

Resumen

La Unión Europea es líder a escala mundial en la política de lucha contra el cambio climático. Tras la introducción, en el apartado II de este artículo se revisan los principales elementos de la política europea de cambio climático, incluyendo el paquete del clima y la energía de 2007 y el «Libro Blanco sobre adaptación al cambio climático» de 2009. En el apartado III, se ilustra de qué forma se han utilizado diversos modelos tipo energía-economía-medio ambiente (E3) para diseñar las políticas europeas; en concreto, se analiza la Comunicación donde se define la postura de la Comisión Europea ante la cumbre de Copenhague que se celebrará en diciembre de 2009.

Palabras clave: política de cambio climático, gases de efecto invernadero, mitigación, adaptación, modelos energía-economía-medio ambiente.

Abstract

The European Union is a global leader in policy for fighting climate change. Following an introduction, the second section of this paper gives an overview of the main components of European climate change policy, including the 2007 climate and energy package and «The 2009 White Paper: Adapting to climate change». In section three there is a review of how the different energy-economics-environment type models (E3) are used for the design of European policy, including an analysis of the Report discussing the definition of the European Commission's position regarding the Copenhagen summit which will take place in December 2009.

Key words: Climate change policy, greenhouse gas effect, mitigation, adaptation, energy-economics-environment models.

JEL classification: Q53, Q54.

LA POLÍTICA CLIMÁTICA EUROPEA

Juan Carlos CISCAR

Antonio SORIA

Comisión Europea

I. INTRODUCCIÓN (*)

La atmósfera permite la vida en nuestro planeta. Ciertos gases, denominados de efecto invernadero (GEI), hacen que la temperatura sea superior a la que se daría en su ausencia. Este efecto natural se ha visto reforzado en los dos últimos siglos debido a la quema de combustibles fósiles y a los cambios en el uso de la tierra, fenómenos ambos ligados a la revolución industrial, que han producido un incremento de la concentración de GEI en la atmósfera. Desde finales del siglo XIX la temperatura media de la superficie de la Tierra ha aumentado 0,6 °C. El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) de Naciones Unidas concluye, en su cuarto informe de evaluación (IPCC, 2007), que es muy probable que la mayor parte del aumento de temperatura desde mediados del siglo XX se deba a la mayor concentración de GEI antropógenos. Las proyecciones de emisiones para final de siglo indican que la temperatura puede aumentar de 1,1 a 6,4 °C respecto a 1990.

Intentar solucionar el problema del cambio climático es un reto formidable por varias razones. Así, la estabilización de la concentración de GEI en la atmósfera a niveles que permitan limitar el aumento de temperatura a dos o tres grados respecto a los niveles preindustriales exige un cambio radical del sistema energético, dado que el cambio climático está íntimamente relacionado con la transformación y el uso de la energía en nuestras sociedades. La ac-

tual dependencia de los combustibles fósiles ha de desaparecer, pasando a instaurar un sistema energético con baja intensidad en gases de efecto invernadero.

En segundo lugar, el cambio climático es un problema a escala mundial, ya que el efecto de las emisiones de GEI sobre la atmósfera se produce con independencia del emplazamiento de la fuente de emisión. Ello hace necesario un acuerdo internacional voluntario que resuelva el problema típico de «usuario gratuito» (*free rider*), es decir, el incentivo de cada país a no hacer sacrificios de reducción de emisiones y, sin embargo, beneficiarse de las reducciones realizadas por otros países. Hoy en día, por ejemplo, las emisiones de GEI de China ya superan a las de los EE.UU., por lo que las políticas de lucha contra las causas del cambio climático sólo serán efectivas a largo plazo si cuentan con la participación de las principales economías del mundo, incluyendo no sólo los miembros de la OCDE, sino también los grandes países emergentes del Sudeste Asiático y de Latinoamérica.

En tercer lugar, el cambio climático es un problema que afecta a varias generaciones, debido a la enorme inercia del proceso de cambio. Ello introduce no sólo una gran incertidumbre en la modelización y el estudio científico del cambio climático, permeando todas las disciplinas involucradas, sino también importantes dificultades ligadas al estudio económico de las distintas opciones consideradas. Una ilustración es el

papel que juega la tasa de descuento al estimar en valor presente los beneficios que tendrán lugar en el futuro lejano. Asimismo, la existencia de no-linealidades e irreversibilidades complica todavía más el estudio del cambio climático.

Para afrontar el problema, se pueden llevar a cabo dos tipos de políticas: por una parte, la política de *mitigación* o reducción de las emisiones de GEI, que pretende atacar las causas del problema; por otra, la política de *adaptación* al cambio climático trata de minimizar las consecuencias de éste, aprovechando además al máximo sus efectos positivos.

