la vulnerabilidad del bienestar humano ante el cambio climático.

- El tiempo es un factor crítico en la resolución del problema del cambio climático. Los gases de efecto invernadero se acumulan en la atmósfera durante largos periodos (décadas o incluso siglos). Las inversiones de capital efectuadas como respuesta a las amenazas de cambio climático tienen también una vida muy larga (décadas en el caso de la energía eléctrica o las carreteras), y, a largo plazo, el progreso técnico es otro factor clave en los costes de las medidas acometidas. Es por ello que un análisis económico completo sobre el cambio climático debe ser dinámico.

- Asimismo, la incertidumbre es otro elemento esencial. La gravedad del problema del cambio climático incluye el desconocimiento del nuevo mapa geográfico de las emisiones, de la temperatura y de otros cambios atmosféricos, así como de los impactos del cambio climático sobre el bienestar humano. Los costes de reducción de las emisiones, la evolución de nuevas tecnologías que reducirán esos costes y las posibilidades de adaptación también son inciertos. Además, la incertidumbre interactúa con la naturaleza dinámica del cambio climático y nos puede conducir hacia problemas relacionados con la irreversibilidad que trataremos a continuación. Así, un análisis económico completo del cambio climático debe incluir también elementos estocásticos.

A continuación, en primer lugar desarrollaremos una serie de modelos económicos de complejidad creciente que muestran cómo se ha intentado abordar, desde la perspectiva de la economía, el análisis de las trayectorias "óptimas" del cambio climático y de las emisiones de gases de efecto invernadero. En este contexto, el término "óptimo"

se aplica en el sentido del análisis coste-beneficio, esto es, contrastando el valor presente de los beneficios que se obtienen al evitar el cambio climático con los costes asociados a la consecución de dicho objetivo. En particular nos centraremos en aspectos relacionados con el dinamismo, la irreversibilidad, el aprendizaje y los seguros. En una etapa posterior nos olvidaremos de dichos modelos para plantear de una forma más genérica qué es lo que se puede considerar "óptimo", en el sentido en el que los economistas utilizan este término, a la hora de examinar las políticas climáticas y discutir sobre algunos aspectos más filosóficos de este debate.

#### 4.1. Modelos simples de las emisiones de gases de efecto invernadero y del cambio climático

Comenzamos con el modelo más básico, el cual permite ilustrar algunos de los aspectos clave del cambio climático.<sup>20</sup> Supongamos una economía muy simple en la que la utilidad,  $U$ , es una función del consumo de bienes,  $c$ , y el estado del clima se mide simplemente a través de la temperatura media,  $T$ . La utilidad  $U$  presenta una relación directamente proporcional con  $c$  e inversamente proporcional con  $T$ . Realizamos los supuestos<sup>21</sup> habituales de regularidad en  $U$ :

$$\lim_{c \rightarrow 0} U_c = \infty, \lim_{T \rightarrow \infty} (-U_T) = \infty$$

La utilidad puede ser interpretada desde dos perspectivas: como una función de bienestar utilitaria para el conjunto de la sociedad (la interpretación aquí considerada) o como la utilidad de un consumidor representativo, en cuyo caso los niveles de consumo se mostrarían en términos per cápita (véase Kelly y Kolstad, 1999).

El bien de consumo, que puede ser en principio el combustible fósil, se extrae sin costes; su consumo provoca un incremento proporcional de las emisiones de gases de efecto invernadero,  $E = \sigma c$ . En este sencillo modelo se parte de un stock inicial del bien de consumo, el cual se va reduciendo con el paso del tiempo. Existe también un stock de gases de efecto invernadero en la atmósfera, cuyo comportamiento representa la ecuación dinámica

$$\dot{M} = -\delta_M M + E \tag{1}$$

donde  $\delta_M$  es una tasa de decrecimiento. La temperatura está relacionada con el stock de gases de efecto invernadero a través de la función creciente

$$T = \Gamma(M) \tag{2}$$

(20) Uno de los primeros modelos se debe a Vousden (1973), aunque dicho autor no estaba interesado en el cambio climático por sí mismo.

(21) Ninguno de los dos supuestos es estrictamente necesario; se incluyen para evitar resultados del modelo en los que la actividad económica cesase en un momento determinado

Evidentemente, este modelo muestra una imagen muy estilizada, tanto del proceso de cambio climático como de las interacciones entre la economía y el clima, pero contiene varios de los aspectos clave previamente tratados. No incluye las cuestiones relacionadas con la incertidumbre existente respecto a los impactos de cambio climático o respecto a la reducción de los gases, ni tampoco las vinculadas al *trade-off* entre adaptación y mitigación.

La trayectoria óptima para lograr el bienestar humano, teniendo en cuenta el consumo y los impactos climáticos, estaría asociada con la maximización del valor presente de la utilidad, sujeta al cumplimiento de las ecuaciones 1 y 2, y a la restricción de la disponibilidad física de energía, es decir, a la restricción sobre el consumo. (Se analizarán posteriormente los aspectos relacionados con lo que se considera un resultado óptimo). Denotamos la tasa social de descuento utilizada en la maximización con la letra  $\rho$ . Utilizando las técnicas de optimización dinámica habituales, podemos demostrar que la trayectoria óptima para el consumo de combustibles y, por tanto, para las emisiones de gases de efecto invernadero, viene dada por la condición de primer orden

$$U_c = \lambda + \sigma\mu \quad (3)$$

donde  $\lambda > 0$  es el precio sombra asociado a la escasez del stock del bien de consumo, y  $\mu > 0$  es el coste sombra de las emisiones de gases de efecto invernadero. El precio sombra del combustible aumenta a la tasa de descuento (de acuerdo con la regla de Hotelling), mientras que el coste sombra de las emisiones sigue la ecuación dinámica

$$\dot{\mu} = (\rho + \delta_M)\mu + \Gamma' \cdot (-U_T) \quad (4)$$

En este sencillo modelo, la única respuesta posible si se quieren optimizar las trayectorias del consumo y de las emisiones de gases de efecto invernadero es aplazar el consumo, ralentizando así el cambio climático y trasladando los daños al futuro cuando el valor presente es menor. Las ecuaciones 3 y 4 muestran cómo los aspectos económicos y climáticos están unidos en la determinación de las trayectorias óptimas. La ecuación 3 muestra la renta de escasez de Hotelling y, también, cómo se desplazaría el consumo como consecuencia de un impuesto sobre el mismo. Este precio sombra refleja el valor presente del daño futuro causado por el cambio climático como resultado del consumo de combustible actual, teniendo en cuenta la progresiva reducción en el tiempo de los gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera. En general, el precio debería aumentar con el paso del tiempo a medida que los gases de efecto invernadero se acumulan, pero a una tasa decreciente, ya que el consumo disminuye con la creciente escasez del recurso natural y con la ralentización del cambio climático.

La imposición del precio sombra, por ejemplo a través de un impuesto pigouviano sobre el consumo de combustibles fósiles, consigue reducir el consumo actual y por tanto también la velocidad del cambio climático en comparación con el caso en que no hubiese intervención. Nótese sin embargo que, en este modelo, las emisiones acumulativas de gases

de efecto invernadero no se ven afectadas por dicha política ya que el stock se termina agotando de todos modos. Sí varía sin embargo la distribución de las emisiones en el tiempo, generándose en el futuro los mayores niveles de emisiones, y por consiguiente un cambio climático más acelerado. Este sencillo ejemplo sirve para plantearse algunas preguntas interesantes acerca de la distribución intertemporal de las emisiones, a las que nos referiremos más adelante.

Este modelo tan simple puede ampliarse de muchas maneras. Por ejemplo, podríamos introducir tecnologías de apoyo al consumo de energías no generadoras de carbono, (cambiando, por ejemplo, la utilización de carbón por energía solar), las cuales tienen mayores costes que las energías fósiles pero que, con el paso del tiempo y al ser los combustibles fósiles cada vez más escasos y su producción más costosa, terminan siendo opciones más económicas. En este contexto, una política que restrinja el consumo de combustibles fósiles (como un impuesto pigouviano sobre el carbono) acelerará también la transición hacia esas tecnologías y reducirá las emisiones acumulativas de gases de efecto invernadero, desplazándolas hacia el futuro. Este ejemplo es un caso especial de un modelo más general de formas múltiples de energía con diferentes contenidos de carbono (carbón y gas natural).

Con el fin de darle un mayor realismo, se puede ampliar este análisis considerando la posibilidad de sustitución de la energía y el capital por una mayor eficiencia energética por unidad producida, así como la sustitución entre diferentes tipos de energía o bien la reducción del uso de energía per se. Para ilustrar este caso, supongamos que  $d$  representa los daños climáticos, los cuales están relacionados positivamente con la temperatura y la actividad económica, denotada esta última por  $Y$ ; dado determinado aumento de la temperatura, los daños pueden ser debidos al nivel de actividad económica (a más actividad, más daños). Manteniendo fijas la población y la mano de obra para simplificar, la actividad económica depende de los servicios que se derivan del capital invertido  $K$ , así como de la energía utilizada y de las condiciones climáticas. En principio, suponemos que la inversión  $I$  es irreversible, de modo que  $I > 0$ , y que el capital se deprecia a una tasa  $\delta_K$ . Suponiendo, para simplificar, una intensidad de emisiones por unidad de energía constante, podemos utilizar  $E$  para denotar tanto a los combustibles fósiles no renovables como a las emisiones (el modelo se puede ampliar fácilmente para incorporar los recursos energéticos no fósiles). Así, además de las ecuaciones 1 y 2, se tiene que

$$U = U(c, d) \quad (5)$$

$$d = g(T, Y) \quad (6)$$

$$Y = f(K, E, T) \quad (7)$$

$$\dot{K} = -\delta_K K + I \quad (8)$$

Obsérvese que en este modelo es posible considerar los impactos negativos del cambio climático a través de una reducción en la productividad ( $f_T < 0$ ), así como mediante los efectos directos sobre la utilidad.

La evolución de los impactos del cambio climático y las posibles respuestas se vuelven más complejas si se incluye la posibilidad de sustituir energía por capital. Reordenando las ideas anteriores e incluyendo esta posibilidad, ahora nos enfrentamos a un problema económico de optimización de la inversión de capital o de las emisiones de gases de efecto invernadero. Se pueden expresar las condiciones de primer orden de la siguiente manera:

$$U_c = \eta \quad (10)$$

$$(U_c + U_d g_Y) f_E = \lambda + \mu \quad (11)$$

$$\dot{\lambda} = \rho \quad (12)$$

$$\dot{\mu} = (\rho + \delta_M) \mu + \Gamma' [(U_c + U_d g_Y) f_T + U_d g_T] \quad (13)$$

$$\dot{\eta} = (\rho + \delta_K) \eta - f_K (U_c + U_d g_Y) \quad (14)$$

Como antes,  $\lambda$  denota el precio sombra asociado a la escasez del stock de energía y  $\mu$  es el precio sombra de las emisiones de gases de efecto invernadero; además,  $\eta$  es el precio sombra de la inversión de capital. El término  $U_c + U_d g_Y$ , que suponemos que es positivo, puede ser interpretado como la utilidad marginal de la producción: un aumento en el consumo incrementa directamente la utilidad, pero la reduce indirectamente a través de un mayor daño climático. Más adelante veremos que la relación entre la utilidad y el cambio climático puede ser interpretada de un modo mucho más complejo.

La ecuación 11 representa la regla de Hotelling con una modificación que tiene en cuenta cómo las crecientes emisiones de gases de efecto invernadero incrementan los daños a lo largo de los años, los cuales a su vez reducen el bienestar. En esta ecuación se puede apreciar fácilmente cómo en el estado estacionario el producto marginal derivado del uso energético (con  $\dot{\mu} = 0$ ) es mayor que el que se obtiene sin consideraciones sobre el cambio climático. Este hecho sugiere (si bien no demuestra) que, en el largo plazo, las emisiones se reducen gracias a una política óptima de cambio climático.

Una forma de conseguir la reducción es mediante la sustitución de energía por capital. La ecuación 10 recoge la regla de Ramsey para el consumo óptimo, que consiste en igualar la utilidad marginal con el precio sombra del capital. Sin embargo, la ecuación 14 muestra que el precio sombra del capital se ve afectado por el cambio climático; un mayor nivel de inversión hace que la actividad económica aumente, pero también que aumenten los daños. Si sustituimos la ecuación 10 en la ecuación 14 e imponemos que  $\dot{\mu} = 0$  para ver qué pasa en el estado estacionario, obtenemos

$$(\rho + \delta_K - f_K) = f_K U_d g_Y < 0 \quad (15)$$

lo cual implica que el producto marginal del capital en el estado estacionario es menor que el óptimo correspondiente cuando no se tiene en cuenta el cambio climático. Esto sugiere (si bien una vez más no demues-

tra) que la inversión en capital es mayor cuando el uso energético se limita debido a consideraciones sobre el cambio climático.

Una última ampliación del modelo, en la que merece la pena detenerse, incorpora procesos de adaptación así como actividades de mitigación. Básicamente, la adaptación implica una acumulación de conocimientos y de stock de capital físico para que, dado el stock de gases de efecto invernadero y el nivel de la temperatura, el nivel de productividad económica y los daños directos en el bienestar familiar derivados del cambio climático sean menores que en el caso de no haber realizado dicha inversión. Algunos ejemplos ilustrativos son la construcción de muros de contención frente a las inundaciones, el desarrollo de semillas resistentes a las sequías o de nuevos métodos de inmunización ante enfermedades. Frente a lo que se acaba de describir, también se puede suponer que la adaptación se produce de forma natural como un subproducto del crecimiento económico, de modo que  $g_y < 0$ . La idea es que las sociedades más desarrolladas dependen en menor medida de los recursos naturales, los cuales tiene un gran peso en el mantenimiento del bienestar de las economías menos desarrolladas. De todos modos, este hecho diferencial queda ya, al menos en parte, reflejado en las disparidades de stock de capital y de la productividad.

A pesar de que estos modelos que acabamos de describir someramente son relativamente sencillos, sin embargo en ellos se incluye la estructura fundamental de las interacciones entre economía y clima, que es la base de la mayoría de los modelos de evaluación integral, esto es, de los modelos cuantitativos sobre el clima y la economía aplicados a gran escala (Weyant et al., 1996). La diferencia radica en que los modelos de evaluación integral pueden mostrar muchos más detalles en aspectos particulares de las relaciones entre el clima y la economía. Los fenómenos atmosféricos, la producción de bienes y servicios y las posibilidades existentes respecto al control de los gases de efecto invernadero pueden ser estudiados con un mayor nivel de detalle. No obstante, la estructura fundamental de los modelos de evaluación integral, al menos los aplicados al ámbito económico, queda recogida en nuestro sencillo modelo.

