

LA EVIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO. LA NECESIDAD DE LAS POLÍTICAS ECONÓMICAS PREVENTIVAS

Cristina García Fernández

Universidad Complutense de Madrid

Resumen.- Hoy en día existe evidencia de que el cambio climático es un acontecimiento real. El riesgo de que el cambio climático endurezca los impactos hace que sea urgente el compromiso de tomar medidas significativas encaminadas a reducir las emisiones de GHG durante las próximas décadas. La política económica y la política medioambiental deben actuar conjuntamente en la consecución de este objetivo. El objetivo de este trabajo es doble: Primero explicar el estado actual del fenómeno del cambio climático y, segundo, ofrecer alternativas eficientes encaminadas a reducir el calentamiento global. Nuestra herramienta de trabajo será la comparación de dos importantes instrumentos económicos: los impuestos sobre el carbono y los permisos de emisiones negociables. Analizamos ambos instrumentos para determinar su grado de eficiencia con supuestos alternativos y bajo distintos criterios.

Palabras clave.- *políticas de cambio climático, coste de reducir las emisiones de carbono.*

Abstract.- Climate change is already being observed as a real fact. The risk of serious climate change impacts suggests that urgent action is needed to significantly reduce GHG emissions in the coming decades. Political economy and environmental economy must go together in order to fulfil this objective. This objective of this paper is double. First to explain the actual state of the climate change problem and second to offer efficient alternatives to reduce global warming. As a working tool we compare two important economic instruments: carbon taxes and tradable emissions permits. We study both instruments to determine their grade of efficiency facing different postulates and under alternative criteria.

Keywords.- *climate change policies, cost of reducing carbon emissions*

Introducción

Desde los comienzos de la Revolución Industrial la concentración de algunos gases invernadero en la atmósfera se ha ido incrementando a una tasa sin precedentes en la historia de la Tierra. Los científicos ya advirtieron hace más de un siglo que el aumento de la concentración de los gases invernadero en la atmósfera incrementaba la propiedad que ésta tiene de retener el calor, hecho que conduce a incrementos en la temperatura global de la superficie terrestre. Por ello, como se observa hoy en día, los cambios climáticos que acompañan al aumento

de las temperaturas están ya teniendo efectos negativos en los ecosistemas naturales al igual que en el sistema económico.

Las políticas económicas preventivas constituyen el núcleo de medidas fundamentales (incentivos económicos) para ralentizar el avance del calentamiento global. El análisis que se realiza tiene la finalidad de determinar cuál de los incentivos objeto de estudio en este trabajo es más eficiente ante la disponibilidad o no de información sobre los mismos y teniendo en cuenta los costes que producen los intentos de reducir las emisiones.

Podremos observar cómo el simple hecho de disponer o no de información suficiente acerca del incentivo económico, por ejemplo, los costes que supone su aplicación para reducir las emisiones de carbono hasta un determinado nivel, cambia, de forma relevante, las decisiones que se toman acerca de la utilización de dicho instrumento, a la vez que modifica las conclusiones del estudio realizado. Analizaremos situaciones complejas donde, al no disponer de información suficiente sobre los costes de la políticas que se pretenden aplicar resultará complejo recomendar qué instrumento económico es el más apropiado para reducir las emisiones.

Por último, trataremos aspectos de tipo dinámico que influyen, de forma relevante, en la elección de la política más adecuada para reducir las emisiones, tales como el desarrollo y la aplicación de nuevas tecnologías que los instrumentos estudiados pueden inducir, efectos éstos importantes para el bienestar de las generaciones futuras.

Antecedentes

El calentamiento global se ha convertido, en los últimos años, en uno de los temas científicos, políticos y económicos más relevantes. Cuando realmente se hizo de dominio público fue en la Conferencia de Toronto de 1988, encuentro internacional que patrocinó el gobierno canadiense en dicha fecha.¹ El consenso al que se llegó en este encuentro fue que los efectos del cambio climático eran secundarios solamente comparados con los de una guerra mundial, y que, por lo tanto, la humanidad debía dar inmediatamente los pasos necesarios para eliminar las emisiones de los gases invernadero (GHG). Esto llevó a la Asamblea General de las Naciones Unidas a crear el Panel Intergubernamental de Cambio Climático

¹ La Conferencia de Toronto sobre la Atmósfera Cambiante, celebrada en junio de 1988 y organizada conjuntamente por el gobierno canadiense, la OMM (Organización Meteorológica Mundial) y el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), exigió la reducción de un 20 por cien en las emisiones de dióxido de carbono para el año 2000, el establecimiento de un Convenio mundial sobre la atmósfera y la creación de un fondo para facilitar la transferencia de tecnología a los países en desarrollo.

(conocido por IPCC por sus siglas en inglés) para estudiar el problema e informar a la Asamblea General en 1990².

En agosto de 1990, el Grupo de Trabajo I del IPCC, que estaba formado por unos 300 científicos, confirmó la existencia del efecto invernadero y llamó la atención a escala mundial sobre la necesidad de adoptar políticas que eliminaran las emisiones de los gases invernadero.

La idea tradicional sobre la existencia de una correlación positiva entre crecimiento económico y calidad de vida hizo que la actual generación de países desarrollados persiguiera, mediante la industrialización, una política de desarrollo económico acelerado. Uno de los rasgos característicos de la industrialización moderna ha sido la demanda de grandes cantidades de energía. Esta demanda de energía ha sido, en su mayoría, cubierta por la utilización de combustibles fósiles que, mediante su quema, han emitido, durante cientos de años, enormes cantidades de dióxido de carbono.

Gran parte de la investigación llevada a cabo hasta la fecha sobre el cambio climático ha sido realizada por los climatólogos. Su cometido principal ha sido estimar el grado de calentamiento actual así como el período de tiempo que transcurre hasta que éste se transforma en temperaturas globales más elevadas. Para ello, elaboran predicciones sobre la demanda de energía futura. Basándose en estas predicciones determinan el tipo y la cantidad de combustibles fósiles que serán requeridos para satisfacer dicha demanda. Una vez hecho esto la cantidad de gases invernadero puede ser calculada a partir de las propiedades físicas de los respectivos combustibles. Finalmente, y por medio de los Modelos de Circulación General del Clima (GCMs), los climatólogos calculan los cambios climáticos esperados en todo el mundo.