La Unión Europea (UE) es líder a escala mundial en la política de lucha contra el cambio climático. La UE tiene el objetivo de limitar el aumento de temperatura medio mundial a 2 °C, respecto a los niveles previos a la revolución industrial. Ello significa que la concentración de GEI en la atmósfera se debería estabilizar en un rango de 450 a 500 ppmv, en unidades de CO₂-equivalente. A su vez, para lograr este objetivo de concentración, es necesario que las emisiones mundiales de GEI se establezcan hacia el año 2020, es decir, dentro de una década aproximadamente. Hay que notar que en el horizonte del año 2050 el objetivo de reducción de emisiones mundiales respecto a los niveles de 1990 es muy significativo, del orden del 50 al 80 por 100 (1).

La necesidad de evaluar de manera cuantitativa, aunque con todas las precauciones inherentes a la modelización de sistemas económicos, el impacto de las políticas climáticas ha renovado el interés por un grupo de métodos de evaluación integrada conocido como modelos E3 (energía-economía-ambiente) (Hidalgo, 2005). La meto-

dología se diseña con el propósito de intentar representar las relaciones que existen entre los sistemas energético, económico y medioambiental, incluyendo muy frecuentemente una doble vertiente técnico-económica. Los modelos así creados facilitan el análisis comparativo de escenarios alternativos. Aunque la componente predictiva de los modelos quede muy comprometida en el medio y largo plazo, la comparación entre escenarios homogéneos e internamente coherentes en sus variables macroeconómicas y tecnológicas da una idea realista del impacto diferencial de las hipótesis introducidas sobre un escenario de referencia, y permite realizar estudios de sensibilidad sobre los parámetros. Los modelos E3 se utilizan para estudiar temas como los efectos medioambientales a largo plazo de los patrones actuales de producción y consumo de energía, las consecuencias del agotamiento de los recursos energéticos fósiles y la evolución futura de las tecnologías energéticas sobre el crecimiento económico, y para entender cómo pueden afectar las políticas energéticas y ambientales al sistema económico general.

El objetivo de este artículo es doble: por una parte, analizar los elementos centrales de la política europea de lucha contra el cambio climático y, asimismo, ilustrar el uso de modelos técnico-económicos para fundamentar dichas políticas.

El presente artículo recoge, en el apartado II, los elementos principales de la política europea de cambio climático, tanto en materia de mitigación de emisiones como de adaptación; en el III, se presenta el análisis de impacto *ex ante* de distintas opciones para lograr el objetivo de los 2 °C, con políticas mundiales que suponen objetivos de reducción ambiciosos en el horizonte 2030.

II. LA POLÍTICA EUROPEA DE LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO

La política europea de mitigación de emisiones se inició a mediados de los años noventa en el marco del Protocolo de Kioto —que estableció un objetivo de reducción de emisiones del 8 por 100 para la UE-15 en el periodo 2008-2012 respecto al año 1990—, y su máximo exponente es la creación en el año 2005 del mercado europeo de permisos de emisión (ETS, *emission trading system*). La política de adaptación se inició en el año 2007 con la publicación del Libro Verde sobre adaptación y la reciente adopción del correspondiente Libro Blanco. A continuación se exponen y analizan estas políticas.

1. Arquitectura general de la política de mitigación

En marzo de 2005 la comunicación «Ganando la batalla contra el cambio climático global» (Comisión Europea, 2005) destacó la necesidad de una participación amplia de países, incluyendo las grandes economías emergentes, en los esfuerzos para luchar contra el cambio climático. El Consejo Europeo de marzo de 2005, posterior a dicha comunicación, solicitó a la Comisión Europea profundizar en su análisis.

Siguiendo tal petición, la Comisión adoptó en enero de 2007 la comunicación «Limitando el calentamiento mundial a 2 °C - Medidas necesarias hasta 2020 y después» (Comisión Europea, 2007a). En esta comunicación se presentan escenarios mundiales de política climática que permiten en el horizonte 2030 alcanzar el objetivo de los 2 °C (véase Russ *et al.*, 2007).

Como resultado de la comunicación de 2007, el Consejo Europeo de marzo de 2007 aprobó el llamado «paquete del clima y de la energía», que determinó el compromiso de la UE de reducir las emisiones de GEI al menos en un 20 por 100 en el año 2020 respecto a las emisiones de 1990. Este objetivo será del 30 por 100 si hay un acuerdo internacional y si otros países desarrollados se comprometen a reducciones de emisiones comparables. Al mismo tiempo, el Consejo adoptó la «política energética para Europa», estableciendo un objetivo del 20 por 100 en energías renovables y mejoras en eficiencia energética, que contribuirán al objetivo de mitigación.

En el plano internacional, el Plan de Acción acordado en Bali en 2007 inició el proceso para lograr un acuerdo mundial sobre clima para el periodo post-2012 en la próxima Conferencia de Naciones Unidas a celebrar en Copenhague en diciembre de 2009. En enero de 2009 la Comisión publicó la comunicación «Hacia un acuerdo de cambio climático completo en Copenhague» (Comisión Europea, 2009a), con la finalidad de definir la posición de la UE ante la citada cumbre del clima. En esta comunicación se analizan distintos criterios de asignación de objetivos de reducción de emisiones para los países desarrollados, y será tratada en el apartado III.