#### *4.2. Incertidumbre, irreversibilidad, aprendizaje y seguros*

Los modelos de evaluación integral que incorporan el factor incertidumbre de forma explícita son todavía la excepción más que la regla, aunque las incertidumbres relativas tanto al riesgo del cambio climático como al coste de la mitigación reciban cada vez una mayor atención. Este tipo de incertidumbre cobra especial interés cuando los efectos del cambio climático y de las inversiones para paliar dichos efectos son, al menos en cierto grado, irreversibles. Asimismo, dichas incertidumbres obligan también a comprender el proceso de aprendizaje y sus consecuencias, ya que la información que los agentes que toman decisiones tienen sobre los riesgos del cambio climático y los costes de las respuestas casi nunca es estática. Por último, la incertidumbre crea una demanda de seguros frente a los riesgos del cambio climático. El objetivo en este apartado se centra en la presentación de los aspectos más básicos y a continuación veremos los resultados de modelos particulares.

La incertidumbre y la irreversibilidad son objeto de estudio en Kolstad (1996a, b) y en Narain y Fisher (2000); el primero de ellos abarca también el aprendizaje (véase también Manne y Richels, 1992). La irreversibilidad significa que ciertas acciones pueden ser difíciles de invertir porque resulte muy costoso o sea materialmente imposible. En otras palabras, se produce una asimetría entre los beneficios de la ejecución de una acción y los costes de deshacer dicha acción. Si se espera conseguir información en el futuro y si dicha información puede ser decisiva para determinar si conviene llevar a cabo una acción irreversible, sería preferible, suponiendo que todo lo demás se mantiene constante, pecar de prudente y no realizar acciones irreversibles.

El problema general de la irreversibilidad es que, frente a la incertidumbre y los impactos de efecto prolongado, la posibilidad de retrasar dichos impactos hasta conseguir más información se asocia con el valor de una cuasi-opción. Este valor se basa en el valor esperado de la información que se va a conseguir, condicionado por la posibilidad de aplazamiento de la acción irreversible (Hanemann, 1989). En otras palabras, llevar a cabo una acción irreversible reduce el valor de la información que se vaya a obtener ya que, tras recibir dicha información, las posibilidades de poder hacer algo se reducen. Esta pérdida potencial es el valor de la cuasi-opción, que debe tenerse en cuenta a la hora de considerar dicho tipo de acciones. En el caso del cambio climático, tanto la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera como la acumulación de inversiones de capital son impactos que no pueden revocarse de forma inmediata. La acumulación de gases de efecto invernadero nos encadena a la perspectiva futura de un clima diferente, un resultado que lamentaremos especialmente si los impactos del cambio climático demuestran ser graves. La inversión en capital de vida prolongada implica comprometer recursos en tecnologías que reduzcan los gases de efecto invernadero, que no pueden reasignarse fácilmente si el cambio climático es menos severo de lo esperado.

Como Narain y Fisher (2000) señalan, es importante determinar de una forma más precisa lo que podría considerarse irreversibilidad en este contexto. Con respecto a la inversión, podemos suponer que la irreversibilidad incluye la dificultad para transformar el capital invertido así como un lento ritmo de depreciación del mismo (porque cuando el capital se deprecia rápidamente las limitaciones que impone no son de muy largo plazo). La irreversibilidad de los gases de efecto invernadero puede ser bastante diferente. En particular, las limitaciones existentes respecto a la capacidad de capturar carbono o en otras medidas que sirvan para eliminar los gases de efecto invernadero de la atmósfera podrían significar la irreversibilidad de las emisiones de dichos gases (Kolstad, 1996a). Los gases de efecto invernadero ya existentes en la atmósfera sólo pueden reducirse disminuyendo las nuevas emisiones con la esperanza de que las concentraciones presentes se reduzcan, o bien acelerando su captura. En cualquier caso, no es un proceso sin costes el de desandar rápidamente lo andado respecto a la emisión de dichos gases.

El hecho de que la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera disminuya con el paso del tiempo debilita la idea de irreversi-

bilidad de las emisiones, pero solo de una forma limitada, debido al largo período de tiempo requerido para anularlas totalmente. Un tipo de irreversibilidad muy severa del cambio climático surge en el caso de que la atmósfera nunca se recupere o –igualmente importante para este análisis económico– cuando los impactos derivados del cambio climático no se puedan invertir, a pesar de que se reduzca la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Como se podría esperar, a la hora de determinar la vía óptima de reducción de los gases de efecto invernadero, la irreversibilidad de la inversión y del clima se mueven en direcciones opuestas; la primera sugiere retrasar parte del gasto en capital, mientras que la segunda anima a llevar a cabo una reducción más fuerte en el corto plazo. En un análisis sobre este aspecto, Kolstad (1996a) sostiene que importa más la irreversibilidad de la inversión y, por ello, sugiere un valor positivo de la cuasi-opción del control de las emisiones. Esta posición implica la conveniencia de un control ligeramente menor que cuando el aprendizaje no es tenido en cuenta. No obstante, no existe consenso a este respecto. Por ejemplo, Ulph y Ulph (1997) señalan que las irreversibilidades pueden llevarnos a un exceso o un defecto de control, dependiendo de características específicas de las funciones de utilidad y de producción. Narain y Fisher (2000) obtienen resultados parecidos con su caracterización de las irreversibilidades, incluyendo la posibilidad de modificar el capital existente (con ciertos costes), esto es, que la irreversibilidad climática es más relevante.

#### *4.3. Los resultados de los modelos de evaluación integral*

Los modelos empíricos de evaluación integral utilizan la estructura básica descrita previamente, con ciertas modificaciones para reflejar con mayor detalle tanto la relación entre la energía y la economía (la cual determina los costes de la mitigación) como la existente entre los gases de efecto invernadero y el clima. Algunos de ellos son variantes del modelo, relativamente agregado, de crecimiento óptimo con acumulación de gases de efecto invernadero y daños, desarrollado por Nordhaus (1993). Otros modelos proporcionan mayor grado de desagregación a escala regional, a escala sectorial o a ambas (véase, por ejemplo, Weyant et al., 1996, Kolstad, 1998, Weyant y Hill, 1999 o Yang, 1999).

Un descubrimiento típico y notable de los modelos de evaluación integral es la aparente conveniencia de permitir el incremento de las emisiones hasta bien entrado el próximo siglo, o incluso más allá (Manne, 1996). Los modelos indican que toda política que persiga un control apreciable de las emisiones en el corto plazo –como el Protocolo de Kioto–, implica demasiados costes inmediatos si se les compara con los beneficios. Existen varias razones que apoyan esta hipótesis. Los daños aumentan con la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera y, según los cálculos de la mayoría de los modelos de evaluación integral, los costes de la reducción drástica de estos gases son demasiado elevados en comparación con los limitados beneficios que se obtendrían. Sólo cuando la concentración de dichos gases haya alcanzado niveles superiores tendrá sentido, basándonos en el

valor presente esperado, disminuir las emisiones. Además, los costes marginales del control de los gases de efecto invernadero son relativamente indiferentes al stock de dichos gases y a su nivel de control, de forma que los costes no se incrementan por el aplazamiento del control de las emisiones.

De hecho, a veces los modelos de evaluación integral suponen que el coste unitario del control de los gases de efecto invernadero puede ser menor en el futuro que en la actualidad, incluso si en el futuro se precisa un nivel general de control más estricto. Ello sería así en el caso de que en el futuro se mantuvieran las tendencias actuales respecto a la mejora de la eficiencia energética –tanto en los países desarrollados como en los que se encuentran en vías de desarrollo–, a la cada vez mayor escasez de combustibles fósiles y a los cada vez menores costes de los recursos energéticos alternativos. Por último, pero no por ello menos importante, la existencia de modelos de evaluación integral que sugieren demorar el control de los gases de efecto invernadero refleja que con las tasas de descuento se intentan retrasar tanto los costes de eliminación como los daños del cambio climático.

Tal y como se esperaba, los modelos a los que nos hemos referido muestran cómo a mayores costes del cambio climático más conveniente es una reducción severa de los gases de efecto invernadero. No obstante, el nivel de reducción resultante sigue siendo menor del que se señala en los debates políticos actuales, incluso si el coste marginal del daño es mucho mayor del que se supone en los modelos de evaluación integral (véase también Peck y Teisberg, 1993).

Para avanzar en el análisis de estas cuestiones, Pizer (1999) emplea un modelo similar al utilizado por Nordhaus (1993) con el fin de considerar una serie de incertidumbres –posiblemente correlacionadas– relativas al clima, la economía y las preferencias individuales, incluyendo una tasa de preferencia temporal. Además, estudia cómo dichas incertidumbres afectan a la trayectoria de las emisiones globales que minimiza el valor presente de daño esperado más los costes del control. Pizer obtiene que, incluyendo esas incertidumbres, la planificación temporal óptima de la restricción de las emisiones es sustancialmente más severa en cuanto a la reducción de las emisiones a largo plazo (aproximadamente un 30%), en relación con la trayectoria que resultaría de utilizar las mejores predicciones respecto a los parámetros inciertos. Estos resultados reflejan una falta de linealidad de la función de coste social; las desviaciones en los parámetros que incrementan los costes sociales son proporcionalmente más importantes que las desviaciones que los reducen. A pesar de este hecho, los resultados todavía concuerdan con los de otros modelos de evaluación integral, en los que la trayectoria de reducción de las emisiones que minimiza los costes sociales es significativamente menos restrictiva que la trayectoria resultante de considerar los objetivos del Protocolo de Kioto.

Un rasgo especialmente interesante del análisis es que alrededor de la mitad del aumento en la severidad del control se podría atribuir a tan sólo un parámetro, la tasa de descuento temporal de la función de utili-

dad. Este hecho refuerza la intuición habitual de que la elección de la tasa de descuento ejerce una fuerte influencia sobre la política climática óptima. Pizer añade que, debido a que las tasas de descuento bajas están correlacionadas con la ralentización del crecimiento económico, sus resultados se oponen a la convicción general de que un crecimiento económico menor implica una menor preocupación por el cambio climático, debido a que las emisiones aumentan mucho más despacio.

El análisis de Pizer no recoge el riesgo de catástrofe debido al cambio climático. Este tipo de riesgo es el objetivo central de un informe de Gjerde et al. (1999), quienes utilizan su propio modelo de evaluación integral de la actividad económica, de las emisiones de gases de efecto invernadero y de las respuestas climáticas. Estos autores muestran que si se considera el riesgo de catástrofe, el cual está correlacionado con la futura acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, se justifica el grado de control de las emisiones que se está planteando en la actualidad, incluso aunque el riesgo sea pequeño y no existan otros riesgos de carácter permanente. No obstante, al mismo tiempo estos autores consideran que la inclusión de la posibilidad de un riesgo de catástrofe en la función de daños no proporciona argumentos adicionales para la reducción de los gases de efecto invernadero, a no ser que el riesgo y la gravedad de la catástrofe sean muy elevados.

Gjerde et al. (1999) examinan la sensibilidad de sus resultados ante la probabilidad de catástrofe y la tasa de descuento. Al igual que Pizer, obtienen que la trayectoria óptima de los gases de efecto invernadero es extremadamente sensible a la elección de la tasa de descuento: con una tasa de descuento del 3% las emisiones óptimas siguen aumentando durante 50 años (si bien a un ritmo más suave que en ausencia de una política climática), mientras que las emisiones óptimas se reducen bruscamente con una tasa de descuento del 1%. Se deduce pues que, con un riesgo endógeno de catástrofe, la probabilidad de que ésta ocurra a largo plazo es mucho más elevada cuanto mayor sea la tasa de descuento. Como cabría esperar, una mayor probabilidad de catástrofe exige una política de control más rigurosa. Sin embargo, Gjerde et al. también muestran que con su modelo, incluso tras tener en cuenta un riesgo de catástrofe, es difícil justificar el objetivo original de la Cumbre de la Tierra de Río, especialmente la reducción de las emisiones a unos niveles por debajo de las del año 1990, a no ser que el riesgo de catástrofe sea bastante elevado o que la tasa de descuento social sea menor del 3%, el valor que suele utilizarse en los modelos de evaluación integral. Por último, el modelo de Gjerde et al confirma otra idea señalada en estudios previos (por ejemplo, Peck y Teisberg, 1993): que el valor que se le da a una mejor información sobre los riesgos climáticos puede ser bastante alto.

La incertidumbre no necesariamente implica aprendizaje. El nivel de incertidumbre puede permanecer constante a lo largo del tiempo, en cuyo caso no existe ninguna ventaja obvia del aplazamiento de las acciones que se deban llevar a cabo con el fin de reducir la incertidumbre. La información disponible para tomar decisiones será la misma hoy que mañana. Pero cuando se espera obtener nueva información adicional, que pueda

causar un cambio de opciones, entonces la cuestión se complica. Como ya se ha mencionado, la irreversibilidad puede implicar que determinadas actividades de reducción degraden el valor de la información futura, sugiriendo cierta moderación en las medidas de reducción. Sin embargo, como Epstein (1980) y otros (Freixas y Laffont, 1984, Zhao y Zilberman, 1999, Kolstad, 1996b) han mostrado, no siempre se tiene un sesgo hacia la moderación. Lo que sí se puede concluir a partir de los estudios teóricos es que las consecuencias particulares del aprendizaje sólo se pueden comprender a través de análisis empíricos.

Algunos autores han intentado determinar cuáles son las consecuencias del aprendizaje sobre el control óptimo de los gases de efecto invernadero. Como ya se ha comentado, Kolstad (1993, 1994, 1996a, b) y Kelly y Kolstad (1999) examinan cuál es el nivel óptimo de control de las emisiones actuales con y sin aprendizaje. En estos análisis se encuentra implícito un modelo simple de crecimiento óptimo del tipo Nordhaus con un único bien de capital. Una vez que se realiza la inversión en el control de las emisiones, ésta tiene ciertos elementos de irreversibilidad en el sentido de que se convierte en un coste hundido. Igualmente, la emisión de gases de efecto invernadero sólo puede "des-emitirse" esperando las décadas necesarias para que el stock se reduzca de forma natural. El resultado, sin incertidumbre y sin aprendizaje, es que las actuales emisiones de gases de efecto invernadero (1995) deberían reducirse un 8% respecto a los niveles de emisión que habría sin ningún tipo de control. Al considerar el aprendizaje y la incertidumbre la cifra se reduce a un 5%-7%, dependiendo del grado de aprendizaje considerado. Así, la irreversibilidad del capital parece ser más importante que la irreversibilidad de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Este concepto puede comprenderse utilizando la terminología de Ulph y Ulph (1997): sólo las irreversibilidades "efectivas" reconducen las acciones óptimas. Una irreversibilidad se considera efectiva cuando con gran probabilidad va a obligar a tomar determinada decisión. La irreversibilidad asociada con la emisión de gases de efecto invernadero consiste en que en el futuro es probable que se quiera reducir el stock de dichos gases. Sin embargo, en la mayoría de los escenarios que se consideran en los modelos sólo se pretenden controlar los niveles de emisiones, con el fin de ralentizar el crecimiento del stock de gases de efecto invernadero; esto es, no contemplan la reducción del stock. De ahí que la irreversibilidad del stock de gases de efecto invernadero ejerza una escasa influencia a la hora de elegir la trayectoria óptima. Introduciendo la probabilidad de que se produzca una catástrofe medioambiental de forma endógena, Narain y Fisher (2000) encuentran una mayor influencia del stock de gases de efecto invernadero.