Los economistas, por otra parte, han concentrado su estudio en los costes de reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO_2). Utilizan una combinación de instrumentos de política económica para reducir las emisiones hasta niveles determinados y observan los efectos que producen estos instrumentos sobre la actividad económica. Es decir, si los climatólogos estiman necesaria una reducción del 20% en las emisiones de CO_2 , entonces los economistas especifican de manera exógena el nivel de esta reducción en sus modelos y determinan las actuaciones que son necesarias para llevarla a cabo. Con esta metodología pueden incluso especificar las pérdidas o ganancias económicas que

² La OMM y el PNUMA crearon en 1988 el IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) debido a la ya urgente necesidad de evaluar de manera formal y conjunta el problema del cambio climático. Este grupo intergubernamental de expertos, formado hoy en día por más de dos mil científicos de todo el mundo, tiene, en la actualidad, la misión de estudiar los aspectos científicos (Grupo de Trabajo I), evaluar las consecuencias socio-económicas y ambientales (Grupo de Trabajo II) y formular estrategias de respuesta al cambio climático (Grupo III).

produce la aplicación de esas medidas -por ejemplo, los efectos de los impuestos sobre el carbono-. No obstante, esta metodología suele ignorar los beneficios que reporta una reducción de las emisiones de CO_2 , ya que los costes pueden calcularse de manera relativamente inmediata, mientras que los beneficios sólo se observan en el futuro.

La actualidad del cambio climático

Según el IPCC, el período comprendido entre 1995 y 2006 parece haber sido uno de los más cálidos registrados hasta ahora desde 1850. Variables relevantes tales como las alteraciones en la temperatura oceánica, cambios en los ecosistemas terrestres (como la disminución de la extensión de la capa de nieve y hielo en el Hemisferio Norte), el acortamiento de las estaciones frías, el derretimiento de glaciares, la disminución de la extensión del permafrost y el aumento del nivel del mar, proporcionan una evidencia clara de que el mundo se está calentando (IPCC, 2007).

Un tercio del dióxido de carbono que se vierte a la atmósfera procede de la destrucción de las selvas húmedas tropicales y de la expansión de la agricultura. El resto se deriva de la utilización de los combustibles fósiles. Las cantidades crecientes de dióxido de carbono atmosférico y de otros gases invernadero, como el metano, calientan la Tierra, cargan de energía la atmósfera y refuerzan el ciclo hidrológico. Esto da lugar a una distribución distinta de las precipitaciones, motivo de fuertes sequías en muchas zonas del Hemisferio Sur y algunas del Norte y factor causante de graves procesos de desertización que contrastan, por otra parte, con fuertes inundaciones en otros lugares. El derretimiento de los casquetes polares y la consecuente elevación del nivel del mar contribuyen, además, al agravamiento de las inundaciones en algunas regiones costeras.

Los científicos conocen los mecanismos del efecto invernadero desde antes del cambio de siglo. El químico sueco Svante Arrhenius predijo los efectos del dióxido de carbono sobre el clima en 1896. Concluyó que las pasadas épocas glaciares podían haberse producido, en gran parte, debido a la reducción del dióxido de carbono atmosférico. Arrhenius también calculó que una duplicación de la concentración de dióxido de carbono de la atmósfera produciría un calentamiento mundial de unos cinco grados centígrados.

Actualmente, el dióxido de carbono (CO_2) sigue siendo el gas invernadero antropogénico más importante. Sus emisiones anuales han aumentado alrededor de un 80% entre 1970 y 2004, desde 21 a 38 gigatoneladas (Gt) y genera, en la actualidad, el 77% del total de las emisiones de GHG. La tasa de crecimiento de las emisiones de CO_2 -equivalente fue mucho mayor durante el período 1995-2004

(0,92 Gt CO_2 -eq anuales) que durante el período anterior de 1970-1994 (0,43 Gt CO_2 -eq anuales),³ (IPCC, 2007).

Ese incremento de las emisiones de GHG producido entre 1970 y 2004 procede, principalmente, del sector energético y de los sectores industrial y de transporte, mientras que otros sectores como el agrario, forestal (incluyendo la deforestación), comercial y residencial han crecido a una tasa menor.

Lo que es exclusivo de la tendencia actual del calentamiento, con más de medio grado centígrado de aumento en el último siglo, es su velocidad sin precedentes. El calentamiento actual está siendo entre 30 y 40 veces más rápido que durante la época que sucedió a la última glaciación. Al final del período Pleistoceno, hace unos diez mil años, la Tierra se calentó de 2,5 a 5 grados centígrados. Aunque este aumento de temperatura es similar al incremento que apuntan los modelos de circulación general del clima (GCMs), la diferencia radica en que aquel tardó varios miles de años en producirse y no estuvo comprimido en menos de un siglo.

Ralentizar y limitar el cambio climático requiere, a largo plazo, un gran esfuerzo a nivel internacional. La vía actual más importante la constituye el Convenio de Naciones Unidas para el Cambio Climático, el cual ha sido ratificado por 189 países. El objetivo declarado es: *“...estabilización de las concentraciones de gases invernadero en la atmósfera a un nivel que prevenga la interferencia antropogénica que pueda poner en peligro el sistema climático...con tiempo suficiente que permita la adaptación natural de los ecosistemas al cambio climático con el fin de que la producción de alimentos no se vea amenazada y para que el desarrollo económico se genere de forma sostenible.”* Con la firma del Convenio, las naciones industrializadas acuerdan ser la guía para la consecución de este objetivo, además de proporcionar asistencia técnica y financiera a otros países.

El Protocolo de Kyoto, que entró en vigor en 2005, es el instrumento que ayuda a los gobiernos a cumplir el Convenio. En él, un número de países industrializados (el Anexo I de las Partes”) se comprometen a reducir sus emisiones de GHG para el período 2008-2012. Pero estos no son más que los primeros pasos para tratar el cambio climático ya que hay muchos países en desarrollo, como China o India, cuyas demandas de energía crecen rápidamente y generan grandes cantidades de emisiones.

El problema radica en que acuerdo actual sobre reducción de emisiones solo compete a los países industrializados y no se extiende más allá de 2012. Una exitosa disminución y ralentización de las concentraciones requiere la participación de los mayores países emisores de GHG. Tanto el Convenio como el Protocolo

³ La concentración de CO_2 -equivalente es la concentración de dióxido de carbono que causaría el mismo efecto radiativo que una mezcla dada de ese mismo gas con otros gases invernadero o componentes radiativos.

dejan al juicio de cada país la decisión de cumplir con sus metas de reducción de emisiones. Los países industrializados han hecho algún progreso, aunque limitado, en frenar las emisiones de GHG desde 1990. Durante este período se ha reconocido la necesidad urgente de diseñar políticas específicas, como la utilización de permisos de emisiones, impuestos sobre la energía y medioambientales, medidas voluntarias del sector industrial, políticas de regulación y una creciente investigación y creación de programas destinados a la mitigación.