2. Principales instrumentos de la política de mitigación en el ámbito europeo

2.1. El mercado europeo de permisos de emisión

La idea central del comercio de emisiones de GEI es explotar la ventaja informacional del mercado como asignador de recursos de forma descentralizada para re-

ducir al mínimo coste posible las emisiones que ocasionan el calentamiento mundial. La Unión Europea carecía de experiencia en este instrumento de regulación, mientras que otros países, como por ejemplo los EE.UU., llevaban operando varios años el mercado de dióxido de azufre.

En 2005 nació el mercado europeo de derechos de emisión de GEI (ETS, *emission trading scheme*), el primer régimen internacional de comercio de estos derechos en el mundo. El ETS constituye uno de los instrumentos fundamentales de la política climática de la UE, tanto por el número de instalaciones industriales afectadas (unas 12.000) como por los sectores considerados (los sectores industriales intensivos en el uso de energía).

La característica fundamental de la Directiva europea que establece el comercio de derechos de emisión de GEI es limitar en términos absolutos los derechos de emisiones y permitir el comercio de esos derechos entre los participantes del mercado (*cap and trade*). Como ya se ha comentado, la efectividad (en términos de minimización de costes) es la principal ventaja de este sistema de regulación, en particular frente a sistemas tradicionales tipo «mando y control» (*command and control*). Esta característica minimizadora de costes se verifica incluso en sectores cuyos costes de reducción sean desconocidos por la autoridad reguladora, comparándose favorablemente por consiguiente con instrumentos impositivos, para cuyo diseño el regulador necesita información sobre los costes marginales de reducción del sector concernido. Otra ventaja sustancial es el que se garantice alcanzar un objetivo preciso de emisiones. Por el contrario, al ser un instrumento de política ambiental basado en cantidades, no se conoce de

antemano el precio de los derechos, que será el resultado de la interacción de todos los agentes del mercado; este precio es, en condiciones teóricas de cobertura universal de los sectores emisores, el coste marginal de reducción de emisiones en la economía.

En el primer periodo del ETS, que abarca los años 2005 a 2007, el mercado incluía los sectores más intensivos en el uso de energía, en concreto: sector eléctrico (plantas de combustión), refinerías de petróleo, coquerías, plantas metalúrgicas y acerías, así como fábricas de cemento, vidrio, ladrillos, cerámica, y pasta y papel, representando aproximadamente la mitad de las emisiones de CO₂ y la tercera parte de las emisiones de GEI de la Unión Europea.

Los derechos de emisión se asignaban a cada instalación industrial a través de los denominados planes nacionales de asignación (PNA), a propuesta de los estados miembros, y debía contar con la aceptación de la Comisión Europea. La mayor parte de los derechos (al menos el 95 por 100) se asignaron a las empresas gratuitamente (*grandfathering*). Con ello, el coste de cumplir con la Directiva para el sector empresarial es inferior al caso de subasta de los derechos. Para el segundo periodo del ETS, periodo 2008-2012, como mínimo el 90 por 100 de los derechos se asignan gratuitamente.

Un aspecto esencial se refiere a la posibilidad de trasladar permisos de un periodo a otro. Como es sabido, al final del primer periodo (2005-2007) el precio del permiso disminuyó de forma acusada, acercándose a cero, debido a que hubo sobre-asignación de permisos que no se podían trasladar al siguiente periodo. Para el segundo periodo del ETS y los si-

guintes, está previsto sin embargo que se puedan trasladar los permisos entre periodos.

En noviembre de 2004, una enmienda a la Directiva (*Linking Directive*) sentó las bases legislativas para extender la flexibilidad del mecanismo a proyectos catalogables como mecanismo de desarrollo limpio (MDL) y/o implementación conjunta (IC). De esta manera, los estados miembros pueden autorizar el uso de créditos de reducción de emisiones generados por proyectos MDL o IC, y las compañías vinculadas por el sistema europeo de permisos de emisión pueden usar los créditos correspondientes —certificados de reducción de emisiones (CERs y ERUs, por sus siglas en inglés) creados vía proyectos MDL e IC, respectivamente— para comerciar y redimir emisiones dentro del mercado europeo.

En cuanto al periodo 2013-2020, se han introducido cambios importantes en las reglas que regulan el mercado de emisiones. En primer lugar, el sistema de subasta se instaurará de forma paulatina, reduciéndose el porcentaje de permisos asignados de forma gratuita (2). En particular, en el año 2013 la subasta pasará a afectar a la mitad de los permisos emitidos, aumentando hasta el 70 por 100 en el año 2020, estando previsto que llegue al 100 por 100 en el año 2027. Para el sector eléctrico, la regla es subasta del 100 por 100 de los derechos, con alguna derogación temporal y opcional bajo ciertas condiciones. Asimismo, a los sectores que se puedan ver afectados por la llamada «fuga de carbono» —que se trasladen las plantas industriales a países sin objetivos de reducción de emisiones— se les asignarán todos los permisos de forma gratuita. La lista de estos sectores se definirá a finales del año 2009.