#### *4.4. La programación temporal óptima del control de las emisiones*

Hasta este momento se ha considerado que, a la hora de diseñar la política climática, la clave estaba en encontrar un cierto equilibrio entre el valor presente de los beneficios y de los costes. Esta línea de análisis ha tenido un impacto relativamente pequeño en los debates políticos, y sospechamos que, en parte, ello se debe a las dudas existentes sobre la soli-

dez de las estimaciones de los daños y, por otro lado, a los desacuerdos filosóficos que existen respecto al planteamiento de asociar las trayectorias óptimas del cambio climático con el valor presente de los beneficios netos. Sin embargo, otra línea de investigación, relacionada con la programación óptima requerida para lograr unos determinados niveles de concentración de gases de efecto invernadero en el largo plazo, ha tenido, en cierto modo, un mayor impacto en los debates políticos.

Debido a que el cambio climático es un tema de largo plazo, en los debates políticos la atención se suele centrar en diferentes objetivos, también de largo plazo, relacionados con la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. Se ha estimado que antes del comienzo de la revolución industrial los niveles de concentración eran aproximadamente de 280ppmv<sup>22</sup> de carbono, y que dichos niveles han aumentado hasta llegar a más de 350 ppmv a finales de los años noventa. En la mayor parte de los debates no económicos sobre el control del clima, se ha planteado la idea de estabilizar las concentraciones en niveles comprendidos entre 450 (difícil de conseguir) y 750 (mucho más fácil de lograr). En las etapas iniciales del debate sobre la política climática, la mayoría de los escenarios planteados, como por ejemplo los presentados por el IPCC, sí se alejaban sistemáticamente de las trayectorias habituales. Con todo, Wigley, Richels y Edmonds (1996, de ahora en adelante WRE) muestran cómo otras trayectorias también nos conducen a las mismas concentraciones de gases de efecto invernadero en el largo plazo. También muestran cómo las trayectorias con menores reducciones en el corto plazo, pero compensadas con un mayor control de los gases de efecto invernadero en el futuro, podrían alcanzar los mismos objetivos a largo plazo y además con un valor actual del coste mucho menor (del orden del 50% o más en algunos casos). A partir del informe de WRE se han elaborado muchos más estudios sobre este tema (véase, por ejemplo, Manne y Richels, 1997).

Las razones que justifican estos menores costes son, en cierta manera, análogas a las ya expuestas respecto a las trayectorias óptimas de los gases de efecto invernadero. Una de las causas que explican el que exista un coste menor surge de la ventaja que se obtiene al posponer los costes al futuro, cuando su valor actual es menor. Dejando a un lado las diferencias intertemporales del valor del dinero, llevar a cabo un control más estricto y más tardío, en contraposición con una distribución temporal de los costes del control a partir de este momento, supone sólo una modesta desventaja en costes. No obstante, más allá de la distribución temporal del control, en el análisis de WRE se destacan otras ventajas que surgen al posponerlo. La demora permite que el stock de capital evolucione de una forma más gradual, con una obsolescencia menos prematura y menores costes de ajuste. Suponiendo que se mantiene la preocupación por conseguir una mayor eficiencia energética a largo plazo, al retrasar el control también aumentan las posibilidades de que la utilización del capital sea más eficiente, desde un punto de vista energético, en el futuro. Por

---

(22) Ppmv = partes por millón.

último, se cuenta con más tiempo para que disminuyan las emisiones más antiguas, con lo que terminan contribuyendo menos al aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero a largo plazo.

Como fruto de las críticas a los resultados de WRE, han surgido diversas cuestiones sustanciales y de política económica (véase Grubb et al., 1995, Ha-Duong et al., 1997). Se ha cuestionado la cuantía del coste de las reducciones de los gases de efecto invernadero a corto plazo, un aspecto estudiado en la sección anterior. Asimismo, se ha advertido que, si el cambio climático se termina convirtiendo en una seria amenaza, el retraso en el control incrementa el riesgo de que en el futuro sea necesaria una rápida y costosa reducción de estos gases. En principio este razonamiento es válido, pero sólo tiene fuerza si aparecen riesgos catastróficos e inminentes. Si, para cubrirse de estos riesgos, se adopta una estrategia adversa al riesgo es posible que se incurra en un elevado coste, al mismo tiempo que se consigue un notable ahorro a este respecto en otros países.

Una crítica más llamativa sostiene que la limitación de las reducciones de los gases de efecto invernadero en el corto plazo proporciona unas señales demasiado débiles como para incentivar el grado de innovación tecnológica supuesto por WRE y otros autores como justificación de la demora, al mismo tiempo que facilita la consolidación de la tecnología intensiva en gases de efecto invernadero, de costosa sustitución en el futuro. Sin lugar a dudas, esta crítica es verdadera hasta cierto punto; la cuestión es en qué medida esta limitación representa un problema y cuáles son las opciones para superarla. Si una trayectoria más gradual de control de las emisiones genera un importante ahorro en costes, parte del ahorro puede ser invertido en fomentar las actividades de I+D. En lo que respecta al grado en que se retarda la innovación, Goulder y Mathai (2000) sostienen que, en general, la presencia de un cambio tecnológico inducido reduce el período temporal en el que se han de aplicar impuestos sobre el carbono con el fin de lograr los niveles de concentración perseguidos. Cuando, gracias a las inversiones realizadas en I+D, se logra un mayor conocimiento tecnológico parte del control se desplaza desde el presente hacia el futuro, con lo que tiene sentido la idea de incentivar dicha inversión. Sin embargo, cuando el conocimiento se logra mediante la experiencia, el impacto sobre la programación temporal del control es ambiguo. Un aspecto a considerar, tratado en Kelly et al. (2000), es que el control estricto de las emisiones de gases de efecto invernadero dificulta el aprendizaje sobre el clima, ya que se distorsionan las señales del efecto invernadero. Sin embargo, sus resultados tienen muchos matices y no permiten concluir que se deba moderar el control de las emisiones con el fin de aumentar el aprendizaje. Sin duda es necesario realizar más investigaciones a este respecto.

#### *4.5. Justificaciones filosóficas de la política del clima*

A largo plazo, la validez del enfoque económico para el análisis del riesgo del cambio climático depende del grado en que sus prescripciones concuerdan con el modo en que las personas perciben realmente los riesgos, los costes y las opciones políticas. A este respecto, han surgido tres grandes críticas del enfoque económico. La primera es la crítica general de que los individuos no consideran sus beneficios y costes, o evalúan los riesgos,

tal como lo hace el análisis económico. Aunque existen razones para cuestionar la validez del modelo estándar de utilidad esperada a la hora de describir el modo en que las personas evalúan fenómenos de baja probabilidad pero muy severos, tales como los que se pueden derivar del cambio climático (véase, por ejemplo, Camerer y Kunreuther, 1989, Viscusi, 1992), el enfoque económico tiene sentido y además no existe consenso sobre la existencia de otro paradigma que tenga mayor validez. En consecuencia, descartamos esta crítica general y nos centramos en aspectos específicos relacionados con la naturaleza de la amenaza de cambio climático.

Una de las críticas de este último tipo es que el análisis económico supone que existe una elevada sustituibilidad entre las diferentes modalidades del "capital natural" que podría degradarse con el cambio climático y las inversiones compensatorias en ciencia, en tecnología y en el capital existente. Es por ello que –el argumento continúa–, los economistas restan importancia a los costes del cambio climático y exageran el potencial de adaptación. Esta crítica es difícil de probar o refutar a priori. Cada vez existen más evidencia respecto a la capacidad de adaptación al cambio climático en las zonas donde los seres humanos cuentan con la posibilidad de gestionar el ecosistema; la agricultura y la silvicultura son dos ejemplos (para una discusión más amplia, véase Mendelsohn y Neumann, 1999); otro ejemplo podría ser el desarrollo de medidas para evitar o tratar las enfermedades tropicales, cuya incidencia podría aumentar con el cambio climático. La capacidad de adaptación está vinculada a la infraestructura y a la riqueza de la sociedad, lo cual implica que la falta de adaptación es, en parte, uno de los problemas ligados a la pobreza, y no un problema intrínseco. Se debe tener menos confianza respecto a la capacidad de adaptación cuando el impacto se produce en aquellas partes del ecosistema en las que los seres humanos carecen de tanto control, como por ejemplo la biodiversidad. Este aspecto representa un reto para una investigación futura. (Merece la pena mencionar que la cuestión de los límites existentes respecto a la sustituibilidad es una espada de doble filo. Si se postula la existencia de limitadas posibilidades de sustitución, ello conlleva altos costes para las generaciones actuales a la hora de reducir las emisiones procedentes de los combustibles fósiles, con lo que disminuye la disposición de la sociedad a invertir en el control del cambio climático que se producirá en el futuro).

La tercera crítica a la que nos vamos a referir está relacionada con la justicia intergeneracional. En las críticas a los modelos de evaluación integral se señala que las ventajas derivadas de una respuesta gradual ante el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero se derivan, al menos en parte, del efecto del descuento y que, dada la larga perspectiva temporal considerada, dicho retraso refleja las transferencias intergeneracionales de riqueza y no sólo una asignación racional intergeneracional de gastos (Howarth, 1996, 1998). Este argumento implica que, en la medida en que el aplazamiento de la política climática reduce el bienestar de las futuras generaciones, la aplicación del criterio del valor presente da lugar a repercusiones de tipo ético. Partiendo de esta crítica surge un complejo conjunto de argumentos respecto al modo en que, a la hora de evaluar los riesgos del cambio climático y la política climática, deberían descontarse a lo largo del tiempo los beneficios y los costes, y a cómo se deberían definir las responsabilidades de las generaciones futuras.

Los partidarios del enfoque económico convencional proporcionan varios argumentos en defensa del análisis del valor actual de los costes y beneficios (véase, por ejemplo, Weitzman, 1999). Si sigue habiendo progreso económico, las generaciones venideras gozarán de mejores condiciones que las generaciones actuales; y si el progreso económico se viera afectado por el cambio climático, existirían vías alternativas para realizar inversiones compensatorias que complementarían la mitigación de las emisiones en el presente. Este razonamiento sugiere que no estamos haciendo ningún favor a nuestros descendientes si invertimos en la mitigación de los gases de efecto invernadero cuando su beneficio social es menor que el de otras opciones. Este argumento supone de forma explícita un alto grado de sustituibilidad entre el capital natural afectado negativamente por el cambio climático y otros bienes. Por último, la evidencia existente respecto al altruismo intergeneracional es, en el mejor de los casos, ambigua, pues de otro modo las ayudas que se prestan en la actualidad a las personas desfavorecidas deberían ser mayores (Schelling, 1995).

Lamentablemente, nuestra comprensión empírica de todos estos aspectos es limitada. Parece evidente que, para evaluar los costes económicos de las medidas tomadas para el control de los gases de efecto invernadero, se debería incluir una tasa de descuento que refleje el apropiado coste de oportunidad intertemporal (independientemente de qué valor se le otorgue). En cuanto a cuál es el nivel de inversión adecuado, dados los inciertos riesgos futuros del cambio climático y nuestro también incierto grado de altruismo intergeneracional, sólo el tiempo y los debates políticos que surjan al respecto darán la respuesta.

Los detractores de estos modelos han propuesto criterios alternativos para sustituir al análisis coste-beneficio. Sin embargo, los enfoques alternativos son de hecho formas particulares de medición de los beneficios y los costes de las políticas, teniendo en cuenta las incertidumbres, los riesgos de irreversibilidad, la aversión al riesgo y algunas cuestiones relacionadas con la distribución. Por ejemplo, el principio de precaución intenta evitar que se produzca un excesivo daño climático y en él las consideraciones sobre los costes pasan a un segundo plano o simplemente no existen. Este enfoque equivale a asumir que, una vez que se cruza el umbral propuesto, se produce un brusco aumento en los daños. Este supuesto podría ser cierto, pero aún no existen datos como para afirmar con seguridad que los daños tienen esta propiedad (por no hablar de cómo se identifica el momento del proceso de cambio climático en el que se produce dicho salto).

El análisis llamado "de punto de inflexión en la curva de coste" busca una regla para limitar la reducción de las emisiones en el punto en el que los costes marginales empiezan a crecer rápidamente. En este tipo de análisis la estimación de los beneficios se deja a un lado a causa de la incertidumbre. Este enfoque asume implícitamente que los daños marginales derivados del cambio climático no aumentan mucho a medida que éste se produce y que los costes podrían aumentar rápidamente en caso de elegir una alternativa poco ambiciosa respecto al control de las emisiones. A pesar de que, ciertamente, los costes aumentan con la severi-

dad de los controles, si no se tienen en cuenta los beneficios que se derivan de la aplicación de dicha política no se puede asegurar que la decisión tomada sea la pertinente.

Es inevitable que existan costes y beneficios; las diferentes formas en que se deciden medir dichos impactos son las que diferencian un enfoque de otro. Así, en cuanto a este debate manifestamos que la evaluación y la medición de los costes y beneficios es un componente intrínseco de cualquier decisión sobre la política, algo que no se puede ni se debe evitar apelando a cualquier criterio de decisión excesivamente simplificado.

## 5. EL DISEÑO DE LOS INSTRUMENTOS DE LA POLÍTICA DEL CLIMA

Con el objetivo de disminuir las emisiones, el análisis económico de la política climática se ha centrado principalmente en la aplicación de instrumentos basados en los incentivos o en las penalizaciones, tales como los impuestos sobre las emisiones de carbono, el comercio de permisos de emisiones y los créditos, o bien algún tipo de política mixta (que se analizará más adelante). Como la teoría básica indica, dichas políticas aportan razones financieras tangibles y proporcionan medidas flexibles para reducir las emisiones de carbono con bajos costes. Asimismo, sirven para fomentar las innovaciones que permiten disminuir los costes de una futura reducción de los gases de efecto invernadero. Entre dichas políticas se tienen las siguientes:

- Utilizar combustibles que generen menos carbono (por ejemplo, gas natural en lugar de carbón).
- Aumentar la eficiencia energética por unidad de producción, utilizando tecnologías menos intensivas en energía.
- Adoptar tecnologías que reduzcan las emisiones de otros gases de efecto invernadero (suponiendo que dichos gases también son gravados con impuestos)
- Reducir la producción de aquellos bienes que en la actualidad sean intensivos en carbono.
- Aumentar la captura de carbono mediante la reforestación y otras medidas.
- Desarrollar y mejorar las tecnologías que eviten la emisión de gases de efecto invernadero (por ejemplo, recursos energéticos renovables).