Muchos países también han realizado un gran esfuerzo en integrar al cambio climático en sus ya existentes políticas institucionales. Esto incluye la utilización de la política energética para acelerar la inversión en eficiencia energética y el reforzamiento de políticas destinadas a minimizar los residuos. Menor éxito han tenido las políticas y medidas encaminadas a atajar los efectos socio-económicos del cambio climático ("políticas de adaptación), que incluyen aquellas destinadas a paliar la amenaza que el aumento del nivel del mar supone para numerosas zonas costeras, o las frecuentes inundaciones, sequías, olas de calor, etc.

Por su parte, la Unión Europea, junto con algunos países pioneros, (Dinamarca, Holanda, Canadá y Reino Unido) está tratando la adaptación al cambio climático como algo prioritario. La OCDE también ha hecho recientemente una declaración firme sobre el mismo concepto, pidiendo una mayor cooperación en materia de adaptación al cambio climático y una integración de esta en la planificación nacional para el desarrollo.

La políticas económicas preventivas del cambio climático. análisis de dos instrumentos

Las políticas económicas preventivas constituyen el núcleo de medidas fundamentales para evitar el avance del calentamiento global (Whaley y Wigle, 2002). La opción de adoptar una acción preventiva depende de cómo sea la relación entre los costes de reducir las emisiones de gases invernadero y los daños que estos gases pueden ocasionar si no son sometidos a ningún control. Las políticas económicas preventivas destinadas a paliar el calentamiento global tienen dos objetivos prioritarios: reducir las emisiones de los gases invernadero que hoy en día más daño están causando (CO₂ y CFCs) y crear sumideros. Los mecanismos fundamentales para conseguir dichos objetivos son: incrementar la eficiencia energética, disminuir la producción y consumo de combustibles fósiles, sustituir los combustibles fósiles por otros menos contaminantes, fomentar el cambio tecnológico, acelerar la reforestación como sumidero primordial, etc. Dichos mecanismos se ponen en funcionamiento a través de diversos instrumentos económicos tales como los impuestos sobre el carbono, la creación de mercados de derechos de emisiones (Larsen y Shah, 1994), la eliminación de subsidios sobre combustibles fósiles, los programas de reforestación y de información pública sobre la eficiencia energética, etc.

Los instrumentos económicos más eficientes son aquellos que introducen diferentes incentivos para poder conseguir niveles de emisiones más reducidos, alterando, para ello, el sistema de precios. Por ello, también se les conoce como incentivos económicos o de mercado. El objetivo consiste en alterar el sistema de precios para disminuir o modificar las actividades económicas que puedan resultar nocivas para el medio natural. No obstante, todavía son las regulaciones administrativas las medidas que constituyen la mayor parte de las medidas de protección del medio ambiente. Estas no son expresamente incentivos económicos y, por tanto, no suelen alterar el sistema de precios. En general, como veremos en el análisis de eficiencia dinámica, constituyen medidas más costosas y menos eficientes que los incentivos.

Evaluación teórica de los impuestos sobre el carbono y los permisos de emisiones

Entre las políticas económicas más efectivas que pueden emplearse para frenar los impactos que padece el medio natural y, en particular, el cambio climático, se encuentran dos instrumentos económicos bien conocidos: los impuestos sobre el carbono y los permisos de emisiones. En esta parte se realiza una comparación entre los mismos en relación a su eficiencia económica y bajo diferentes criterios.

Para ello se han utilizado dos criterios de eficiencia: estática y dinámica. El primero valora el coste de lograr una reducción de emisiones de carbono determinada ante la aplicación de un instrumento económico específico (impuesto o permisos). Además, primeramente se utiliza el supuesto de “existencia de información” acerca del instrumento utilizado y se da por hecho que también se conocen los costes que este produce. Posteriormente, se hace una nueva valoración bajo el supuesto de que no existe información (caso más habitual).

El segundo criterio, eficiencia dinámica, explica la adecuación que puede tener un instrumento económico de este tipo para resolver situaciones no previstas y para crear incentivos que conduzcan al desarrollo de nuevas tecnologías capaces de resolver los problemas ambientales.

Tal y como apuntábamos en la introducción de este trabajo, el objetivo de esta parte es conocer cuándo debemos utilizar un instrumento económico u otro y si dicho instrumento económico es eficiente. Para ello debemos prestar especial atención a los costes. Los criterios que presentamos a continuación son importantes a la hora de elegir entre los diferentes instrumentos que existen para cambiar los incentivos:

- **Eficiencia estática.** Este criterio hace referencia al coste de lograr una mejora ambiental determinada mediante la aplicación de un instrumento específico. Cuanto más bajo sea el coste, más atractivo será el instrumento (Poterba, 1991).
- **Eficiencia dinámica.** Este criterio se refiere a la adecuación que tiene un instrumento para resolver cambios no previstos y para crear incentivos que conduzcan al desarrollo de nuevas y mejores soluciones técnicas capaces de solventar los problemas ambientales.
- **Información.** Con el fin de poder explotar diferentes instrumentos de política medioambiental, el planificador o técnico necesita conocer los canales de información para poder aplicarlos. Cuanto mayor sea la disponibilidad de la información, por ejemplo, sobre el coste de los instrumentos, mayor atractivo tendrá el instrumento (Dower *et al*, 1992).
- **Costes de control.** Distintos instrumentos requieren un control diferente y, debido a que el control es costoso y, a veces imposible, este es un aspecto a tener en cuenta para elegir entre los distintos instrumentos (García, 2006).

El análisis que vamos a realizar sobre los instrumentos de política ambiental y su coste eficiencia se ha basado en el supuesto de que, desde el punto de vista de las políticas económicas dirigidas a paliar el calentamiento global, sólo son importantes las emisiones totales y no la distribución espacial de éstas. Hemos adoptado este supuesto por dos razones: una porque simplifica el análisis y otra, porque se ajusta al problema ambiental del efecto invernadero.

A la hora de comparar impuestos sobre el carbono y permisos de emisiones⁴ es importante tener en cuenta la *información*. Si los agentes económicos en general tienen información sobre el coste de la política o instrumento destinado a reducir las emisiones y de los costes sociales que estas originan (daños ambientales), entonces ambos instrumentos pueden ser diseñados para lograr la misma reducción de la contaminación y al mismo coste (Koutstaal, y Nentjes, 1995). La razón es que, el gobierno o entidad planificadora tienen la suficiente información para seleccionar los estándares de emisiones -en el caso de los permisos transferibles- o la tasa impositiva -en el caso del impuesto- de tal forma que se alcance la misma mejora medioambiental al mismo coste.