En segundo lugar, mientras que en la primera y segunda fases del ETS se determinaban los objetivos nacionales a través de los PNA, en la fase tres se fijará un límite paneuropeo de forma anual. Desaparecen por tanto los PNA, estableciéndose unas reglas de asignación armonizadas para todos los países europeos. El 88 por 100 de los permisos que se subastan se asignarán según las emisiones históricas, y el resto según el PIB per cápita.

Las emisiones de CO₂ de los sectores petroquímico, producción de amoníaco y aluminio serán incluidos en el mercado ETS. Asimismo, se ha decidido incluir el sector aviación desde el año 2012.

Otro aspecto importante es que los créditos generados por reducción de emisiones en terceros países están limitados a la mitad de las reducciones necesarias en el periodo 2008-2020.

2.2. *El fomento de las fuentes de energía renovables*

De modo genérico, existen dos enfoques prevalentes para el fomento de las energías renovables en los mercados europeos. Por un lado, está el sistema de *primas a la producción (feed-in tariffs)*, en las que se fija el precio garantizado que remunera a cualquier productor de energía renovable. Estos precios son específicos para cada tipo de tecnología, teniendo presente el grado de competitividad de cada una de ellas. Esta fórmula va acompañada generalmente de una obligación de compra. Normalmente, los sobrecostes corren a cargo de los consumidores o del presupuesto público.

Por otro lado, el instrumento dual, *comercio de certificados ver-*

des, se basa en la prescripción de un volumen total de energía renovable, con objetivos específicos para cada uno de los agentes de mercado. Los certificados verdes intercambiables (TGC, *tradeable green certificate*) se crean cuando la electricidad se genera utilizando tecnologías renovables, y los agentes de mercado pueden comercializarlos separadamente de la energía verde que los generó hasta poder acreditar el objetivo prescrito por el regulador. De este modo, quienes invierten en fuentes de energía renovable reciben, además del precio de mercado de la electricidad generada, un subsidio extra por sus inversiones equivalente al precio de mercado de los certificados. Una variante de este instrumento (basado igualmente en la cantidad, y no en el precio) es la licitación competitiva para la adjudicación de contratos de compra a largo plazo (o concurso) de energía renovable: el regulador determina un objetivo, que se cumple mediante la oferta o las ofertas más ventajosas económicamente.

El sistema de primas a la producción es predominante en la mayoría de los estados miembros de la Unión (dieciocho de ellos las instrumentan en diversas variantes). Particularmente exitosas en Alemania, España y Dinamarca, el tratamiento del sobrecoste y la distorsión en la asignación de recursos que generan estas primas es el mayor desafío que las primas a la producción plantean al regulador. El sistema basado en cantidades (cuotas de producción) está presente en siete estados miembros, combinado con el sistema de certificados verdes intercambiables (en seis de ellos). Otras políticas, como los préstamos en condiciones favorables o los incentivos a la inversión, complementan a las principales políticas de apoyo a las energías renovables.

En enero de 2008, la Comisión Europea propuso un borrador de directiva para fomentar el uso de las energías procedentes de fuentes renovables. El objetivo a medio plazo consiste en garantizar para el año 2020 un peso de las energías renovables en el total de la energía final consumida de al menos el 20 por 100. Este objetivo se logrará mediante la imposición de unos objetivos nacionales vinculantes, pero diferenciados para los estados miembros. La propuesta de directiva no prescribe objetivos sectoriales para la electricidad de fuentes renovables o el calor en sectores terciarios, domésticos e industriales, pero sí para los biocarburantes. Respecto de estos últimos, la propuesta de directiva exige una proporción mínima de biocarburantes en el total de consumo de combustibles líquidos del sector transporte, que ha de ser igual o superior al 10 por 100. La directiva faculta ciertos mecanismos de flexibilidad entre los estados miembros, basados en los certificados de garantía de origen (GO) renovable, que serían transferibles entre estados miembros, pudiendo aquellos que hayan cumplido su objetivo vender sus excedentes a los que fuesen deficitarios. La directiva mantiene la diversidad de instrumentos nacionales existentes para el fomento de las energías renovables.

2.3. *La política de eficiencia energética*

Uno de los elementos fundamentales en el paquete del clima y la energía de 2007 consiste en la potenciación de las medidas conducentes a un mayor ahorro y eficiencia energética. Previamente, la Unión Europea había adoptado un ambicioso marco legislativo en lo concerniente a la eficiencia energética en el consumo final de

energía y otros servicios energéticos (Directiva Comunitaria 2006/32/EC). Esta legislación obliga a los estados miembros a establecer objetivos cuantitativos en términos de ahorro energético, medidas de promoción de eficiencia energética en la provisión de servicios energéticos. Los estados miembros prepararon planes de acción de eficiencia energética, indicando el paquete de medidas adoptadas en cada caso para alcanzar el objetivo indicativo de ahorro energético del 9 por 100 para el año 2016. El paquete del clima y la energía de 2007 extiende estos objetivos de mejora de eficiencia energética hasta el año 2020: para esa fecha, el objetivo es reducir el consumo en un 20 por 100, con respecto al nivel previsto en la misma fecha, gracias a una mayor eficacia energética tanto en los sectores industriales y terciarios como en el consumo doméstico.