Ya que la teoría básica de estas políticas es conocida por todos, nos centraremos en aspectos específicos que surgen de la aplicación de estos instrumentos a la hora de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, tanto a escala nacional como internacional. En la parte final de esta sección también se considerará la necesidad de una política tecnológica, diferente de la regulación de los gases de efecto invernadero, así como de una política para promover la adaptación.

### 5.1. El diseño de una política de reducción de los gases de efecto invernadero basada en incentivos: aspectos básicos

Es más fácil penalizar las emisiones de carbono de un modo indirecto, esto es, mediante la imposición de gravámenes sobre los combustibles fósiles.<sup>23</sup> El contenido de carbono de los combustibles es fácil de determinar, y en la actualidad no existe ninguna otra alternativa rentable para la reducción del carbono “en la boca de la chimenea”. Se podría establecer un impuesto sobre los combustibles fósiles de diferentes formas: como un impuesto sobre la producción nacional de combustibles fósiles más un arancel de igual cuantía sobre las importaciones; o como un gravamen sobre los *inputs* primarios energéticos exigido a las refinerías, a los responsables de las conducciones de gas, a los distribuidores de carbón o, incluso, aplicado en fases más avanzadas del proceso productivo. Cuanto más cerca de las fases primarias del proceso productivo (más próximas a la extracción) se establezca el impuesto, menor será la cantidad de carbono que escape del control a través de actividades no gravadas, tales como las correspondientes al tratamiento realizado en los yacimientos petrolíferos. Con los sistemas de recaudación de impuestos que existen actualmente, es relativamente sencilla la gestión de dicho gravamen, tanto en los Estados Unidos como en la mayoría de los países desarrollados. Sin embargo, la aplicación del impuesto sería más complicada en los países en vías de desarrollo, los cuales no cuentan con instituciones adecuadas para recaudar los impuestos y controlar las conductas, o allí donde el sistema fiscal no es transparente y existe la posibilidad de compensar el gravamen con subvenciones ocultas.

El comercio de cuotas de emisión de carbono es más complicado que el impuesto. Lo más indicado es que se aplique dicha política en las etapas iniciales del proceso productivo, exigiendo que cuenten con permisos aquellos que producen o importan los combustibles fósiles (Fisher et al., 1998). Por el contrario, en el caso de centrarse en las fases más próximas al consumo, habría que preocuparse de las principales fuentes emisoras, como por ejemplo las centrales eléctricas. La exclusión de los demás responsables hace que disminuya la efectividad en términos de costes del programa; sin embargo, la inclusión de más emisores obligaría a la incorporación, muy costosa, de las fuentes de menor tamaño o a otras políticas que lograsen la incorporación de estas pequeñas fuentes (por ejemplo a través de impuestos sobre los combustibles o de los estándares de eficiencia). Esta política podría llevarnos fácilmente hacia precios sombra del carbono diferentes, en función del sector del que se trate, lo cual cuestiona de nuevo la efectividad en términos de costes del sistema.

Después de todo lo señalado, cabe preguntarse si existen razones que justifiquen las políticas diferentes al impuesto sobre el carbono o al comercio de permisos, realizado este último por las empresas más próximas a la extracción. Uno de los motivos, al que haremos referencia más adelante, es

(23) Se deberían excluir los combustibles fósiles destinados a la industria petroquímica o a otros usos en los que no se produce combustión (como, por ejemplo, el asfalto de las carreteras).

que algunos de los implicados en el proceso político no creen en la capacidad de las señales de mercado para conducirnos hacia los resultados deseados (al menos no por sí solas). El otro motivo está relacionado con cuestiones de distribución y de economía política. Los impuestos sobre el carbono y los permisos de emisión vinculados a las empresas más próximas a la extracción son señales bastante transparentes de una escasez provocada por el establecimiento de normas. Otras políticas pueden ser menos transparentes con respecto a sus impactos y entre ellas se incluye la distribución gratuita de permisos a las empresas más próximas al consumo.

Otro aspecto clave de las cuotas de emisión (tanto para empresas próximas al consumo como para las situadas cerca de la extracción) es cómo se distribuyen los permisos. En lugar de distribuirlos gratuitamente (por ejemplo, "apadrinando" a los emisores existentes), el gobierno podría subastar los permisos al mejor postor. Cramton y Kerr (1998) consideran las potenciales formas de subasta. La elección obliga a los diseñadores de la política a contemplar ciertos *trade-off* entre los objetivos de eficiencia económica, distribución equitativa, y viabilidad política. La eficiencia aumenta con las subastas porque los ingresos pueden utilizarse para contrarrestar las distorsiones de los impuestos ya existentes. Parry et al. (1999) señalan que llevar a cabo una política de comercialización de las cuotas de carbono que no incrementase los ingresos podría causar un aumento significativo del coste social neto de su cumplimiento, convirtiendo todo el programa de reducción de las emisiones en una pérdida de bienestar, en vez de en una ganancia. Hoel (1998) muestra que las políticas que incrementan los ingresos, utilizadas para compensar otros impuestos, pueden tener efectos positivos sobre el empleo en una economía que no goce del pleno empleo.

No obstante, la asignación gratuita de los permisos puede llevarse a cabo como una distribución de un bien valioso entre las personas que se han visto afectadas negativamente, en mayor medida, por dicha política (como las familias de renta baja o los mineros), o entre quienes ejercen mayor influencia política a la hora de distribuir tanto los beneficios como las pérdidas del comercio de permisos. Otra posibilidad es que la asignación se pueda convertir en un tema de negociación en los debates políticos, opción apoyada por aquellos emisores que pretenden obtener ganancias del sistema de asignación propuesto, o por aquellos otros titulares de permisos que no tienen una posición lo suficientemente fuerte como para pedir una compensación bajo supuestos de igualdad. Este sistema puede aumentar, sin duda, la viabilidad política de una política de compraventa de cuotas. A través de un ejercicio de simulación con un sistema de comercialización de emisiones, Bovenberg y Goulder (2000) sugieren que la pérdida de eficiencia que se deriva de compensar a las empresas productoras de combustibles fósiles y a sus accionistas por las pérdidas causadas por la reducción de las ventas no es muy grande. Por supuesto, la pérdida es mayor si también se desea compensar a las industrias consumidoras de combustibles fósiles y a los trabajadores afectados.

Otro aspecto importante que las políticas fiscales y de comercio de permisos deben abordar es qué gases de efecto invernadero, aparte del CO<sub>2</sub>, van a incluirse. Por ejemplo, a la hora de fijar el impuesto apropiado sobre

el gas natural que se inyecta en los sistemas de conducción se debería tener en cuenta la probabilidad de fuga y, por otro lado, el mayor poder relativo del metano como gas de efecto invernadero. La imposición de gravámenes o de permisos también debería aplicarse a las emisiones de metano de las minas de carbón y de los vertederos de basuras, así como a los gases fabricados por el hombre, sobre la base de su posible reciclaje o de su emisión a la atmósfera a través de, por ejemplo, el aire acondicionado de los automóviles. Será más difícil aplicar dichas medidas en unos gases que en otros. Un ejemplo excelente es cómo capturar las dispersas fuentes agrícolas de metano, cuya medición sería muy costosa.

El sistema de impuestos o el de comercio de permisos podría aplicarse también a las actividades de captura de carbono, a través, por ejemplo, de la existencia de facilidades impositivas o de compensaciones, en forma de permisos de emisión transferibles, para los programas de reforestación (véase los trabajos de Sedjo et al., 1997). Para ello, es muy importante definir cómo se han de realizar –de una forma creíble– las mediciones del nivel de carbono capturado gracias al proyecto forestal. En parte, los problemas surgen como consecuencia de la impredecible variabilidad natural del carbono almacenado. Además, no se trata de poner en marcha un sistema que recompense la captura de carbono que habría tenido lugar de todos modos, gracias a las prácticas habituales de rotación forestal, ni un sistema que fomente la deforestación, al facilitar a los propietarios de las tierras créditos para replantar árboles. Es más, una mayor conservación de los bosques en alguna zona podría simplemente estimular la tala de árboles en otro lugar; sólo reconociendo este “fuga” (“*leakage*”) del sistema podremos determinar qué tipo de facilidades se deben fijar.

## 5.2. Políticas de precios versus políticas de cantidades y políticas mixtas

El muy celebrado argumento de Weitzman (1974) indica que los impuestos fijan el precio y permiten que varíen los niveles de emisiones, poniendo en peligro al medioambiente ya que las empresas conocen sus costes de reducir las emisiones. Por el contrario, los permisos determinan la cuantía de la emisión y admiten variaciones en el precio, poniendo en peligro a la empresa afectada por la regulación, ya que en este caso no tiene certeza respecto a los costes de los permisos. Pizer (1997), Hoel y Karp (1998), y Newel y Pizer (1998) amplían el argumento de Weitzman para mostrar que, en un contexto de incertidumbre, la aplicación de impuestos será probablemente más eficiente que un sistema de comercialización de permisos. Dada una concentración específica de gases de efecto invernadero, el daño marginal asociado con cualquier tasa particular de emisiones es prácticamente constante.<sup>24</sup> Esto implica una pequeña pérdida social si, bajo una política fiscal, el grado de reducción varía con el coste marginal, pero una gran pérdida potencial al aplicar un nivel de reducción

(24) En cualquier momento, un aumento de la tasa de emisiones sólo tendrá un efecto insignificante en la concentración de gases de efecto invernadero y por tanto en el daño. A medida que las concentraciones aumentan, el razonamiento de Newell y Pizer (1998) implicaría una subida del impuesto óptimo sobre el carbono, dado el aumento del daño marginal, que es función de las concentraciones.

fijo, dada la existencia de incertidumbre en los costes. El razonamiento sería totalmente diferente si, debido al riesgo de que se produzcan daños catastróficos, se tuvieran importantes razones para limitar las concentraciones de gases de efecto invernadero por debajo de cierto nivel; sin embargo no existen datos sólidos para confirmar dicha conclusión.

También existe la posibilidad de utilizar una política mixta basada en el comercio de gases de efecto invernadero, pero con una válvula de seguridad en caso de que los costes aumenten demasiado (Pizer, 1997). En la práctica, esta política implicaría la emisión de permisos adicionales por parte del gobierno si el precio traspasara un nivel predeterminado (el cual podría cambiarse con el paso del tiempo).<sup>25</sup> Pizer (1999) muestra que con dicha política se puede lograr prácticamente la misma eficiencia que con un impuesto sobre el carbono.

La elección de una política de precios frente a una política de cantidades depende del grado en que dichas políticas afecten a la innovación, así como de los resultados estáticos de las mismas bajo el supuesto de incertidumbre. Fisher et al. (1998) muestran que, sea cual sea la política elegida, la capacidad para impulsar la innovación depende de una serie de factores, no siendo dominante una política frente a la otra a este respecto.

Como ya se ha señalado, las políticas de precios y de cantidades pueden diferir también en cuanto a sus consecuencias distributivas, en función de cómo estén diseñadas. Estas diferencias son especialmente sustanciales si la aplicación de las políticas de gases de efecto invernadero se efectúa a escala internacional, tema que se tratará más adelante.

### *5.3. Flexibilidad intertemporal y diseño de la política de gases de efecto invernadero*

Las reglas para el depósito y el préstamo de permisos se convierten, con el paso del tiempo, en otro componente clave del sistema de comercialización. En el corto plazo, el depósito y el préstamo se pueden considerar medidas que reducen los costes del cumplimiento de las cuotas, ya que permiten cierta capacidad de adaptación frente a los imprevistos (por ejemplo, un invierno más frío de lo habitual) y suavizan en el tiempo las fluctuaciones del grado de reducción de las emisiones. En el Protocolo de Kioto se incorpora, de forma muy limitada, dicha flexibilidad, al permitir a los países incluidos en el Anexo I promediar sus emisiones durante un período de cinco años (2008-2012).

Al considerar el depósito y el préstamo durante períodos más prolongados (Leiby y Rubin, 2000) aparecen cuestiones muy relevantes. Los tene-

---

(25) Una política de implementación de un sistema con válvula de seguridad en Estados Unidos se muestra en Kopp et al. (1999). Si los permisos se intercambiasen internacionalmente se necesitarían normas para prevenir que las entidades estadounidenses vendiesen todos sus permisos "base" con el fin de hacer saltar la válvula de seguridad. En otras palabras, los países deberían armonizar sus válvulas de seguridad, o bien se debería limitar la compraventa internacional de cuotas de emisión de carbono (tema que se analizará más adelante).

dores de los permisos estarán interesados en depositarlos cuando la tasa esperada de crecimiento del coste de la reducción de los gases de efecto invernadero sea mayor que el tipo de interés (el coste de mantenimiento de los permisos depositados). Por un lado, la posibilidad de arbitraje podría ser considerada como signo de una planificación ineficiente, desde una perspectiva temporal, de los objetivos de reducción, ya que no se consigue minimizar el valor presente del coste de lograr el nivel deseado de concentración de gases de efecto invernadero a largo plazo. Por otro lado, existe la posibilidad de que dicha opción sea óptima si se tienen en cuenta los costes y los beneficios derivados de evitar el cambio climático. En ese caso, los depósitos permiten una aceleración, ineficiente, del cambio climático en el futuro, cuando los permisos depositados sean liberados.

Al retrasar la reducción de las emisiones, el préstamo de los permisos también podría causar una cierta aceleración del cambio climático en el corto plazo, aunque este aspecto no parece tener gran importancia en la práctica. Un aspecto básico que sí parece ser relevante es el modo de compatibilizar los préstamos con objetivos de la política climática que sean creíbles a largo plazo. La existencia de un sistema de préstamo sería interesante para los prestatarios cuando sus objetivos fueran más restrictivos a corto plazo que a largo plazo. En principio, se podría evitar este problema con el diseño de un programa de comercio intertemporal de permisos de emisión. Concretamente, la política climática establecería el nivel de concentración de los gases de efecto invernadero en el largo plazo, mientras que los agentes privados podrían alcanzar dicho objetivo de la forma más eficiente en costes, adecuando su estrategia de reducción a lo largo del tiempo, con el fin de minimizarlos (véase, por ejemplo, Kosobud et al., 1994, Peck y Teisberg, 1998).<sup>26</sup> Dicho enfoque cuenta con numerosas ventajas en cuanto a la reducción de costes. Trasladar el perfil temporal del control de las emisiones al futuro, al mismo tiempo que se sigue logrando la estabilización, a largo plazo, de la atmósfera en el nivel deseado de concentración de gases de efecto invernadero, implica retrasar la obsolescencia del capital y abre la posibilidad de que se aprovechen mejor las futuras innovaciones relacionadas con la eficiencia energética. El consiguiente ahorro intertemporal en términos de costes podría ser, además, de gran relevancia, del orden del 50% o más (Manne y Richels, 1997).