El debate surge cuando existe incertidumbre sobre los costes de las políticas que se pretenden aplicar. En ese caso, cuando no existe información, resulta más complicado recomendar, en base al criterio de coste-eficiencia, qué instrumento será el más apropiado (eficiente).

⁴ No dedicamos especial atención a la regulación, ya que, como hemos anticipado, resulta ser una política ambiental muy costosa que no constituye un incentivo para adoptar tecnologías más eficientes o disminuir el daño medioambiental.

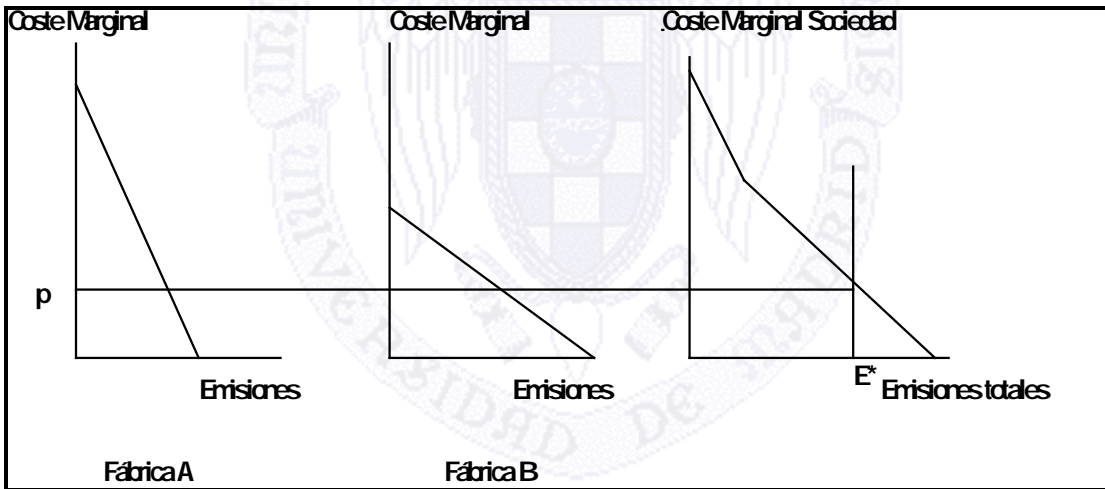
Análisis de los instrumentos económicos bajo el criterio de eficiencia estática

Basándonos en el criterio de eficiencia, analizaremos dos situaciones distintas: una primera en la que suponemos que existe información perfecta –mercado perfectamente competitivo con precios dados- y, una segunda donde el gobierno no tiene información completa sobre los costes de la política destinada a reducir las emisiones ni sobre los costes ambientales.

Primer caso: existe información perfecta.

Supongamos que existen dos fábricas, A y B, que emiten el mismo contaminante, dióxido de carbono (CO2) y que el daño ambiental se debe a las emisiones de carbono totales anuales. Lo que es relevante aquí es, por un lado, el total de emisiones que produce dicho contaminante y, por otro, como se distribuye la reducción de las emisiones entre las dos fábricas.

**Gráfico I
Los costes de reducir las emisiones**



El gráfico I muestra los costes de reducir las emisiones de carbono en las dos fábricas. Las emisiones se miden a lo largo del eje de accisas. Las curvas de costes marginales muestran el coste de reducir las emisiones en una unidad. Las curvas son decrecientes indicando que grandes reducciones de emisiones aumentan el coste de reducir una tonelada adicional del contaminante.

En la situación inicial no existen límites a las emisiones, por lo que ambas plantas productivas incrementarán estas hasta que sus costes sean minimizados. Esto ocurrirá cuando el coste marginal de reducir las emisiones sea cero. Las emisiones serán entonces del tamaño indicado por las intersecciones entre las

curvas de coste marginal y el eje horizontal (en los dos primeros gráficos). Supongamos ahora que queremos reducir las emisiones totales hasta E^* (gráfico derecho). En este punto es importante observar cómo será distribuida esta reducción de las mismas entre las dos fábricas:

Si toda la reducción la emprende únicamente la fábrica A, el coste en la fábrica B será cero (al igual que el coste marginal). Pero el coste en la planta A será muy alto. Si relajamos un poco la política reductora en A, dicha fábrica obtendrá un ahorro considerable, ya que su coste marginal es alto. Si incrementamos la reducción de emisiones en B, el aumento del coste será pequeño porque el coste marginal es pequeño.

Por tanto, la primera conclusión que podemos obtener – bajo la óptica de eficiencia estática con información perfecta - es que *siempre que los costes marginales difieran entre las dos fuentes será posible reducir el coste total distribuyendo la reducción de emisiones entre las dos fuentes contaminantes*. En definitiva, para obtener un coste total mínimo o *coste eficiente*, el coste marginal debe ser el mismo en las dos fuentes emisoras.

No obstante podemos ir más allá. Sabemos que el objetivo es discernir cuándo debemos utilizar un instrumento económico u otro y si este es eficiente. Para ello debemos prestar de nuevo atención a los costes. La curva de coste marginal de la sociedad (gráfico derecho) es la que resulta cuando toda la reducción se ha distribuido entre las dos fábricas de la manera más barata, por ejemplo, cuando el coste marginal es el mismo entre las dos fuentes de contaminación. La curva se obtiene sumando horizontalmente las curvas de costes marginales de las dos fábricas. De esta forma, podemos utilizar esta curva para estimar el coste marginal correspondiente a cantidades distintas de emisiones permitidas. Si las emisiones totales tienen que reducirse hasta E^* , el coste marginal debería ser igual a p en ambas fábricas.

Pero todavía podemos llegar más lejos. Supongamos que conocemos la curva de coste marginal agregada. En ese caso, si queremos limitar las emisiones de carbono totales hasta E^* sabemos que el coste marginal debe ser igual a p en las dos fábricas para que ambas minimicen sus costes. La cuestión ahora es saber cómo podemos proceder para minimizar los costes, esto es, igualar p y los costes marginales.