Esta iniciativa se refuerza con toda la legislación previa, de ámbito más sectorial, sobre medidas específicas en cada ámbito de actividad: la Directiva sobre Etiquetado Energético (1992), la Directiva de Promoción de la Cogeneración (2004), la Directiva sobre Eco-diseño (2005) y la Directiva sobre Eficiencia Energética en Edificios, cuyo borrador, enmendando la Directiva precedente del año 2002, fue presentado en 2008.

2.4. *La política de transporte*

El transporte es una prioridad crucial para las políticas europeas. En su vertiente de transporte de mercancías, un sector de transporte de mercancías saneado y bien regulado es fundamental no sólo para la articulación del mercado interior, sino también para garantizar la competitividad de los

productos europeos. El transporte de pasajeros es también crucial en los sectores terciarios. Las prioridades actuales de la política europea de transporte fueron establecidas con el Libro Blanco publicado por la Comisión Europea en 2001, titulado «Libro Blanco. La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad».

Desde entonces, varias iniciativas legislativas han sido llevadas a cabo para revitalizar el sector transporte, promover la intermodalidad, minimizar el impacto ambiental (y muy notablemente en lo concerniente a cambio climático) del sector, y promover su eficiencia. De especial relevancia para la política climática europea fueron las comunicaciones «Hacia un transporte más ecológico» (2008) y «Estrategia para la aplicación de la internalización de los costes externos» (2008). Esta última sienta las bases de la estrategia de internalización de costes externos de los sectores de transporte, y recoge de manera muy especial la componente inductora de cambio climático de un sector cuyo aprovisionamiento de energía se basa en un 98 por 100 en combustibles fósiles.

En lo concerniente directamente a las emisiones de gases de efecto invernadero, merece especial mención la enmienda de la Directiva de Comercio Europeo de Emisiones, incluyendo el sector de transporte aéreo (2008). Respecto a las medidas de política conducentes a mejorar la eficiencia energética del sector, destaca el Plan de Acción para la Logística del Transporte de Mercancías (2007), y el Plan de Acción en Movilidad Urbana, basado en la comunicación «Hacia una nueva cultura de movilidad urbana» (2007).

2.5. La política tecnológica

La Comisión Europea publicó en 2007 la comunicación «Un plan estratégico europeo de tecnologías energéticas (SET-Plan). Hacia un futuro de bajo carbono» (Comisión Europea, 2007b). El Plan propuesto en esta comunicación fue aprobado en febrero de 2008 por el Consejo Europeo de Energía, y un mes más tarde por el Consejo Europeo. Su objetivo es establecer una nueva agenda de prioridades en investigación y desarrollo (I+D) en la Unión Europea, a través de instrumentos financieros reforzados para fomentar los proyectos de demostración y desarrollo de un amplio espectro de tecnologías energéticas con bajo o nulo perfil carbónico, contando con la participación de los sectores industriales mediante esquemas de asociaciones público-privadas. El SET-Plan propone la creación de seis plataformas industriales para las siguientes tecnologías: eólica, solar, bioenergía, captura y secuestro de CO₂, redes eléctricas avanzadas y reactores de fisión avanzados. El SET-Plan propone también la creación de una alianza europea de centros de investigación energética con el fin de promover una serie de programas conjuntos de investigación energética que faciliten el paso a un sistema industrial menos dependiente de los recursos fósiles.

En cuanto a los recursos para financiar el Plan, la Comisión prepara en la actualidad una comunicación sobre los esquemas financieros apropiados para afrontar este desafío tecnológico: el propósito es pasar de un esquema de co-financiación de la investigación, como el aplicado en los sucesivos programas marco de investigación y desarrollo, a otro con mayores recursos, más eficientemente asignados y en el cual el

papel del sector privado sea central. El SET-Plan también recoge la necesidad de incrementar cualitativa y cuantitativamente el *stock* de capital humano dedicado a los retos que plantea la innovación en el sector energético.

3. La política de adaptación

Europa es una región vulnerable al cambio climático, como demuestran diversos estudios (e.g. EEA, 2008). Por ejemplo, en el marco del estudio PESETA sobre los efectos del cambio climático en Europa se concluye que ciertos sectores, como el de agricultura, presentan una elevada vulnerabilidad al cambio climático, sobre todo en zonas del Sur de Europa (Ciscar, 2007).

El cambio climático está ya ocurriendo, y es necesario adaptarse al mismo. La política de adaptación al cambio climático tiene una importancia creciente en la estrategia europea de lucha contra el cambio climático. En junio del 2007 la Comisión publicó el Libro Verde sobre adaptación al cambio climático (3), que fue seguido de un proceso de discusión entre las partes interesadas.