Sin embargo, existen razones para dudar de la credibilidad de objetivos a tan largo plazo y, por tanto, de la posibilidad de que se pueda lograr un sistema de comercio intertemporal de gases de efecto invernadero con un objetivo de concentración arbitrario. Este dilema es un clásico ejemplo de un problema de compromiso. Quienes toman decisiones en la actualidad ven los beneficios económicos del retraso en el control de las emisiones, pero no pueden obligar a sus sucesores a adoptar unas medidas de control más estrictas para lograr el objetivo de concentración a largo plazo. En caso de que no haya

---

(26) No sería deseable que los gases de efecto invernadero se intercambiasen en el tiempo a razón de uno por uno. La causa es que las emisiones más antiguas cuentan con más tiempo para ser eliminadas de la atmósfera, mediante procesos naturales, que las más recientes y, por tanto y para un determinado momento, las emisiones más antiguas tienen, a largo plazo, un efecto menor respecto a la concentración de gases de efecto invernadero. Por ello, las más antiguas deberían requerir menos permisos por cada unidad de emisión.

un acuerdo, se obtiene un equilibrio en el que cada sucesivo grupo de decisores persigue políticas óptimas para ellos mismos, sin suponer que en el futuro se pagará por cualquier "deuda de carbono" que acumulen.

En otras palabras, el equilibrio final es el correspondiente a las predicciones de los modelos de evaluación integral que, como ya se ha señalado, indican la conveniencia, a medio y largo plazo, de mayores emisiones (menores reducciones) que las señaladas en el Protocolo de Kioto. Esta observación sugiere que puede ser más honrado negociar simplemente los objetivos a lo largo del tiempo, de manera que sean coherentes con la disposición que se manifieste respecto a pagar y a soportar los costes resultantes, en lugar de fijar límites más ambiciosos a corto plazo y, posteriormente, inventar políticas para evitarlos.

#### *5.4. El diseño de una política internacional respecto a los gases de efecto invernadero*

Las políticas de gases de efecto invernadero basadas en incentivos pueden aplicarse más allá de las fronteras nacionales. De hecho, un rasgo notable del Protocolo de Kioto es la incorporación explícita de diversos mecanismos de comercio de permisos de emisión. También es posible, en principio, considerar la coordinación de impuestos a escala internacional (Hoel, 1993). La teoría dice que estas políticas pueden generar resultados más eficientes en términos de costes que las políticas con menor "flexibilidad de localización" ("*where flexibility*"). De una forma explícita, los impuestos sobre el carbono convierten la ubicación de la reducción en algo endógeno, basado en las diferencias en los costes marginales. El comercio de las cuotas de emisión hace posible que los productores de bajos costes acumulen permisos o créditos con los que pueden obtener beneficios, a través de la venta de los mismos a los compradores, de altos costes, lográndose de nuevo una asignación endógena y eficiente en términos de costes del esfuerzo de control.

En principio, ambos enfoques pueden generar resultados eficientes en costes. El ahorro en costes previsto con el comercio es muy relevante, del orden del 50% o más en muchos casos (Weyant y Hill, 1999). Sin embargo, estas predicciones sobreestiman el ahorro que se puede lograr realmente, ya que ignoran las imperfecciones del mundo real a la hora de poner en marcha los programas. En ambos casos (impuestos y comercio de permisos) existen importantes problemas de carácter práctico, relacionados con la implementación, las consecuencias distributivas y la gestión.

En los impuestos sobre el carbono el dilema está (aparte de en la incertidumbre sobre los resultados cuantitativos de la reducción) en sus

---

(27) También sería posible que aquellos gobiernos con sistemas fiscales poco transparentes ocultaran fraudes en relación con los impuestos sobre el carbono a través de descuentos ocultos. Los gobiernos, además, podrían querer mostrar que tienen grandes costes del control de los gases de efecto invernadero para que aumentase así la percepción de la necesidad de ingresos redistributivos. Por el contrario, un gobierno capaz de beneficiarse de la venta de créditos de gases de efecto invernadero cuenta con el inventivo necesario para comportarse de la forma más eficiente posible a la hora de reducir las emisiones (Wiener, 1999).

implicaciones respecto a la distribución.<sup>27</sup> Unos tipos impositivos homogéneos tendrán consecuencias diferentes sobre los costes de las distintas economías, dependiendo de su renta per cápita y de la intensidad energética. En particular, es previsible que los países en vías de desarrollo consideren excesivos los costes de un elevado impuesto sobre el carbono acordado a escala internacional y que, por ello, demanden posteriormente una compensación a través de la redistribución de la recaudación tributaria obtenida. Es difícil imaginar cómo se podría lograr en la práctica dicha redistribución. No obstante, la diferenciación de los tipos impositivos ocasiona una nueva y complicada fuente de ineficiencia internacional en la asignación de los recursos. Se ha de tener en cuenta que los impuestos no son en sí mismos onerosos, al quedar la recaudación en el país, pero sí las inversiones que han de acometerse para la reducción, las cuales son estimuladas al establecerse dichos impuestos.

En el contexto del Protocolo de Kioto, que se centra sólo en los objetivos de emisión del Anexo I, el problema mencionado puede ser más controlable. McKibbin y Wilcoxon (1997) abogan por un conjunto de políticas nacionales "de válvula de seguridad", coordinadas a escala internacional, con un precio desencadenante ("*trigger price*"). Este enfoque reproduce, básicamente, los resultados de un impuesto coordinado sobre el carbono (sin redistribución de la recaudación) y conserva las ventajas de eficiencia de la política fiscal en un contexto de incertidumbre respecto a los costes.

Al menos superficialmente, un sistema de permisos parece adaptarse de una forma más natural al Protocolo de Kioto, que se ha centrado en los objetivos establecidos respecto a las emisiones y su periodificación. El comercio formal de los permisos de emisión nacionales entre los países del Anexo I (previsiblemente devueltos a los participantes, no gubernamentales, en el mercado, para lograr las ventajas del comercio de emisiones) es la primera opción contemplada en el Protocolo de Kioto. Esta opción es la más cercana que podemos tener a la versión "de manual" de un programa de comercio de emisiones. Otra opción es la llamada implementación conjunta (JI). A través de este mecanismo se generan créditos gracias al desarrollo de proyectos de reducción de emisiones en otros países del Anexo I. El tercer mecanismo es otra opción específica bilateral, al nivel de los proyectos, para generar créditos de carbono: el mecanismo de desarrollo limpio (CDM). Bajo el mecanismo de desarrollo limpio, la reducción de las emisiones por parte de los países que no tienen restricciones y no están incluidos en el Anexo I puede generar créditos de reducción de las emisiones para los países del Anexo I. En principio el mecanismo de desarrollo limpio permite lograr, con un bajo coste, la reducción de las emisiones propuestas para los países desarrollados, al mismo tiempo que genera beneficios tangibles para el país anfitrión, gracias a la transferencia de modernas tecnologías de baja emisión de carbono.<sup>28</sup>

---

(28) Para más detalles sobre el mecanismo de desarrollo limpio véase, por ejemplo, Golderberg (1998), Jepma y van der Gaast (1999), Grubb et al. (1999) y Haytes y Yamin (próxima publicación).

La aplicación práctica de estos mecanismos depende del funcionamiento de las instituciones, de su compatibilidad con otras políticas nacionales y de sus consecuencias sobre la distribución. Una cuestión relacionada con el comercio y la implementación conjunta entre los países del Anexo I es cómo garantizar que el comercio de los permisos no altere los límites nacionales de emisiones. Esta situación se produciría si un país fuera un vendedor neto de permisos o créditos de reducción y no cumpliera sus propias obligaciones, acordadas en el Protocolo de Kioto, "exportando" así su propio incumplimiento.

Debido a que las dos partes implicadas son países del Anexo I, uno de ellos o ambos podrían ser responsabilizados del incumplimiento del Protocolo de Kioto (ya se ha señalado anteriormente que, en la práctica, las medidas internacionales para lograr el cumplimiento pueden ser limitadas). Hacer responsables a los países vendedores implica inculpar directamente a las partes que tienen capacidad para resolver el problema y asegura que todos los créditos o permisos lleven asociados, aproximadamente, los mismos niveles de confianza, disminuyendo así los costes de transacción en el comercio. Las medidas relacionadas con la responsabilidad del vendedor pueden implementarse antes de que tengan lugar los hechos, exigiendo que todos los países demuestren que cuentan con la capacidad necesaria para limitar sus propias emisiones y, en caso de sobrepasar los límites, suspendiendo todo privilegio de venta. Si es políticamente inviable hacer responsable al vendedor que no haya respetado sus límites de emisión, otra opción es que la responsabilidad recaiga sobre el comprador. Esta situación complicaría en gran medida las operaciones comerciales, pues habría que evaluar el "pedigrí" de los diferentes créditos o permisos, y los compradores individuales deberían tomar costosos seguros (por ejemplo, mediante créditos adicionales) contra los riesgos que vayan más allá de los propios de cualquier proyecto de reducción.<sup>29</sup>

Entre las cuestiones clave que giran alrededor del mecanismo de desarrollo limpio y de la implementación conjunta está la de diseñar un sistema creíble de control y de cumplimiento que no imponga costes de transacción muy elevados, que lleven al fracaso de los proyectos y del comercio de créditos. No se iniciará un proyecto si el tiempo, el esfuerzo y la búsqueda de financiación, la negociación, la aprobación y la obtención de los permisos gubernamentales son demasiado onerosos. Esta situación es especialmente delicada en el caso del mecanismo de desarrollo limpio, en el que los riesgos de la inversión son siempre elevados y en el que la heterogeneidad de los proyectos hace muy difícil definir unos criterios básicos razonables que permitan evaluar el control de las emisiones y los créditos.

Esta situación nos lleva a considerar ciertos dilemas presentes en el mecanismo de desarrollo limpio, asociados con el respeto a la integridad medioambiental. Si el país anfitrión, que no pertenece al Anexo I, no tiene límite nacional alguno sobre sus emisiones, no es lógico pedir responsabilidades al país vendedor del Anexo I. Sólo se pueden pedir responsabi-

---

(29) Para ampliar el tema de la responsabilidad véase Kerr (1998).

lidades al nivel de los proyectos. En ese contexto sí puede tener sentido el hacer responsables de la ejecución y resultados del proyecto a los inversores o compradores de créditos del Anexo I, incluso aunque esta política introduzca el problema de la diferenciación de la calidad de los créditos de reducción apuntado previamente. La razón es que los inversores o compradores del Anexo I sí están sujetos a cualquier medida de cumplimiento que sus gobiernos decidan imponer; además, de esa manera estarán más implicados económicamente en el proyecto, con lo que tendrán un mayor incentivo para gestionar cuidadosamente todos aquellos posibles riesgos que dificulten la ejecución del mismo (Kerr, 1998). Otro dilema al que se enfrentan los supervisores internacionales es que, con el fin de dar una imagen que les beneficie respecto a los resultados del proyecto, tanto el país inversor como el anfitrión tienen incentivos para explotar las informaciones privilegiadas de la que disponen respecto al proyecto y para aprovecharse, también, de la inexistencia de límites nacionales respecto a las emisiones del país anfitrión (Hagem, 1996).

El comercio internacional de gases de efecto invernadero no se compatibiliza fácilmente con la diversidad de políticas nacionales que existen a este respecto (Han y Stavins, 1999). La compraventa formal de cuotas supone la implementación gradual de algún tipo de programa nacional de permisos. En principio la implementación conjunta podría desarrollarse a pesar de la existencia de medidas nacionales heterogéneas, pero en la práctica este enfoque plantea graves dificultades.<sup>30</sup>

El último tema de esta sección está relacionado con las consecuencias que, respecto a la distribución, tienen las políticas de comercio de permisos, en comparación con los impuestos sobre el carbono (previamente estudiados). Wiener (1999) examina el impacto de dos parámetros legales básicos, que difieren a nivel nacional y global, a la hora de elegir el mecanismo regulador: las reglas de votación y las estructuras de implementación. En un contexto nacional, el regulador puede imponer cualquiera de los mecanismos por decreto. Sin embargo, los tratados internacionales sobre el clima dependen del consentimiento voluntario de los países y de su implementación por parte de los gobiernos nacionales. Wiener sostiene que las transferencias internacionales, a los países en vías de desarrollo, son decisivas para ampliar el grado de participación en el control de los gases de efecto invernadero y en la estabilización de la atmósfera, y que dichas transferencias se llevan a cabo con más flexibilidad, con más efectividad y con una mayor seguridad política mediante la asignación internacional de derechos sobre los gases de efecto invernadero y su

---

(30) Hahn y Stavins (1999) señalan, además, las dificultades prácticas de la implementación conjunta de un programa internacional específico de transacciones basado en créditos, cuando existen medidas nacionales relacionadas con los gases de efecto invernadero heterogéneas, y destacan la existencia de un *trade-off* entre la eficiencia internacional en costes y la soberanía política nacional. Por ejemplo, la implementación conjunta crea oportunidades de arbitraje si el impuesto sobre el carbono de un país es mayor que el precio de los créditos de implementación conjunta; estos créditos pueden utilizarse para compensar las responsabilidades nacionales del impuesto sobre el carbono. Las dificultades sólo podrían aminorarse armonizando los impuestos sobre el carbono internacionalmente o renunciando a la compraventa internacional.

venta en los mercados, que mediante la redistribución intergubernamental de la recaudación tributaria obtenida al gravar el carbono.

Cooper (1998) aborda la cuestión de la posibilidad de lograr acuerdos internacionales acerca del comercio de las emisiones. Así, advierte que para llegar a un acuerdo de esas características se necesitaría una gran negociación sobre la división de una riqueza inmensa y considera que las posibilidades de que se lleve a cabo tal negociación son remotas. En su lugar, señala que la coordinación de las políticas de gases de efecto invernadero debería centrarse en recomendar a los países que establezcan individualmente impuestos sobre el carbono, sin redistribución. Sin embargo, si no se es tan optimista como Cooper en el sentido de esperar que los países en vías de desarrollo impongan por sí mismos sustanciales impuestos sobre el carbono, y si se rechaza la opción de adoptar tipos impositivos heterogéneos (para evitar excesivas distorsiones), entonces sólo quedan soluciones políticas, que implican un muy limitado compromiso con el objetivo de controlar las emisiones de los gases de efecto invernadero. Como el grado de compromiso nacional sería igualmente limitado, las dificultades para alcanzar acuerdos sobre la distribución de las cuotas de carbono serían también menores.