Impuestos ambientales y permisos comercializables

Si el poder ejecutivo o la entidad planificadora conocen los costes marginales individuales, entonces puede exigir que las dos fábricas reduzcan sus emisiones hasta niveles compatibles con la eficiencia. No obstante, esto tiene dos problemas serios: el planificador no conoce realmente las curvas de costes marginales

individuales y, además, estos costes cambiarán cuando lo hagan los precios, la tecnología y otros factores. Por lo tanto, tenemos que buscar otras vías para poder obtener la eficiencia en el coste.

Una de las vías sería gravar las emisiones a una tasa de p unidades monetarias (euros, dólares, etc.) por tonelada de carbono. Cada fábrica reduciría sus emisiones hasta que el coste marginal igualara el impuesto. Si el coste marginal es menor que el impuesto, a la compañía le convendría reducir las emisiones con el fin de ahorrarse el pago del impuesto, mientras que si el coste marginal es mayor que el impuesto, sería conveniente aumentar las emisiones con el fin de ahorrarse el coste que se deriva de reducir las mismas (Poterba, 1991). De esta forma, el resultado sería coste-eficiente. Pues bien, para llegar a este resultado es necesario que el planificador conozca, por un lado, la curva de coste marginal agregada y, por otro, en qué magnitud se van a reducir las emisiones⁵.

Una segunda vía consistiría en que el planificador decidiera la cantidad total de contaminación permitida y que entonces emitiera permisos de emisiones para distribuirlos entre las dos fábricas. En esta situación, las dos fuentes contaminadoras podrían intercambiar permisos. Si la asignación inicial de los permisos se hace de forma que el coste marginal de reducir las emisiones es mayor en una de las fábricas, entonces el intercambio de permisos será beneficioso para ambas. La fábrica con costes marginales mayores puede beneficiarse si compra permisos a la fábrica que tiene costes menores. Debido a que el comprador está dispuesto a pagar una cantidad superior al coste marginal de la otra fábrica, el intercambio será también beneficioso para el vendedor. En el equilibrio, las dos fábricas habrán obtenido todas las ganancias posibles del comercio de permisos, lo que significa que ambas habrán recortado sus emisiones hasta un nivel en el cual su coste marginal sea igual a p .

Con un sistema de permisos comercializables también se alcanza una meta de emisiones que cumple las condiciones de eficiencia. Pero además, si el mercado funciona correctamente, el precio de equilibrio de los permisos sería p , es decir, el impuesto ambiental óptimo. Si el precio de los permisos fuese mayor que p , entonces al menos algunos productores tendrían un coste marginal inferior al precio, por lo que estarían tentados a vender permisos, hecho que termina bajando el precio de mercado. Por el contrario, si el precio de mercado de los permisos es menor que p , entonces sería más barato para al menos alguna empresa comprar más permisos y con ello incrementar la demanda y el precio. Este análisis nos lleva a una conclusión: en equilibrio el precio de los permisos será p .

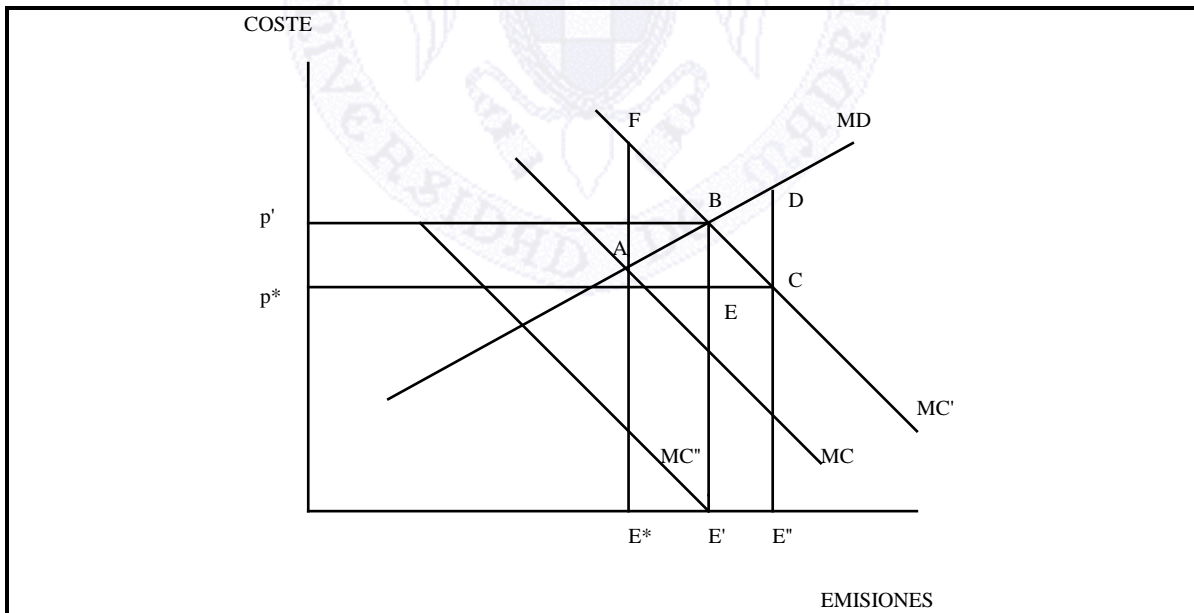
⁵ No es necesario, por tanto, que la entidad planificadora tenga información detallada sobre los costes marginales individuales, ya que, incluso si se dieran cambios externos (precios, tecnología, etc.) el resultado sería coste-eficiente.

Hasta aquí hemos supuesto que existe información sobre los costes marginales de reducir las emisiones y que, por tanto, podemos alcanzar una situación de equilibrio de mercado ajustando los costes a los precios. Hemos supuesto que el mercado funciona perfectamente -competencia perfecta donde los precios son conocidos- y, en estos casos, cualquiera de los instrumentos económicos analizados nos ofrece un resultado coste eficiente cuando se trata de reducir las emisiones de algún contaminante. El problema surge cuando la información no es perfecta, es decir, los agentes desconocen los costes marginales de las distintas fuentes. En este caso, no esperamos que el mercado ofrezca un precio uniforme.

Segundo caso: no existe información perfecta (situación habitual)

La situación habitual es una en la que el planificador no tiene información completa sobre los costes de reducir las emisiones y tampoco sobre los costes sociales o daños que produce la contaminación. En este caso, ya no es lo mismo gravar las emisiones de carbono con un impuesto que establecer un sistema de permisos comercializables. La carencia de información influye de manera importante en la elección que el planificador haga entre un instrumento u otro (Lewis y Sappington, 1999).