En abril de 2009 la Comisión acaba de publicar el Libro Blanco sobre adaptación al cambio climático (Comisión Europea, 2009b), cuyo principal objetivo es proponer un marco que permita disminuir la vulnerabilidad de la UE a los impactos del cambio climático. El Libro Blanco plantea que, a partir del año 2013, se podría poner en marcha una estrategia europea de adaptación, para lo que se propone una serie de acciones preparatorias en el periodo 2009-2012.

En concreto, se consideran cuatro tipos de actuaciones. En primer lugar, es necesario mejorar la información disponible sobre los posi-

bles impactos del cambio climático en la UE. Para ello, se plantea crear hacia el año 2011 un mecanismo de intercambio de información (*clearing house mechanism*) entre los estados miembros sobre los impactos del cambio climático, vulnerabilidad y mejores prácticas en adaptación. La idea es lograr en esa fecha un conocimiento mucho mejor sobre los aspectos coste-beneficio de la política de adaptación, de carácter eminentemente local y regional. Se elaborarán indicadores de impacto, de los cuales se hará un seguimiento.

En segundo lugar, se propone la integración de la política de adaptación en las diferentes políticas europeas de tipo sectorial que están relacionadas con el cambio climático. Ejemplos claros son las políticas agraria y de salud, dos sectores donde el cambio climático puede tener importantes consecuencias. El Libro Blanco detalla las políticas que se verán afectadas, y en las cuales se pretende mejorar su capacidad de resistencia al cambio climático, incluidas las políticas de bosques, biodiversidad, ecosistemas, agua, zonas costeras y marinas, sistemas de producción e infraestructuras físicas.

Las otras dos actuaciones se refieren a la cooperación internacional en materia de adaptación y al uso de instrumentos para que la política de adaptación sea efectiva, donde se podría estudiar el uso de los recursos procedentes del mercado europeo de permisos de emisión para financiar políticas de adaptación.

III. ILUSTRACIÓN DEL USO DE MODELIZACIÓN PARA EL APOYO DE MEDIDAS DE POLÍTICA CLIMÁTICA

Las propuestas que realiza la Comisión Europea al Consejo de-

ben ir acompañadas de un estudio de impacto que evalúe las posibles consecuencias de las medidas propuestas, incluyéndose en muchos casos un análisis coste-beneficio o coste-eficacia. En el área de la política climática se utilizan diversos modelos pertenecientes a la familia E3.

Interesa detenerse en el uso de estos modelos para el caso de la última comunicación de la Comisión referente a la negociación internacional sobre un acuerdo de reducción en la próxima cumbre (COP, *conference of the parties*) de Copenhague (4).

Se utilizaron dos modelos complementarios: el modelo del sistema energético mundial POLES y el modelo multisectorial de equilibrio general GEM-E3. El modelo POLES, de tipo ingenieril, parte de una caracterización técnico-económica muy detallada del sistema energético mundial, que permite cuantificar el coste directo de reducir las emisiones de GEI en el sector energético. Por su parte, el modelo GEM-E3 adopta una perspectiva multi-sectorial, de forma que se computan no sólo los costes directos en el sistema energético, sino también los costes del resto de sectores productivos.

1. Los modelos E3 empleados en la Comunicación

a) POLES

POLES (*Prospective Outlook on Long-term Energy Systems*) es un modelo para simular la evolución del sistema energético mundial a largo plazo y el efecto de políticas energéticas y medioambientales (5). El modelo divide el mundo en cuarenta y siete regiones, con un horizonte temporal del año 2050. La principal caracterís-

tica del modelo POLES es su alto grado de detalle en la descripción de las tecnologías del sector energético, incluyéndose por ejemplo datos y proyecciones sobre costes fijos, costes variables, eficiencia, factores de emisión, etc. El sector eléctrico es el que se modeliza con mayor exhaustividad, con veinticuatro tecnologías de generación.

Los resultados típicos de una simulación de referencia son los balances energéticos y las emisiones de GEI para cada región, pudiéndose desagregar los resultados hasta nivel de tecnología. Ante una restricción de emisiones de carbono, el modelo ajusta el uso de las distintas fuentes primarias de energía y de las distintas tecnologías, de forma que la intensidad de carbono del nuevo escenario resulta menor. Los citados procesos de sustitución de recursos energéticos y de tecnologías se reflejan en un nivel determinado del valor del carbono (*carbon value*). En general, a mayor grado de restricción, mayor será el coste marginal necesario para satisfacer la restricción.

b) GEM-E3

El segundo modelo es de tipo económico, perteneciente a la familia de modelos de equilibrio general computable (e.g. Shoven y Whalley, 1992). La idea básica de estos modelos es utilizar la información de equilibrio de la economía en un año determinado, conocido como año de referencia o base, y, a partir de esta «foto de alta resolución» proporcionada por la contabilidad nacional, utilizar la teoría microeconómica para modelizar cómo reaccionarán los agentes económicos a un cambio en la política o a una perturbación exógena al sistema. En suma, la interacción simultánea de todos los agentes en todos los mercados.