Nordhaus (1997) aborda la cuestión de compartir los costes y la eficiencia con la propuesta de un mecanismo innovador para que, individualmente, los países puedan revelar su "disposición a pagar" por la reducción del cambio climático. Nordhaus considera este problema como un equilibrio entre la equidad y las ganancias o pérdidas de un país a causa del cambio climático. Aunque este mecanismo no está completamente desarrollado, sirve para ilustrar un enfoque que intenta lograr una mayor participación en el control de los gases de efecto invernadero, al mismo tiempo que se comparten los costes equitativamente; véase también Edmonds et al. (1995), Manne y Richels (1997) y Rose et al. (1998).

### *5.5. Las políticas no basadas en incentivos*

Como ya se ha señalado, las políticas basadas en incentivos promueven la difusión de aquellas tecnologías ya existentes no intensivas en carbono y el desarrollo de nuevas tecnologías al respecto. Esta afirmación nos lleva a considerar si es necesario desarrollar políticas adicionales –no basadas en precios–, para fomentar la inversión y el avance tecnológico respetuoso con el medioambiente. Los defensores de dichas políticas señalan que los incentivos económicos no son adecuados para cambiar el comportamiento en el nivel requerido para que el riesgo climático se reduzca; en vez de ello, son partidarios de la educación y de los programas de demostración; de las reformas institucionales, como los cambios en la normativa sobre la construcción y en los reglamentos sobre los servicios públicos; y de los requerimientos tecnológicos, como las normas relacionadas con el ahorro de combustible en los automóviles o la utilización de fuentes de energía renovable para la generación de electricidad.

No hay duda de que dichos enfoques podrían a la larga reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, pero se cuestiona la eficiencia en términos de costes de los mismos. Los partidarios de la imposición de

determinadas tecnologías suelen alegar que los costes asociados son insignificantes porque el ahorro logrado en los costes de la energía compensa con creces el coste inicial de la inversión. Sin embargo, esta visión no considera diversos factores que afectan a la elección de la tecnología y, además, supone que los usuarios de la energía no toman sus decisiones de una forma racional. La mayor parte de los análisis económicos reconocen que hay ineficiencias en la utilización de la energía, pero son escépticos respecto a la posibilidad de obtener significativas mejoras en este campo. Los análisis económicos también reconocen que cabe la intervención del gobierno cuando los consumidores carecen de toda la información o cuando las instituciones de control existentes están mal diseñadas. Dentro del papel del gobierno se pueden incluir la concesión de subvenciones para la I+D de carácter básico, con el fin de compensar el deficitario sistema de patentes; la reforma de la regulación del sector energético y la eliminación de aquellas subvenciones que fomenten el despilfarro energético; y la mejora de la información disponible sobre nuevas posibilidades tecnológicas (Jaffe et al., 1999).

Del análisis económico no se concluye que no existan alternativas de bajo coste que permitan lograr una mayor eficiencia energética. Antes bien, el análisis económico insiste en la necesidad de identificar las ineficiencias que existen realmente en los mercados, las cuales impiden las elecciones de bajo coste, con el fin de diferenciarlas de aquellas barreras que reflejan costes directos u ocultos inevitables. Algunos fallos del mercado son obvios, tales como las subvenciones a la energía, que fomentan su despilfarro; la regulación ineficiente del sector eléctrico; los incentivos inadecuados para I+D, destinados al sector privado, y la falta de información, que dificulta el que los compradores efectúen las inversiones de la forma más pertinente. Otras barreras son más polémicas.<sup>31</sup>

En los países en vías de desarrollo pueden existir importantes distorsiones en los mercados energéticos y otras barreras que dificulten la generalización de las tecnologías eficientes en costes. Estas barreras pueden estar formadas por otras políticas económicas y por problemas de infraestructuras. Allí donde haya barreras a la difusión de la tecnología existe la oportunidad de introducir reformas de mercado, para que mejore la eficiencia económica y el medioambiente.<sup>32</sup> Esta estrategia probablemente proporcionará mejores resultados que la imposición de medidas que regulen la expansión y la adopción de dicha tecnología.

---

(31) Para una discusión más amplia y para tener visiones alternativas sobre estos aspectos, véase Geller y Nadel (1994), Metcalf (1994), Jaffe y Stavins (1994), Levine et al. (1995) y Newell et al. (1999). Otro aspecto de este debate son las perspectivas que existen respecto a la posibilidad de estimular las innovaciones que aumenten la eficiencia mediante las políticas de gases de efecto invernadero y de eficiencia energética. En general, las políticas basadas en incentivos económicos influyen positivamente en la incorporación de innovaciones que facilitan la reducción de los gases de efecto invernadero, tal y como se ha expuesto previamente, aunque pueden producirse efectos compensatorios a causa del desplazamiento de la inversión hacia otras actividades innovadoras (Goulder y Schneider, 1999). Esta afirmación no siempre es válida en el caso de las políticas tecnológicas o de creación de mercados, las cuales pueden favorecer sólo a un reducido rango de opciones tecnológicas.

(32) Para una discusión más amplia de estas cuestiones, véase Blackman (1997) y López (1999).

## 6. EL ANÁLISIS ECONÓMICO Y LOS ACUERDOS INTERNACIONALES SOBRE EL CLIMA

Las fuentes del riesgo del cambio climático –el uso de combustibles fósiles y la modificación del uso de la tierra– están distribuidas globalmente; por tanto, la responsabilidad a la hora de resolver el problema también debe ser compartida globalmente. Este hecho se puede ilustrar de una forma muy clara con los cálculos sobre los futuros cambios en los gases de efecto invernadero de la atmósfera presentados por Jacoby et al. (1998). Estos autores analizan las consecuencias de mantener y reforzar los actuales controles de los gases de efecto invernadero en los países industrializados del Anexo I, mientras se permite un rápido y despreocupado crecimiento de las emisiones normales en los países en vías de desarrollo. Las proyecciones indican que, incluso si el mundo desarrollado consigue que sus emisiones netas de gases de efecto invernadero lleguen a cero a finales de este siglo, el impacto sobre la atmósfera será escaso, debido al aumento de las emisiones de los países en desarrollo.

Ahora bien, la necesidad de una reducción global de los gases de efecto invernadero si se quiere lograr la estabilización de la atmósfera a largo plazo deja abierta la cuestión de cómo distribuir los costes para conseguir dicho objetivo. Como respuesta a los riesgos del cambio climático, la Convención Marco de las Naciones Unidas postula “responsabilidades comunes pero diferenciadas”, tanto para los países ricos como para los países pobres. Esto suele interpretarse como una petición de responsabilidades respecto al control de las emisiones, pero también se puede aplicar a la más amplia cuestión de la distribución de los costes.

El objetivo de una política internacional es obvio, si bien difícil de conseguir: encontrar incentivos para que los países, con importantes y muy diferentes intereses propios, se encaminen voluntariamente hacia el objetivo común de reducir las emisiones de carbono. En esta sección consideramos dos elementos relevantes a la hora de establecer y mantener un acuerdo internacional efectivo. El primero refleja un dilema general: cuanto más dispersa se encuentre la responsabilidad, mayor será la dificultad para mantener un acuerdo estable, ya que los países tendrán más incentivos para actuar como *free-riders* respecto a las acciones tomadas por los demás. La cuestión se complica si se tienen en cuenta las diferencias existentes entre las naciones respecto a la renta, la vulnerabilidad ante el cambio climático y la capacidad de respuesta. El otro aspecto consiste en el desafío que supone el intento de aumentar la participación en los acuerdos climáticos globales, incorporando a las naciones en desarrollo a través de mecanismos que sean aceptables tanto para los países ricos como para los países pobres.

### 6.1. La paradoja de los acuerdos internacionales

El problema de lograr acuerdos efectivos y duraderos puede resumirse de la siguiente manera: es más fácil llegar a algún tipo de acuerdo que se imponga por sí mismo cuando el interés por el tema es escaso o, en el otro extremo, cuando no existen otras opciones (un riesgo presente y claro). En primer lugar, debido a que no existe nada parecido a una “poli-

cía global” que obligue a cumplir los acuerdos internacionales sobre el clima, cualquier acuerdo debe ser voluntario y debe tender a imponerse por sí mismo; los países soberanos implicados no deben tener ningún incentivo para desviarse unilateralmente de los términos del acuerdo. Los estados comparten un interés común al reaccionar ante el riesgo del cambio climático. Sin embargo, debido a que el cambio climático es un bien público global (no se puede impedir que un estado se beneficie de la protección del clima, independientemente de que participe o no en el tratado), los gobiernos tendrán escasos incentivos para reducir los gases de efecto invernadero de forma unilateral.

Esta reticencia queda superada si el acuerdo internacional se implementa con éxito. Sin embargo, algunos estados obtendrán mayores beneficios si se mantienen fuera del acuerdo y se comportan como *free riders*. Cuanto mayores sean los beneficios globales netos de cooperar en relación con los beneficios que cualquier país pudiese conseguir actuando solo, mayor será el incentivo para actuar como *free riders*. Un acuerdo tiene más probabilidades de perdurar cuando los beneficios globales netos no son muy diferentes de los que se obtendrían sin acuerdo. Esta situación se produciría si, por ejemplo, sólo unos pocos países fueran responsables de la mayor parte del problema, o bien si el riesgo de cambio climático fuese tan elevado que todos los países quisieran, de forma unilateral, poner en marcha fuertes medidas al respecto. Por el contrario, sería más difícil lograr un acuerdo en las situaciones intermedias –como es el caso del cambio climático–, en las que el riesgo global del cambio climático puede ser muy elevado, pero los beneficios individuales pueden ser reducidos, como consecuencia del comportamiento de los demás (para más detalles, véase Hoel, 1992, Carraro y Siniscalco, 1993, Barrett, 1994 y Bac, 1996). Barret (1994) sostiene que un acuerdo internacional sólo funcionará si los beneficios logrados gracias al acuerdo son modestos o si el número de participantes es muy pequeño (unos pocos países). Por desgracia, estas condiciones no presagian nada bueno para la consecución de un acuerdo sobre el cambio climático, al menos uno que comprenda un número elevado de países.

Incluso si el acuerdo implicase sólo a algunos de los grandes países emisores, como los Estados Unidos y la Unión Europea, las emisiones totales probablemente seguirían superando el nivel globalmente deseado si los países pequeños permanecieran fuera del acuerdo. Por su parte, en los países industrializados existe cierta preocupación respecto a las consecuencias de la reducción de las emisiones en sus economías cuando en los países en vías de desarrollo no existen límites. Esta situación podría afectar negativamente a las ventajas comparativas del mundo industrializado, en un contexto en el que, por si lo anterior no fuera ya suficiente, la “fuga” de las emisiones desde los países controlados a los no controlados reduciría la efectividad medioambiental de dicho acuerdo parcial. Las estimaciones de esta “fuga de carbono” varían, dependiendo de los supuestos del modelo en relación con la sustituibilidad de las producciones en los diferentes países y de otros factores, entre porcentajes pequeños y más de un tercio de las reducciones del Anexo B (Weyand y Hill, 1999).

Por otro lado, los países en vías de desarrollo tienen muchas necesidades inmediatas urgentes, como el agua potable o la provisión de alimentos, y una menor capacidad financiera y técnica que los países ricos para mitigar o adaptarse al cambio climático. Estos países consideran que el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero –tanto totales como per cápita– forma parte de su intento por mejorar el nivel de vida. Por ello, los incentivos que tienen a la hora de firmar un acuerdo que, desde su perspectiva, les impone unos costes inaceptables son muy limitados.

Los países firmantes pueden intentar atenuar los comportamientos de *free-rider* que se producen respecto al cambio climático, tomando represalias como amenazas y sanciones comerciales (véase, por ejemplo, Chen, 1997). No obstante, la capacidad de disuasión de un país es ciertamente limitada. Los incentivos que tiene un país para desviarse del acuerdo dependen del interés que tenga el defraudar a corto plazo en comparación con las pérdidas de una penalización en el largo plazo. Los estados participantes deben considerar como algo beneficioso la aplicación efectiva de un castigo, pues de otro modo la amenaza de represalias no sería creíble. Surgen problemas de credibilidad cuando, por ejemplo, las represalias tomadas a través de sanciones comerciales dañan tanto al país que impone la sanción como al que se ha comportado como un *free-rider*. Es más, debido a que existen diversas formas de sanción, los estados deberían seleccionar aquellos métodos que pudieran ser aceptados por todos, lo cual implicaría probablemente otro proceso de negociación (véase, por ejemplo, Dockner y Long, 1993).

Si una política de amenazas no consigue los efectos deseados, ¿por qué no intentar una política de incentivos?. Una posibilidad consiste en encontrar políticas más eficientes que reduzcan los costes de participación de todos los países. En particular, las políticas climáticas basadas en incentivos pueden ayudar a todos los países a reducir los costes de acometer dichas acciones. Desde esta perspectiva, son importantes los mecanismos introducidos en el Protocolo de Kioto respecto al comercio internacional de cuotas de emisión. A menudo se olvida este punto cuando se señala que el comercio de emisiones debilitará los acuerdos internacionales, debido a la “exportación” del fraude por parte del país vendedor.

Además de encontrar mecanismos para reducir los costes de todos los participantes, es necesario considerar la posibilidad de redistribuir los recursos mediante pagos adicionales que faciliten el acuerdo. Este punto es especialmente importante para conseguir la participación de los países en vías de desarrollo de baja renta, cuya implicación a largo plazo es crucial, pero cuya disposición y capacidad para el pago son limitadas. Más adelante volveremos sobre este aspecto.

## 6.2. El diseño de acuerdos sobre el clima y los países en vías de desarrollo

A la hora de diseñar acuerdos internacionales, es fundamental tener en cuenta las cuestiones relacionadas con la equidad, si es que se pretende lograr la participación de los países en vías de desarrollo. No obstante, las diferentes percepciones sobre lo que se considera una distribución equitativa del esfuerzo o de los costes dificultan cualquier acuerdo.

Los diferentes enfoques sobre el tema de la distribución muestran también consecuencias diversas en cuanto a la eficiencia en costes y a su aceptación política. Consideremos cada uno de estos aspectos por orden.

No existe un patrón generalmente aceptado para establecer la equidad de una asignación cualquiera de responsabilidades sobre el control de los gases de efecto invernadero. Así, no es probable que unas sencillas reglas generales, como la asignación de responsabilidades basada en el mismo derecho de emisión per cápita (beneficiosa para los países en vías de desarrollo), o en la correlación positiva con las emisiones pasadas y presentes (beneficiosa para los países desarrollados), se hagan acreedoras de un amplio apoyo político internacional. Lo mismo ocurre con varias "fórmulas graduales" dinámicas que persiguen incrementar progresivamente las responsabilidades del control en los países en vías de desarrollo a medida que prosperan económicamente, si bien estos enfoques dinámicos ofrecen una mayor flexibilidad de negociación.<sup>33</sup> Se deduce pues que los acuerdos de distribución deben surgir de una forma endógena dentro del marco de la negociación internacional, en lugar de surgir de una forma exógena a partir de principios filosóficos consensuados.