Gráfico II
Estructura de costes de una fábrica contaminante



Suponemos que sólo hay una fuente contaminante o fábrica. La entidad planificadora debe elegir en qué magnitud quiere reducir las emisiones y mediante qué procedimiento. No conoce con exactitud cuál es la estructura de costes. Suponemos que los costes marginales de la fábrica pueden ser MC' , o bien, MC'' .

El gráfico II muestra la estructura de costes de la fábrica: la curva de coste marginal estimada aunque incierta (MC) y las curvas de costes marginales conocidas relativamente, es decir, puede ser MC' , o MC'' . La curva estimada es la media de las anteriores. Por otro lado, suponemos que el planificador conoce la curva de daño marginal (MD) sin incertidumbre. Basándonos en esta información el planificador encontrará que el nivel óptimo de emisiones será E^* , ya que a ese nivel el coste marginal de reducir las emisiones es igual al coste marginal del daño ocasionado. Por lo tanto, la reducción total de emisiones esperada y el coste del daño ocasionado son mínimos a ese nivel.

Un impuesto sobre las emisiones de carbono

Supongamos que el Estado decide controlar la contaminación utilizando un impuesto sobre las emisiones de carbono con una tasa p^* . Si la verdadera curva de coste marginal hubiera sido MC , ya conocemos el resultado óptimo. Pero, en realidad, la verdadera curva es MC' o MC'' . Supongamos que es MC' . Con esa estructura de costes la tasa impositiva óptima sería p' y el nivel óptimo de emisiones E' . Pues bien, esta situación genera unos costes adicionales respecto de la situación inicial en la que suponíamos que los costes tenía la forma MC . Veámoslo detenidamente.

Al tipo impositivo p^* -y suponiendo MC' - el nivel de emisiones será E'' en vez de el nivel óptimo E' . Esto significa que el daño ambiental será mayor que en el óptimo, es decir, el coste extra del daño ambiental es igual al área situada debajo de la curva de daño marginal, o el área $E'E''DB$. Por otro lado, se producirá un ahorro de costes -de la política aplicada- a medida que las emisiones son mayores. Este ahorro es igual al área que está por debajo de la curva de coste marginal (MC'), esto es, $E'E''CB$. Por tanto, el aumento neto del coste debido a que la verdadera curva de costes es MC' y no MC es,

$$E'E''DB - E'E''CB = BCD.$$

De esta forma, el área BCD mide el coste adicional que se genera al utilizar un impuesto sobre las emisiones de carbono cuando el coste marginal (MC') es mayor que el esperado (MC).

El análisis anterior puede utilizarse para ir concretando relaciones específicas entre las variables. Advértase que el triángulo BCD será mayor cuanto más plana sea la curva MC' y más vertical sea la curva MD . Si la curva de coste marginal es muy plana las emisiones serán muy sensibles a la tasa impositiva - una pequeña

variación de la tasa producirá un gran cambio en estas-. Por tanto, un pequeño error o despiste en el establecimiento del impuesto dará lugar a una gran alteración en el nivel de emisiones.

Si la curva de daño marginal tiene mucha pendiente (muy vertical), entonces el coste ambiental producido por la diferencia de emisiones ($E'' - E'$) será enorme. Por tanto, la pérdida será proporcional a la elasticidad de la curva de coste marginal e inversamente proporcional a la elasticidad de la curva de daño marginal.

Un sistema de permisos comercializables

Analicemos cual sería el resultado con un sistema de permisos comercializables. En este caso el Estado establece el nivel de emisiones permitido. Dada la información que le brindan las curvas MC y MD sabrá cuál será el nivel óptimo de emisiones de carno (E^*). Estas no deberán sobrepasar dicho nivel.

Seguimos suponiendo que MC' es la curva de coste marginal de la fábrica, por lo que el nivel óptimo de emisiones será -al igual que en el caso anterior- E' . Si se recortan las emisiones hasta el nivel permitido E^* la sociedad sufrirá mayores costes de los que se hubieran producido en el nivel óptimo E' . El coste adicional es, de nuevo, igual al área situada por debajo de la curva de coste marginal, o bien $E^*E'BF$.

Por otro lado, el daño ambiental será menor. La reducción que experimenta el daño ambiental es igual a $E^*E'BA$. La diferencia,

$$E^*E'BF - E^*E'BA = ABF$$

mide el coste adicional que resulta de la utilización de un sistema de permisos comercializables cuando el coste marginal es mayor que el esperado.

Las deducciones que hacemos en este caso son paralelas a las de la situación con el impuesto. El área ABF será mayor cuanto más vertical sea la curva de coste marginal y más horizontal sea la curva de daño marginal. Por tanto, la pérdida será proporcional a la elasticidad de MD e inversamente proporcional a la elasticidad de MC.

En definitiva, dilucidar qué se deriva de este análisis es algo que va siendo cada vez más claro. Como ya sabemos la cuestión es elegir entre uno de los dos instrumentos (impuestos o permisos) cuando existe información imperfecta y, como hemos podido observar, la elección entre uno u otro depende de las elasticidades de la curva de coste marginal (de reducir las emisiones) y de la curva de daño marginal. Si realmente existen razones para pensar que la curva de daño marginal tiene mucha pendiente (muy vertical) mientras que la curva de coste

marginal es muy plana, deberíamos elegir el sistema de permisos comercializables. Este puede ser el caso en el que hay situaciones ambientales en las que un pequeño aumento de las emisiones puede dar lugar a daños muy serios en el medio ambiente.

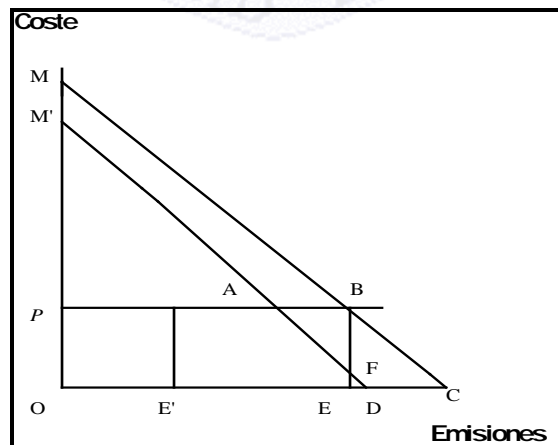
Por otro lado, si el daño ambiental no es tan sensible a las emisiones anuales, entonces será preferible el impuesto. Este último es el caso en el que el daño ambiental ha sido causado por las emisiones acumuladas. Aquí, no es necesario un control preciso de las emisiones anuales, sino un seguimiento de los efectos que estas producen en el largo plazo.