El modelo GEM-E3 (*Computable General Equilibrium Model for Economy-Energy-Environment Interactions*) se ha aplicado a numerosas áreas, desde armonización de impuestos energéticos en Europa hasta política de cambio climático (6), y pertenece a la categoría de modelos E3. Como se ha comentado, la filosofía que subyace a su desarrollo es completar la modelización de los aspectos económicos de una sociedad con la consideración de la influencia de la energía en el sistema económico y sus efectos medioambientales, teniendo en cuenta un amplio abanico de medidas de política climática, como son impuestos y mercados de comercio de emisiones.

El modelo GEM-E3 es un modelo computable de equilibrio general multi-regional y multisectorial. El modelo mundial que se utiliza en el epígrafe siguiente tiene dieciocho regiones, unidas por flujos de comercio bilateral, y dieciocho sectores productivos.

2. Modelización post-2012: la comunicación para preparar las negociaciones de Copenhague

El principal objetivo de la modelización ha sido evaluar los costes de limitar el aumento global de temperatura a 2 °C, así como comparar mecanismos alternativos de fijación de objetivos para los países desarrollados, lo que se conoce como «reparto de la carga». El estudio ha considerado también el papel que puede desempeñar el comercio mundial de permisos de emisión a la hora de reducir los costes de mitigación.

En el estudio se elabora un escenario de referencia que no incluye medidas de reducción de

emisiones de GEI. En un segundo escenario, denominado de reducción, se impone una restricción a las emisiones de GEI, de forma que se cumpla el objetivo de los 2 °C. En el modelo POLES para el escenario de reducción, los países desarrollados reducen sus emisiones en el horizonte 2020 en un 30 por 100 respecto a los niveles de 1990, mientras que los países en vías de desarrollo aumentan sus emisiones como máximo en un 20 por 100, muy por debajo de lo que emitirían en ausencia de política climática.

Dos tipos de políticas permiten lograr reducir las emisiones, de forma que se produce una sustitución acelerada de tecnologías intensivas en carbono. En primer lugar, las políticas de eficiencia y ahorro energético son fundamentales, sobre todo en la industria, el transporte y los sectores residencial y de servicios. Estas medidas suponen aproximadamente la mitad de la reducción mundial de emisiones en el periodo 2020-2030. Es interesante señalar que dos terceras partes de esta reducción se producen en el mundo en desarrollo, donde hay grandes posibilidades de mejora en la eficiencia energética en el sector eléctrico.

El segundo tipo de políticas reduce las emisiones por la vía de los precios, es decir, encareciendo el uso de combustibles fósiles y las emisiones de GEI. Ello se logra introduciendo un precio del carbono. De esta forma, se generan procesos de sustitución de combustibles fósiles (*i.e.*, sustitución de carbón por gas natural), y una mayor penetración de las tecnologías renovables y nuclear en el sector eléctrico. Asimismo, según el modelo, las tecnologías de secuestro de carbono pasan a ser viables y ampliamente utilizadas. Téngase en cuenta que en la ac-

tualidad el carbón se sigue utilizando de forma significativa para generar electricidad; por ejemplo, representa el 50 por 100 del *mix* energético del sector eléctrico en los EE.UU. El 18 por 100 de las plantas de generación eléctrica utilizan esta tecnología en el año 2020 en el escenario de reducción, siendo casi cero en el escenario de referencia.

El modelo POLES estima que los costes para el mundo derivados de la reducción de emisiones son de unos 150.000 millones de euros en el año 2020, siendo para el periodo 2013-2020 de unos 666.000 millones. Un 55 por 100 de esos costes se darían en los países desarrollados. El orden de magnitud de los costes de mitigación respecto al PIB es de un 0,4 por 100 a un 1,2 por 100 para la mayor parte de los países.

El análisis con el modelo GEM-E3 cuantifica en un 0,9 por 100 la reducción del PIB mundial en el año 2020 respecto al escenario de referencia. Algunos países desarrollados, como la UE, tienen costes superiores y otros inferiores, como China, India y Brasil.

En cuanto a los efectos de distintos esquemas de reparto de los objetivos de mitigación entre los países desarrollados, se contemplan cuatro criterios: PIB per cápita (como un indicador de la capacidad de pago), la intensidad de la economía en términos de GEI (emisiones GEI/PIB, como indicador del potencial posible de reducción), la senda observada en las emisiones de GEI (a mayor reducción reciente menos ambicioso será el objetivo, para premiar de algún modo la «acción temprana» en reducción de emisiones), y el crecimiento poblacional (menor objetivo de reducción para aquellos países que han tenido un mayor crecimiento demográfico). El

análisis con el modelo GEM-E3 confirma que la aplicación de estos criterios de forma individual puede conducir a costes o ganancias desproporcionadas para algunos países, por lo que parece deseable utilizar combinaciones de los cuatro criterios. En el estudio se aplica una combinación concreta que conduce a reducciones en el PIB de los países desarrollados en un rango del 0,6 por 100 al 2 por 100, con la excepción de la Comunidad de Estados Independientes (caída del 3 por 100).