Suponiendo que, en principio, se llega a un acuerdo sobre la asignación de las responsabilidades, se podrían desarrollar una serie de mecanismos. Los pagos adicionales directos, mediante asistencia técnica de tipo financiero o a bajo coste, pueden aumentar los incentivos para incorporarse al acuerdo. El comercio de permisos de emisión también permite efectuar pagos adicionales mediante la distribución internacional de los límites nacionales de emisión. Se podría atraer a los países más reticentes fijándoles objetivos menos rigurosos, que facilitarían la venta de las cuotas de emisión que les sobrarán; simultáneamente, otros países tendrían objetivos más ambiciosos, con lo que se obtendría el mismo resultado respecto a las emisiones globales.

En el Protocolo de Kioto se empleó esta fórmula para los casos de Rusia y Ucrania. En ocasiones se la denomina "*headroom*" ("techo"), pero ha acabado conociéndose como "*hot air*" ("aire caliente"), término usado por sus detractores, los cuales temen que ralentice todo progreso internacional en materia medioambiental y proporcione a los países más industrializados –como Estados Unidos– una forma barata de no recortar sus propias emisiones. No obstante, si esta opción de reducción de costes no hubiera sido incluida en la versión final de Kioto es posible que los Estados Unidos y otros países no hubieran aceptado el Protocolo o no se logaran realmente los objetivos de emisión planteados.<sup>34</sup>

Las reasignaciones internacionales de riqueza que tienen lugar con el comercio de permisos de emisión generan gran cantidad de debates polí-

(33) Respecto a los diferentes métodos de asignación y sus consecuencias, véase por ejemplo Burtraw y Toman (1992), Rose y Stevens (1993), Manne y Richels (1995), Schelling (1995), Rose et al. (1998) y Yang (1999).

(34) Para una discusión más amplia, véase Wiener (1999).

ticos de carácter nacional. Por ejemplo, imaginemos el debate interno que habría si la administración estadounidense decidiese transferir anualmente miles de millones de dólares a Rusia para adquirir sus permisos de emisión,<sup>35</sup> o quizá a China en un acuerdo posterior. Los críticos señalan ciertas características perversas del comercio internacional de cuotas de emisión: sin comercio, los costes de mitigación son demasiado elevados para ser políticamente aceptables; con comercio, la distribución internacional de esos costes sigue siendo políticamente inaceptable.

El dilema ha provocado que algunos observadores señalen que la única opción aceptable son los impuestos, de carácter nacional, sobre el carbono (Cooper, 1998). Sin embargo, este enfoque no es la panacea en lo que respecta a la distribución. Como ya se ha señalado, hay problemas a la hora de asignar los derechos y las responsabilidades en cualquier acuerdo internacional de control de los gases de efecto invernadero y ello afecta también a los impuestos. La defensa de los impuestos se basa en la mayor o menor voluntad de los países en vías de desarrollo respecto al establecimiento de impuestos sobre la energía sustancialmente más elevados que los vigentes en la actualidad. Aunque dichos países obtendrían algunas ventajas (por ejemplo, mayor seguridad en la recaudación en comparación con los impuestos sobre la renta), en la práctica no es evidente que las ventajas sean tan convincentes. Si los países en vías de desarrollo no desean establecer por su propia cuenta impuestos sustancialmente más elevados sobre la energía, se requerirán transferencias internacionales de renta para animarles a que participen en un sistema fiscal coordinado. Como indica Wiener (1999), es muy probable que este sistema sea más ineficiente y, desde un punto de vista político, más problemático que la redistribución ocasionada mediante las transacciones de mercado de los permisos de emisión. Sin embargo, sin dicha coordinación el enfoque basado en los impuestos se convierte en un ineficiente acuerdo parcial, como el Protocolo de Kioto, con todos sus problemas.

Para finalizar esta sección, volvemos al enfoque ya mencionado de las fórmulas de participación gradual de los países en vías de desarrollo en los acuerdos obligatorios. Bajo este enfoque, los países en vías de desarrollo asumen progresivamente mayores responsabilidades a lo largo del tiempo o a medida que aumenta su renta per cápita. Algunas propuestas incluyen la participación escalonada en la estabilización de las emisiones y en los objetivos de reducción, con la posibilidad de converger en los mismos niveles de emisión per cápita (para un análisis ilustrativo, véase Edmonds et al., 1995, Manne y Richels, 1997, y Rose et al., 1998).

La periodificación y el nivel de control de las emisiones para los países en vías de desarrollo son parámetros que se establecerían en una negociación internacional, teniendo siempre en cuenta el objetivo final respecto a la concentración de gases de efecto invernadero a largo plazo, que implica limitar las emisiones globales. Así, una vez fijado el objetivo final, la negociación sobre las obligaciones de los países en vías de desarrollo conlleva un conjunto simétrico de obligaciones para los países

---

(35) Véase Victor et al. (1998)

desarrollados. Cuanto más alto sea el "techo" ("headroom") de los países en vías de desarrollo, mayor deberá ser el control de las emisiones en los países del Anexo I. De este modo, la negociación de un mecanismo de aplicación gradual implica reglas para compartir responsabilidades. Las reglas pueden ser una opción de *second-best* si se comparan con una transferencia de riqueza más directa,<sup>36</sup> pero el carácter indirecto que tiene el hecho de compartir responsabilidades puede hacer que, desde un punto de vista político, este enfoque sea más atractivo, a medio plazo, que una distribución negociada de las cuotas de emisión o un enfoque basado en los impuestos.

## 7. CONCLUSIONES

El cambio climático presenta riesgos para la sociedad. Al igual que en otras cuestiones medioambientales –aunque probablemente en mayor medida–, se deben abordar aspectos complejos relativos a la eficiencia y a la equidad. En este trabajo se ha revisado la naturaleza del problema y se ha examinado cómo la economía ha contribuido o puede contribuir a su comprensión.

Una conclusión muy simple, pero importante, es que los incentivos económicos son necesarios para llevar a cabo políticas de control creíbles y efectivas en términos de costes. Mucho más importantes son los *trade-off* políticos y económicos entre la flexibilidad y el rigor a la hora de diseñar las políticas climáticas, existiendo notables incertidumbres respecto a los beneficios y a los costes de la intervención. Además, es necesaria la participación internacional para poder abordar de forma efectiva cualquier cuestión climática, y existen importantes retos a la hora de establecer acuerdos que sean sustanciales en cuanto a sus objetivos y que sean creíbles desde la perspectiva de su implementación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bac, M. (1996): "Incomplete Information and Incentives to Free Ride on International Environmental Resources", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 30, nº 3, pp. 301-15.
- Barrett, S. (1994): "Self-Enforcing International Environmental Agreements", *Oxford Economic Papers*, vol. 46, pp. 878-94.
- Bernstein, P. et al. (1999): "Effects of Restrictions on International Permit Trading: The MSMRT Model", *The Energy Journal, Special Issue on the Costs of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation*, pp. 221-256.

---

(36) Si, con el fin de utilizar los sistemas de reducción más eficientes en términos de costes, se combina el gradualismo con la compraventa internacional de cuotas de emisión, el resultado no tiene por qué ser peor que el derivado de otros programas que exijan compartir las responsabilidades.

- Blackman, A. (1997): "The Economics of Technology Diffusion: Implications for Greenhouse Gas Mitigation in Developing Countries", *RFF Climate Issues Brief*, 5, octubre, Resources for the Future, Washington, DC.
- Bovenberg, A. L. y Goulder, L. H. (2000): "Neutralizing the Adverse Industry Impacts of CO<sub>2</sub> Abatement Policies: What Does It Cost?", en Carraro C. y Metcalf G. (Eds), *Behavioral and Distributional Effects of Environmental Policies: Evidence and Controversies*, University of Chicago Press, Chicago.
- Burtraw, D. y Toman, M. A. (1992): "Equity and International Agreements for CO<sub>2</sub> Containment", *Journal of Energy Engineering*, vol. 118, n° 2, pp. 122-35.
- Camerer, C. F. y Kunreuther, H. (1989): "Decision Processes for Low Probability Events: Policy Implications", *Journal of Policy Analysis and Management*, vol. 8, n° 4, pp. 565-92.
- Carraro, C. y Siniscalco, D. (1993): "Strategies for the International Protection of the Environment", *Journal of Public Economics*, vol. 52, n° 3, pp. 309-28.
- Chen, Z. (1997): "Negotiating an Agreement on Global Warming: A Theoretical Analysis", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 32, n° 2, pp. 170-88.
- Cooper, R. (1998): "Toward a Real Global Warming Treaty", *Foreign Affairs*, vol. 77, marzo-abril, n°2, pp. 66-79.
- Costanza, R. *et al.* (1997): "The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital", *Nature*, vol. 387, pp. 253-60.
- Cramton, P. y Kerr, S. (1998): "Tradable Carbon Permit Auctions: How and Why to Auction not Grandfather", Documento de trabajo 98-34, Resources for the Future, Washington, D.C.
- Docknier, E. y Van Long, N. (1993): "International Pollution Control: Cooperative Versus Noncooperative Strategies", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 24, pp. 13-29.
- Edmonds, J. *et al.* (1995): "Carbon Coalitions: The Cost and Effectiveness of Energy Agreements to Alter Trajectories of Atmospheric Carbon Dioxide Emissions", *Energy Policy*, vol. 23, pp. 309-35.
- EIA (Energy Information Agency) (1999): *Emissions of Greenhouse Gases in the United States 1998. Report #EIA/DOE-0573(98)*, Washington, D.C. EIA, U.S. Department of Energy.
- Epstein, L. G. (1980): "Decision Making and the Temporal Resolution of Uncertainty", *International Economic Review*, vol. 21, pp. 269-83.

- Fischer, C. *et al.* (1998): "Using Emissions Trading to Regulate U.S. Greenhouse Gas Emissions: An Overview of Policy Design and Implementation Issues", *National Tax Journal*, vol. 51, pp. 453-64.
- Frederick, K. D. *et al.* (Eds) (1997): "Water Resources Planning Principles and Evaluation Criteria for Climate Change", *Climatic Change*, vol. 36 (número especial).
- Freixas, X. y Laffont, J. J. (1984): "The Irreversibility Effect", en Boyer, M. y Kihlstrom, R. (eds.), *Bayesian Models in Economic Theory*, North-Holland, Amsterdam.
- Geller, H. y Nadel, S. (1994): "Market Transformation Strategies to Promote End-Use Efficiency", *Annual Review of Energy and the Environment*, vol. 19, pp. 301-46.
- Gjerde, J.; Greppud, S. y Kverndokk, S. (1999): "Optimal Climate Policy Under the Possibility of a Catastrophe", *Resource and Energy Economics*, vol. 21, nº 3-4, pp. 289-317.
- Goldemberg, J. (1998): *Issues and Options: The Clean Development Mechanism*, United Nations Development Programme, Nueva York.
- Goulder, L. H. (1995): "Environmental Taxation and the -Double Dividend- A Reader's Guide", *International Tax and Public Finance*, vol. 2, pp. 157-83.
- Goulder, L. H. y Mathai, K. (2000): "Optimal CO<sub>2</sub> Abatement in the Presence of Induced Technological Change", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 39, nº 1, pp. 1-38.
- Goulder, L. H. y Schneider, S. H. (1999): "Induced Technological Change and the Attractiveness of CO<sub>2</sub> Abatement Policies", *Resource and Energy Economics*, vol. 21, nº 3-4, pp. 211-53.
- Grubb, M. J.; Chapuis, T. y Minh, H. D. (1995): "The Economics of Changing Course: Implications of Adaptability and inertia for Optimal Climate Policy", *Energy Policy*, vol. 23, nº 4/5, pp. 417-32.
- Grubb, M. J.; Vrolijk, C. y Brack, D. (1999): *The Kyoto Protocol: A Guide and Assessment*, Royal Institute of International Affairs, Londres.
- Ha-Duong, M.; Grubb, M. J. y Hourcade, J. C. (1997): "Influence of Socio-economic Inertia and Uncertainty on Optimal CO<sub>2</sub> Emission Abatement", *Nature*, vol. 390, pp. 270-73.
- Hagem, C. (1996): "Joint Implementation Under Asymmetric Information and Strategic Behavior". *Environmental and Resource Economics*, vol. 8, pp. 431-47.
- Hahn, R. W. y Stavins, R. N. (1999): "What Has Kyoto Wrought? The Real Architecture of International Tradable Permit Markets", RFF Discussion, Paper 99-30. Washington, DC. Resources for the Future.

- Haites, E. y Yamin, F. (1996): "The Clean Development Mechanism: Proposals for Its Operation and Governance", *Global Environmental Change*, en prensa.
- Hammitt, J. K.; Jain, A. K. y Adams, J. L. (1996): "A Welfare-Based Index for Assessing Environmental Effects of Greenhouse Gas Emissions", *Nature*, vol. 381, pp. 301-3.
- Hanemann, W. M. (1989): "Information and the Concept of Option Value", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 16, pp. 23-37.
- Hargrave, T. (1998): "US Carbon Emissions Trading: Description of an Upstream Approach", Airlie Paper. Washington, DC, Center for Clean Air Policy.
- Hoel, M. (1992): "International Environmental Conventions: The Case of Uniform Reductions of Emissions". *Environmental and Resource Economics*, vol. 2, n° 2, pp. 141-59.
- Hoel, M. (1993): "Intertemporal Properties Of An International Carbon Tax", *Resource and Energy Economics*, vol. 15, pp. 51-70.
- Hoel, M. (1998): "Emission Taxes versus Other Environmental Policies", *Scandinavian Journal of Economics*, vol. 100, n° 1, pp. 79-104.
- Hoel, M. y Karp, L. (1998): "Taxes Versus Quotas for a Stock Pollutant". *Foundazione Eni Enrico Mattel Note di Lavoro*, 29/98.
- Hourcade, J. C. et al. (1996a): "A Review of Mitigation Cost Studies", en Bruce, J. P.; Horsang, E. y Haites F. (eds.), *Climate Change 1995. Economic and Social Dimensions of Climate Change*, Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, University of Cambridge Press, Nueva York, pp. 263-96.
- Hourcade, J. C. et al. (1996b): "A Review of Mitigation Cost Studies", en Bruce, J. P.; Horsang, E. y Haites F. (eds.), *Climate Change 1995. Economic and Social Dimensions of Climate Change*, Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, University of Cambridge Press, Nueva York, pp. 297-306.
- Howarth, R. H. (1996): "Climate Change and Overlapping Generations", *Contemporary Economic Policy*, vol. 14, pp. 100-11.
- Howarth, R. H. (1998): "An Overlapping Generation Model of Climate-Economy Interactions", *Scandinavian Journal of Economics*, vol. 100, n° 3, pp. 575-91.