Por último, la mayor parte de los expertos coincide en que los impuestos sobre las emisiones tienen ventajas importantes sobre otros instrumentos, sobre todo sobre aquellos basados en la regulación (Jorgenson y Wilcoxon, 1993). Además, un sistema de permisos comercializables simple no funcionará adecuadamente, mientras que un sistema más complicado que tenga distintas variedades de permisos, períodos de tiempo distintos y duración determinada podría funcionar de forma más eficiente (Lewis y Sappington, 1999).

Análisis de los instrumentos económicos bajo el criterio de eficiencia dinámica.

A largo plazo, los aspectos más importantes a la hora de elegir entre la política más adecuada son los incentivos que se originen para desarrollar nuevas y mejores tecnologías y su influencia sobre el desarrollo económico (Manne y Richels, 1995). Estos aspectos se han estudiado de forma menos intensiva, a pesar de la importancia que tienen para el bienestar futuro de la humanidad.

Gráfico III
Reducción de costes mediante la eficiencia dinámica



Consideremos una planta de producción que emite un gas contaminante a la atmósfera (dióxido de carbono, por ejemplo). La curva de coste marginal de reducir las emisiones de carbono es la que viene delimitada por los puntos de corte MC (gráfico III). Supongamos que la política ambiental consiste en un sistema de control estricto de la cantidad de emisiones (regulación), esto es, el gobierno o planificador impone un límite de emisiones (E toneladas) cada año. El coste total de esta política es igual al área por debajo de la curva MC, es decir, EBC.

Supongamos ahora que la planta puede desarrollar una nueva tecnología que reduciría los costes de la política reguladora y que la nueva curva de coste marginal es M'D. Si esta tecnología ha sido adoptada, el coste total sería ahora el triángulo EDF. El ahorro que ha generado la nueva tecnología es igual al área DCBF. Es estrictamente igual a la reducción del coste de la política aplicada.

La situación es distinta cuando la política ambiental es un impuesto que grava las emisiones (de carbono, en nuestro caso). Supongamos que el impuesto es p . Aquí el coste total para la planta con la tecnología antigua es ECB (coste de la política reguladora de emisiones) más OEB p (pago del impuesto). El ahorro de costes que produce la nueva tecnología es ahora DCBA. Este es estrictamente mayor que el ahorro de costes producido bajo la política de control (regulación). Debido a que la planta no podrá únicamente reducir su coste mediante el uso de la nueva tecnología tendrá también que reducir el pago del impuesto mediante la reducción de las emisiones. Por tanto, parece que, al menos teóricamente, un impuesto sobre las emisiones ofrece incentivos más fuertes para desarrollar y aplicar nuevas y más limpias tecnologías que una política basada en el control cuantitativo de las emisiones, además de conseguir un recorte neto de las mismas (Farrow, 2001).

Para finalizar, tendríamos que analizar que ocurriría bajo un sistema de permisos comercializables. ¿Ofrecería el mismo resultado que la política de regulación o la del impuesto?. La respuesta es, depende. Si los permisos son asignados una vez y para siempre entre las distintas plantas, pero después de que hayan sido comprados y vendidos en el mercado, el resultado será similar al ofrecido por el impuesto. En esta situación, los permisos tendrán un valor económico y si se adopta una nueva tecnología la planta puede vender algunos de los permisos y ganar dinero. Si el precio de los permisos no cambia debido a la introducción de la nueva tecnología, el resultado será exactamente el mismo que el del impuesto. No obstante, si varias empresas adoptan nuevas tecnologías, la demanda total de permisos caerá y también lo hará el precio. Este hecho hará que disminuya la rentabilidad de haber adoptado la nueva tecnología y con ella los incentivos para desarrollar nuevos métodos de producción.

En definitiva y como conclusión, en general *los permisos comercializables ofrecerán menores incentivos para el desarrollo tecnológico que los impuestos, pero mayores que los sistemas de regulación pura.*

Conclusiones

Hemos comprobado que una cuestión primordial para poder comparar impuestos sobre el carbono y permisos de emisiones desde el punto de vista de la eficiencia es la cuestión de la información. Si los agentes económicos en general tienen información sobre el coste del instrumento destinado a reducir las emisiones y sobre los costes sociales de las mismas (daños ambientales), entonces ambos instrumentos lograrán la misma reducción de la contaminación y al mismo coste.

La conclusión básica que se deriva del análisis de eficiencia estática con información perfecta es que siempre que los costes marginales difieran entre las distintas fuentes de emisión será posible reducir el coste total distribuyendo la reducción de emisiones entre las fuentes contaminantes. En definitiva, para un coste total mínimo o coste eficiencia, el coste marginal debe ser el mismo en las fuentes de emisión consideradas. Aquí hemos supuesto que existe información sobre los costes marginales de reducir las emisiones y que, por tanto, podemos alcanzar una situación de equilibrio de mercado ajustando los costes a los precios. Hemos supuesto también que el mercado funciona perfectamente -competencia perfecta donde los precios son conocidos- y, en estos casos, cualquiera de los instrumentos económicos analizados nos ofrece un resultado coste eficiente cuando se trata de reducir las emisiones de algún contaminante.

El problema surge cuando la información no es perfecta, es decir, los agentes económicos desconocen los costes marginales de las distintas fuentes de contaminación. En este caso, no esperamos que el mercado ofrezca un precio uniforme. Estos son los casos más corrientes en el mundo real. Por tanto, la situación habitual es una en la que el planificador no tiene información completa sobre los costes de reducir las emisiones y tampoco sobre los costes sociales o daños que produce la contaminación.

En este caso, ya no es lo mismo gravar las emisiones con un impuesto que establecer un sistema de permisos comercializables. La carencia de información influye de manera importante en la elección que el planificador haga entre un instrumento u otro. Tal y como se desprende de nuestro análisis dicha elección dependerá, fundamentalmente, de las elasticidades de la curva de coste marginal (de reducir las emisiones) y de la curva de daño marginal. Si existen razones para pensar que la curva de daño marginal tiene mucha pendiente (es muy vertical) mientras que la curva de coste marginal es muy plana, deberíamos elegir el sistema de permisos comercializables. Este puede ser el caso en el que hay situaciones ambientales en las que un pequeño aumento de las emisiones puede dar lugar a daños muy serios en el medio ambiente. Por otro lado, si el daño

ambiental no es tan sensible a las emisiones anuales, entonces será preferible el impuesto. Este último representa la situación en la que el daño ambiental ha sido causado por las emisiones acumuladas. Aquí, no es necesario un control preciso de las emisiones anuales, sino un seguimiento de los efectos que producen las emisiones en el largo plazo.