Por último, en la modelización que subyace a la comunicación se evalúan las posibles ganancias de contar con un mercado mundial de permisos de emisión, en el contexto de la posible arquitectura del acuerdo del clima para el periodo post-2012. Se consideran tres casos: comercio total en todos los sectores y países, comercio imperfecto (limitado a ciertos sectores y países) y ausencia de comercio (cada país reduce las emisiones internamente). El modelo POLES computa que en el año 2020 el coste marginal de reducción de emisiones es de 72 €/tCO₂ en ausencia de comercio, 46 €/tCO₂ en el mercado imperfecto, y baja a 22 €/tCO₂ para el caso del comercio total.

IV. REFLEXIONES FINALES

Lograr el objetivo de limitación del incremento de la temperatura global a 2 °C supone a todas luces llevar a cabo un cambio radical del sistema energético, instaurando, en un plazo relativamente breve de tiempo, un sistema energético con muy baja intensidad en el uso de combustibles fósiles, al contrario que el sistema prevaleciente en los últimos doscientos años, desde que arrancó la revolución industrial a finales del siglo XVIII.

El reto del calentamiento global o, en términos más generales, cambio global tiene una dimensión política, más allá de la tecnológica y económica. Es necesario que todos los agentes económicos de todos los sectores productivos y de todos los países lleven a cabo la señalada transformación.

Desde el punto de vista metodológico, aparecen múltiples retos que incluyen el estudio de los cambios en los comportamientos de los agentes económicos, más allá de las señales de precios; la modelización de la eficiencia energética de forma más endógena, y aplicaciones de teoría de juegos al problema de alcanzar un acuerdo internacional de cambio climático.

NOTAS

(*) Las opiniones expresadas en este artículo corresponden a los autores, y no reflejan necesariamente las de la Comisión Europea. Los autores agradecen los comentarios y sugerencias de I. Hidalgo y E. Múgica.

(1) Un objetivo del 50 por 100 puede hacer necesario tener emisiones negativas, es decir absorción neta de CO₂, en la segunda mitad del siglo.

(2) Las reglas para realizar las subastas se adoptarán a mitad del año 2010.

(3) Véase http://ec.europa.eu/environment/climat/adaptation/index_en.htm.

(4) Para una presentación detallada de la modelización véase Russ *et al.* (2009).

(5) Véase <http://energy.jrc.es/Pages/Activities.htm#POLES> para una descripción del modelo.

(6) Véase por ejemplo CISCAR y van REGEMORTER (2008).

BIBLIOGRAFÍA

CISCAR J.C. (2007), «Efectos físicos y económicos del cambio climático en Europa: metodologías y algunos resultados preliminares», *Ekonomi Gerizan*, 15: 121-131.

CISCAR, J.C., y van REGEMORTER, D. (2008), «Cuantificación de los costes de política climática con modelos de equilibrio general computable», *Ekonomiaz*, 67: 16-29.

COMISIÓN EUROPEA (2001), «Libro Blanco. La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad», COM (2001) 370 final.

— (2005), «Winning the global battle against climate change», COM 2005/35, 9 febrero 2005, Bruselas, disponible en: http://ec.europa.eu/environment/climat/future_action.htm.

— (2007a), «Limiting Global Climate Change to 2° Celsius: The way ahead for 2020 and beyond», COM(2007) 2 final.

— (2007b), «A European strategic energy technology plan (SET Plan), Towards a low carbon future, COM(2007) 723.

— (2009a), «Towards a comprehensive climate change agreement in Copenhagen», COM(2009) 39 final; disponible en http://ec.europa.eu/environment/climat/future_action.htm

— (2009b), «White Paper, adapting to climate change: Towards a European framework for action». COM(2009) 147/4, disponible en <http://ec.europa.eu/environment/climat/adaptation/>

EAA (2008), *Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment*, EEA Report n.º 4/2008, Agencia Europea de Medio Ambiente, Copenhague.

HIDALGO, I. (2005), «Introducción a los modelos de sistemas energéticos, económicos y medioambientales: descripción y aplicaciones del modelo POLES», *Revista de Economía Mundial*, 13: 33-75.

IPCC (2007), *The AR4 Synthesis Report*, Panel Intergubernamental del Cambio Climático.

RUSS, P.; WIESENTHAL, T.; van REGEMORTER, D. y J.C. CISCAR (2007), «Global climate policy scenarios for 2030 and beyond – Analysis of greenhouse gas emission reduction pathway scenarios with the POLES and GEM-E3 models», *EUR 23032*.

RUSS, P.; CISCAR, J.C.; SAVEYN, B.; SORIA, A.; SZÁBÓ, L.; VAN IERLAND, T.; VAN REGEMORTER, D., y R. VIRDIS (2009), «Economic Assessment of Post-2012 Global Climate Policies - Analysis of Gas Greenhouse Gas Emission Reduction Scenarios with the POLES and GEM-E3 models», *EUR 23768 EN*, disponible en <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=1980>.

SHOVEN, J.B., y J. WHALLEY (1992), *Applying General Equilibrium*, Cambridge, Cambridge University Press.