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1996a): *Climate Change 1995.- The Science of Climate Change*, Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Nueva York.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1996b): *Climate Change 1995.- Economic and Social Dimensions of Climate Change*, Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, New York, Cambridge University Press, Nueva York.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1998): *The Regional Impact.- V Climate Change. An Assessment of Vulnerability*, Cambridge University Press, Nueva York.
- Jacoby, H.; Prinn, R. y Schmalensee, R. (1998): "Kyoto's Unfinished Business", *Foreign Affairs*, vol. 77, nº 4, pp. 54-66.
- Jaffe, A. B. y Stavins, R. N. (1994): "The Energy-Efficiency Gap: What Does It Mean?", *Energy Policy*, vol. 22, nº 1, pp. 804-10.
- Jaffe, A. B.; Newell, R. G. y Stavins, R. N. (1999): "Energy-Efficient Technologies and Climate Change Policies: Issues and Evidence", *RFF Climate Issue Brief*, vol. 19, Resources for the Future, Washington, DC.
- Jepma, C. J. y Van der Gaast, W. (eds.) (1999): *On the Compatibility of Flexibility Instrument*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Kane, S. y Shogren, J. (2000): "Adaptation and Mitigation in Climate Change Policy", *Climatic Change*, en prensa.
- Kelly, D.; Kolstad, C.; Schlesinger, M. y Andronova, N. (2000): "Learning about Climate Sensitivity from the Instrumental Near-Surface Temperature Record". Unpublished Manuscript. Santa Barbara, CA, University of California, Santa Barbara.
- Kelly, D. y Kolstad, C. (1999): "Bayesian Learning, Growth and Pollution", *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 23, pp. 491-518.
- Kerr, S. (1998): "Enforcing Compliance: The Allocation of Liability in International GHG Emissions Trading and the Clean Development Mechanism", *Climate Issue Brief*, vol. 15, Resources for the Future, Washington, DC.
- Kolstad, C. D. (1993): "Looking vs. Leaping: The Timing Of CO<sub>2</sub> Control in the Face of Uncertainty and Learning", en Kaya, Y.; Nakicenovic, N.; Nordhaus, W. D. y Toth, F.L. (Eds.), *Costs, Impacts and Benefits of CO<sub>2</sub> Mitigation*, IIASA Proceedings CP-93-2, Laxenburg, Austria.
- Kolstad, C. D. (1994): "George Bush versus Al Gore: Irreversibility in Greenhouse Gas Accumulation and Emission Control Investment", *Energy Policy*, vol. 22, pp. 771-78.

- Kolstad, C. D. (1996a): "Fundamental Irreversibilities in Stock Externalities", *Journal of Public Economy*, vol. 60, pp. 221-33.
- Kolstad, C. D. (1996b): "Learning and Stock Effects in Environmental Regulation: The Case of Greenhouse Gas Emissions", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 31, pp. 1-18.
- Kolstad, C. D. (1998): "Integrated Assessment Modeling of Climate Change", en Nordhaus, W. (ed.), *Economic and Policy Issues in Climate Change*, Resources for the Future, Washington, DC, pp. 263-86.
- Kopp, R. J.; Morgenstern, R.; Pizer, W. y Toman, M. (1999): "A Proposal for Credible Early Action in U.S. Climate Policy (Feature)", *Weathervane* (<http://www.weathervane.rff.org/features/feature06O.html>).
- Kosobud, R.; Daly, T.; South, D. y Quinn, K. (1994): "Tradable Cumulative CO<sub>2</sub> Permits and Global Warming Control", *Energy Journal*, vol. 15, nº 2, pp. 213-32.
- Leiby, P. y Rubin, J. (2000): "Bankable Permits for the Control of Stock Pollutants: The Greenhouse Gas Case", February 2, Draft paper, Orono, Maine, University of Maine.
- Levine, M. D.; Koomey, J. G.; McMahon, J. E.; Sanstad, A. H.; Hirst, E. (1995): "Energy Efficiency Policy and Market Failures", *Annual Review of Energy and the Environment*, vol. 19, pp. 535-55.
- Lopez, R. (1999): "Incorporating Developing Countries into Global Efforts for Greenhouse Gas Reduction", *RFF Climate Issue Brief*, vol. 16, January, Resources for the Future, Washington, DC
- Manne, A. S. (1996): "Hedging Strategies for Global Carbon Dioxide Abatement: A Summary of the Poll Results EMF 14 Subgroup-Analysis for Decisions under Uncertainty", en Nalciczenovic, N. et al. (ed.), *Climate Change: Integrating Science, Economics, and Policy*, Austria, International Institute for Applied Systems Analysis.
- Manne, A. S. y Richels, R. (1992): *Buying Greenhouse Insurance: The Economic Costs of CO<sub>2</sub> Emission Limits*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Manne, A. S. y Richels, R. (1995): "The Greenhouse Debate: Economy Efficiency, Burden Sharing, and Hedging Strategies", *The Energy Journal*, vol. 16, nº 4, pp. 1-37.
- Manne, A. S. y Richels, R. (1997): "On Stabilizing CO<sub>2</sub> Concentrations-Cost-Motivive Emission Reduction Strategies", April, Draft Manuscript, Stanford University, Stanford, CA.
- McKibbin, W. J. y Wilcoxon, P. M. (1997): "A Better Way to Slow Global Climate Change", *Brookings Policy Brief*, vol. 17, Brookings Institution, Washington, DC.

- Mendelsohn, R. (1999): *The Greening of Global Warming*, AEI Press, Washington, DC.
- Mendelsohn, R. y Neumann, J. E. (eds.) (1999): *The Impact of Climate Change on the United States Economy*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Mendelsohn, R.; Nordhaus, W. D. y Shaw, D. (1994): "The Impact of Global Warming On Agriculture-A Ricardian Analysis", *American Economic Review*, vol. 84, pp. 753-71.
- Metcalf, G. E. (1994): "Economics and Rational Conservation Policy", *Energy Policy*, vol. 22, nº 10, pp. 819-25.
- Narain, U. y Fisher, A. (2000): "Irreversibility, Uncertainty, and Catastrophic Global Warming", Gianni Foundation Working Paper 843, University of California, Department of Agricultural and Resource Economics, Berkeley, CA..
- NAS (National Academy of Sciences, Committee on Science, Engineering, and Public Policy, Panel on Policy Implications of Greenhouse Warming) (1992): *Policy Implications of Greenhouse Warming*, National Academy Press, Washington, DC.
- Newell, R. G. y Pizer, W. A. (1998): "Regulating Stock Externalities under Uncertainty", RFF Discussion Paper 99-10, Resources for the Future, Washington, DC.
- Newell, R. G.; Jaffe, A. B. y Stavins, R. N. (1999): "The Induced Innovation Hypothesis and Energy-Saving Technological Change", *Quarterly Journal of Economics*, vol. 114, pp. 941-75.
- Nordhaus, W. D. (1993): "Rolling the DICE: An Optimal Transition Path for Controlling Greenhouse Gases", *Resource and Energy Economics*, vol. 15, nº 1, pp. 27-50.
- Nordhaus, W. D. (1994): *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*, MIT Press, Cambridge.
- Nordhaus, W. D. (1997): "Modeling Induced Innovation in Climatic-Change Policy", Working Paper, Department of Economics, Yale University, New Haven.
- NRC (National Research Council) (2000): *Reconciling Observations of Global Temperature Change*, National Academy Press, Washington, DC.
- Parry, I. W. H.; Williams III R. C. y Goulder, L. H. (1999): "When Can Carbon Abatement Policies Increase Welfare? The Fundamental Role of Distorted Factor Markets", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol 37, pp. 52-84.

- Pearce, D. *et al.* (1996): "The Social Cost of Climate Change: Greenhouse Damage and the Benefits of Control", en Bruce, J.; Lee, H. y Haites, E. (eds.), *Climate Change 1995: Economic and Social dimensions*, Cambridge University Press.
- Peck, S. C. y Teisborg, T. J. (1993): "Global Warming Uncertainties and the Value of Information: An Analysis Using CETA", *Resource and Energy Economics*, vol. 15, n° 1, pp. 71-97.
- Peck, S. C. y Teisberg, T. J. (1998): "A Property Rights Approach to Climate Change Mitigation", Unpublished manuscript, June 16, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA.
- Pielke, R. A. Jr. (1998): "Rethinking the Role of Adaptation in Climate Policy", *Global Environmental Change*, vol. 8, n° 2, pp. 159-70.
- Pizer, W. A. (1997): "Prices Versus Quantities Revisited: The Case of Climate Change", RFF Discussion Paper 98-02, Resources for the Future, Washington, DC.
- Pizer, W. A. (1999): "The Optimal Choice of Climate Change Policy in the Presence of Uncertainty", *Resource and Energy Economics*, vol. 21, n° 3-4, pp. 255-87.
- Reilly, J. M. y Richards, K. R. (1993): "Climate Change Damage and the Trace Gas Index Issue", *Environmental and Resource Economics*, vol. 3, n° 1, pp. 41-61.
- Rose, A. y Stevens, B. (1993): "The Efficiency and Equity of Marketable Permits for CO<sub>2</sub> Emissions". *Resource and Energy Economics*, vol. 15, n° 1, pp. 117-46.
- Rose, A.; Stevens, B.; Edmonds, J. y Wise, M. (1998): "International Equity and Differentiation in Global Warming Policy: An Application to Tradable Emission Permits", *Environmental and Resource Economics*, vol. 12, pp. 25-51.
- Rosenberg, N. J. (1993): *Towards an Integrated Assessment of Climate Change: The MINK Study*, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Schelling, T. C. (1995): "Intergenerational Discounting", *Energy Policy*, vol. 23, pp. 395-401.
- Schimmelpfennig, D.; Lewandrowski, J.; Reilly, J.; Tsigas, M. y Parry, I. (1996): "Agricultural Adaptation to Climate Change: Issues of Long-Run Sustainability", US. Department of Agriculture Report AER-740, Washington, DC.
- Schmalensee, R. (1993): "Comparing Greenhouse Gases for Policy Purposes", *Energy Journal*, vol. 14, n° 1, pp. 245-55.
- Sedjo, R. A.; Sampson, R. N. y Wisniewski J. (eds.) (1997): *Economics of Carbon Sequestration in Forestry*, CRC Press, Nueva York.

- Shogren, J. (1999): *The Benefits and Costs of Kyoto*, American Enterprise Institute, Washington, DC.
- Shogren, J. y Tornan, M. A. (2000): "Climate Change Policy", en Portney, P. y Stavins, R. (eds.), *Public Policies Environmental Protection*, Resources for the Future, Washington, DC, en prensa.
- Smith, J. B. y Tirpak, D. A. (eds.) (1990): *The Potential effects of Global Climate Change*, Office of Policy, Planning and Evaluation, U.S. EPA, Washington, DC.
- Smith, J. B. y Bhatti, N.; Menzhulin, G. V.; Benioff, R.; Budyko, M. L.; Campos, M., Jallow, B. y Rijsberman, F. (eds.) (1996): *Adapting to Climate Change: Assessments and Issues*, Springer-Verlag, Nueva York.
- Smith, S. J. y Wigley, T. M. L. (2000a): "Global Warming Potentials: Climatic Implications of Emissions Reductions", *Climatic Change*, vol. 44, pp. 445-57.
- Smith, S. J. y Wigley, T. M. L. (2000b): "Global Warming Potentials: 2. Accuracy", *Climatic Change*, vol. 44, pp. 459-69.
- Sohngen, B. y Mendelsohn, R. (1999): "The U.S. Timber Market Impacts of Climate Change", en Mendelsohn, R. y Neumann, J. (eds.), *The Impacts of Climate Change on the United States Economy*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Ulph, A. y Ulpb, D. (1997): "Global Warming, Irreversibility and Learning", *Economic Journal*, vol. 107, pp. 636-50.
- Victor, D. G.; Nakicenovic, N. y Victor, N. (1998): "The Kyoto Protocol Carbon Bubble: Implications for Russia, Ukraine, and Emissions Trading", Interim Report IR-98094, International Institute for Allied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- Viscusi, W. K. (1992): *Fatal Tradeoffs*, Oxford University Press, Cambridge.
- Vousden, N. (1973): "Basic Theoretical Issues in Resource Depletion", *Journal of Economic Theory*, vol. 6, nº 2, pp. 126-43.
- Weitzman, M. L. (1974): "Prices vs. Quantities", *Review of Economic Studies*, vol. 41, nº 4, pp. 477-91.
- Weitzman, M. L. (1999): "Just Keep Discounting, but....", en Portney, P.R. y Weyant, J.P. (eds.), *Discounting and intergenerational Equity*, Resources for the Future, Washington, DC.
- Weyant, J. P. y Hill, J. (1999): "Introduction and Overview", *The Energy Journal*, número especial, pp. vii-xiiv.

- Weyant, J. P. *et al.* (1996): "Integrated Assessment of Climate Change: An Overview and Comparison of Approaches and Results", en Bruce, J.P; Horsang, L. y Haites, E. F. (eds.), *Climate Change 1995.- Economic and Social Dimensions of Climate Change*, Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, University of Cambridge Press, Nueva York, pp. 366-439.
- Wiener, J. B. (1999): "Global Environmental Regulation: Instrument Choice in Legal Context", *Yale Law Journal*, vol. 108, n° 4, pp. 677-800.
- Wigley, T. M. L.; Richels, R. y Edmonds, J. A. (1996): "Economic and Environmental Choices in the Stabilization of Atmosphere CO<sub>2</sub> Concentrations", *Nature*, vol. 379, n° 6562, pp. 240-43.
- Yang, Z. (1999): "Should the North Make Unilateral Technology Transfers to the South? North South Cooperation and Conflicts in Responses to Global Climate Change", *Resource and Energy Economics*, vol. 21, n° 1, pp. 67-87.
- Zhao, J. H. y Zilberman, D. (1999): "Irreversibility and Restoration in Natural Resource Development", *Oxford Economic Papers*, vol. 51, pp. 559-573.

#### ABSTRACT

Economics has played an increasingly important role in shaping policy, in the United States and elsewhere. This paper reviews some of the dimensions of the economic approach to analysing, understanding, and developing solutions to the problem of climate change. We then turn to the issue of designing regulatory instruments to control the problem. The paper concludes with a discussion of the political economy of greenhouse gas control in an international context.

*Key words:* climate change, climate policy design, integrated assessment, environmental policy coordination.