Respecto al análisis de eficiencia dinámica, parece que, al menos teóricamente, un impuesto sobre las emisiones ofrece incentivos más fuertes para desarrollar y aplicar nuevas y más limpias tecnologías que una política basada en el control cuantitativo de las mismas. Además, se ha comprobado que el impuesto es capaz de conseguir un recorte neto de las emisiones de carbono. No ocurre lo mismo en el caso de los permisos de emisiones. El análisis de eficiencia dinámica concluye que estos ofrecen, en general, menores incentivos para el desarrollo tecnológico que los impuestos, pero mayores que los sistemas de regulación pura. Únicamente en el caso de que los permisos sean asignados una vez y para siempre entre las distintas plantas emisoras (después de que hayan sido comprados y vendidos en el mercado) el resultado puede ser similar al ofrecido por el impuesto.

Por tanto, un objetivo importante de cualquier política destinada a paliar los efectos nocivos de la contaminación ambiental (en concreto la atmosférica) debe ser que ésta sea coste-eficiente, esto es, estructurar la política de tal forma que pueda obtenerse la reducción máxima de emisiones para un nivel dado de gasto.

Por último, hay que señalar que uno de los dilemas políticos que siguen siendo centro de atención en el debate del cambio climático gira en torno a si deberían o no adoptarse medidas en el corto plazo para prevenirlo⁶. En realidad, saber si sería necesaria la acción preventiva depende de cómo sea la relación entre los costes de evitar las emisiones de gases invernadero y los daños que estos gases pueden ocasionar si continúan sin ser sometidos a ningún control.

Bibliografía

- BAUMOL, W.J. y OATES, W.E. (1975). *The Theory of Environmental Policy. Externalities, Public Outlays and the Quality of Life*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey.
- BOHM, P. (1973). *Social Efficiency: A Concise Introduction to Welfare Economics*. The MacMillan Press Ltd. Londres.
- COASE, R.H. (1960). "The Problem of Social Cost". *The Journal of Law and Economics*, nº 3, pp: 1-44.

⁶ Recientemente han surgido informes relevantes tales como el Informe Stern que parecen haber aclarado algunas de estas dudas.

- DOWER, R., ROGER, C., y ZIMMERMAN, M. (1992). *The Right Climate for Carbon Taxes: Creating Economic Incentives to Protect the Atmosphere*. World Resources Institute. Washington, D.C.
- FARROW, S. (2001). "The Dual Political Economy of Taxes and Tradeable Permits". *Econ. Letters*, 49 (2), pp. 217-20.
- GARCIA, C. (2007). "Modelo de Cambio Climático: Optimización del Coste de Reducir las Emisiones". *Anales de Economía Aplicada*, Num XXI.
- GARCIA, C. (2006). "El Análisis Coste-beneficio y la dificultad de su aplicación al Cambio Climático". *Estudios de Economía Aplicada*. Vol 24-2.
- HANNA, S., y MUNASINGHE, M. (1995). *Property Rights in a Social and Ecological Context: Case Studies and Design Applications*. Beijer International Institute of Ecological Economics, Estocolmo; Washington, D.C., Banco Mundial.
- HOURCADE, J-C y THÉRY, D. (1996). "The Cost of Preventive Policies: A Controversial Issue". *Ecodecision*, vol. 19: The Atmosphere.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- JACOBS, M. (1991). *The Green Economy*. Pluto Press.
- JORGENSEN, D.W, y WILCOXEN, P.J.(1993). "Reducing US Carbon Emissions: An Assessment of Different Instruments". *J. Pol. Modeling*, 15 (5-6), pp.491-520.
- KEMP, R. (1997). *Environmental Policy and Technical Change: A Comparison of the Technological Impact of Policy Instruments*. New Horizons in Environmental Economic Series. Cheltenham, U.K; Elgar. American International Distribution Corporation.
- KLAASSEN, G. y FORSUND, F. (1994) (Eds). *Economic Instruments for Air Pollution Control*. Economy and Environment Series, vol 9. Kluwer. Dordrecht y Boston.
- KOUTSTAAL, P., y NENTJES, A. (1995). "Tradable Carbon Permits in Europe: Feasibility and Comparison with Taxes". *J. Common Market Studies*, 33 (2), pp. 219-33.
- LARSEN, B. y SHAH, A. (1994). "Global Tradeable Carbon Permits, Participation Incentives and Transfers". *Oxford Economic Papers* 46, octubre, pp. 841-856.
- LEWIS, T., y SAPPINGTON, D.(1999). "Using Markets to Allocate Pollution Permits and Other Scarce Resource Rights under Limited Information". *J. Public. Econ*, 57 (3), pp. 431-55.
- MANNE, A., y RICHELIS, R. (1995). "The Greenhouse Debate: Economic Efficiency, Burden Sharing and Hedging Strategies". *The Energy Journal*, vol 16, nº4, p.2-37.
- NORDHAUS, W. (2002). "After Kyoto: Alternative Mechanisms to Control Global Warming". Yale University.
- PADRON, N. (1992). "Objetivos e Instrumentos de Política Medioambiental: un Enfoque Institucional". *Información Comercial Española*, nº 711, pp. 45.
- PIGOU, A.C. (1924). *The Economics of Welfare*. London, Macmillan, 1950 (4ª reimpresión de la 4ª edición).

POTERBA, J. (1991). "Tax policy to Combat Global Warming: On Designing a Carbon Tax". En *Global Warming: Economic Policy Approaches*. Editado por Dornbush, R.D. y Poterba, J.M, pp. 72-98. Cambridge, MA:MIT Press.

SCHUMPETER, J.A. (1954). *History of Economic Analysis*. Oxford University Press. La última edición en castellano es de 1994 (3ª edición): Historia del Análisis Económico, editada por Ariel, S.A.

TIETENBERG, T. (1990). "Economic Instruments for Environmental Regulation". *Oxford Review of Economic Policy*, vol. 6, nº 1, pp. 17-33.

WHALLEY, J. y WIGLE, R. (2002). "Cutting CO₂ Emissions: The Effects of Alternative Policy Approaches" en *International Trade and Environment*, Judith Dean (ed). Ashgate Publishers.

YAMAJI, K. y OKADA, K. (1992). "A Simulation Study on the Tradeable CO₂ emission Permits". Trabajo presentado en el International Workshop on Costs, Impacts and Possible Benefits of CO₂ Mitigation. Instituto Internacional de Sistemas de Análisis Aplicados, Viena.

