

WP 02/2014

Política de Descarbonización

Xavier Labandeira
Pablo Pintos

POLÍTICA DE DESCARBONIZACIÓN

Xavier Labandeira, Pablo Pintos*

Universidade de Vigo y Economics for Energy

Resumen

Este capítulo nos ocupamos de las políticas de descarbonización en el sector energético. Para ello describimos en primer lugar las características del problema y las principales pautas de diseño de las políticas públicas climáticas. A continuación, puesto que cambio climático y energía son dos caras de la misma moneda, describimos el entorno energético y reproducimos algunos análisis prospectivos globales sobre el papel de las distintas tecnologías energéticas en la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Seguidamente nos ocupamos de la negociación internacional en este ámbito y, más en detalle, de los importantes desarrollos de la política climática en la Unión Europea.

Contenidos

1. Introducción
2. El cambio climático y las políticas correctoras
 - 2.1. El problema
 - 2.2. La política pública climática
3. El contexto de aplicación
 - 3.1. El entorno energético
 - 3.2. La negociación climática
4. La política climática europea
 - 4.1. Objetivos y marco general
 - 4.2. El sistema europeo de comercio de emisiones
 - 4.3. Actuaciones sobre sectores difusos
5. Conclusiones

Este documento pertenece a un capítulo de una próxima publicación de la Academia Europea de Ciencias y Artes: "Energía, Tecnología, Economía y Regulación." (coordinada por Claudio Aranzadi y Cayetano López). Publicada por la Academia Europea de Ciencias y Artes (AECA).

* Dirección de contacto: Economics for Energy (www.eforenergy.org), Doutor Cadaval 2, 3 E, 36202 Vigo.
Emails: xavier@uvigo.es; pablo.pintos@eforenergy.org

Agradecemos el apoyo prestado por Xiral López y los comentarios de Pedro Linares. En todo caso, las opiniones aquí manifestadas y los errores son de nuestra única responsabilidad.

1. Introducción

En este capítulo nos ocupamos de las denominadas políticas de ‘descarbonización’ del sector energético. Nuestro objetivo es suministrar en primer lugar una visión global de las tendencias y posibilidades, dada la íntima relación entre el sector energético y las emisiones causantes del cambio climático, con la consideración de los componentes tecnológico, económico y regulatorio que dan título a la monografía. No entraremos en detalle en ninguno de los sectores específicamente cubiertos en este informe: petróleo, gas, sector eléctrico o transporte, porque estamos seguros que las preocupaciones climáticas y sus influencias van a ser explícitamente contempladas en cada uno de esos apartados. Sí contextualizaremos la cuestión, sin embargo, desde una visión del sistema energético actual y de su posible evolución. También prestaremos una cierta atención a la alternativa nuclear, dada su escasa cobertura en otros apartados del informe.

El capítulo se interesa especialmente en las distintas alternativas para las políticas climáticas. De nuevo, dentro de estas juegan un papel fundamental la promoción tecnológica en el ámbito de las energías renovables o la eficiencia energética y, sin embargo, el informe cuenta con dos apartados específicos sobre estos asuntos. Ello nos lleva a centrarnos en opciones menos cubiertas por otros apartados: en particular aquellas relacionadas con el uso de instrumentos de precios (mercados de derechos de emisión o impuestos) para el control de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Una descripción detallada (en términos relativos) de la política climática europea, una de las más activas del mundo y con gran importancia dentro de las actuaciones globales de la Comisión Europea, parece obligada a la vista de la orientación temática de este apartado.

Es obviamente muy difícil sintetizar en unas pocas decenas de páginas un tema tan amplio y con tantas aristas. Confiamos en que una combinación de los contenidos de este capítulo y de las otras partes de este informe puedan suministrar una visión relativamente completa, aunque superficial, de los muchos asuntos vinculados al cambio climático y a su corrección. Ofrecemos, en cualquier caso, un amplio apartado de referencias bibliográficas que permiten ampliar los contenidos menos desarrollados o incluso cuestiones no cubiertas en el capítulo por falta de espacio.

El capítulo se organiza en cinco apartados, incluyendo esta introducción. En el segundo nos ocupamos del problema del cambio climático y de las múltiples dificultades a que se enfrenta su corrección. Seguidamente enumeramos los instrumentos más habituales de las políticas ambientales y, por su relevancia y creciente interés, nos referimos a las posibles interacciones que pueden producirse en su aplicación. El tercer apartado se refiere al entorno energético, en el sentido indicado con anterioridad, y al progreso de las negociaciones climáticas. El apartado

siguiente se centra en la política climática europea, a partir de todas las discusiones precedentes, con un análisis del mercado europeo de comercio de emisiones y de las actuaciones impositivas sobre sectores difusos. El capítulo se cierra con los correspondientes apartados de conclusiones y referencias bibliográficas.

2. El cambio climático y las políticas correctoras

2.1. El problema

Cuando hablamos de cambio climático nos referimos a un cambio de clima, atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (ONU, 1992). En la actualidad hay un alto consenso científico sobre las causas y efectos del cambio climático, existiendo una importante evidencia de la vinculación entre el cambio climático y las emisiones de GEI de origen humano, entre los que destaca el dióxido de carbono (CO₂) pero también se incluyen el metano (CH₄), el óxido de nitrógeno (N₂O) o los gases fluorados (Labandeira et al., 2012). Gran parte de estas emisiones tienen lugar en el proceso de producción y consumo de energía, de ahí que sistema energético y cambio climático estén íntimamente relacionados.

Las actividades humanas han provocado un aumento continuo del nivel de GEI en la atmósfera, de modo que la concentración de estos gases ha pasado de 280 partes por millón (ppm) de CO₂ equivalente al inicio de la Revolución Industrial (Stern, 2006) a 476 ppm en 2012 (Butler y Montzka, 2013). Esto ha dado lugar a un incremento de la temperatura media de la superficie terrestre y oceánica de 0,85°C durante el período 1880-2012 (IPCC, 2013). La evidencia científica reciente sugiere que, si no se toman medidas drásticas para reducir las emisiones globales de GEI, a finales de este siglo es probable que el calentamiento global supere los 2°C por encima de la temperatura media en el período 1850-1900, y podría incluso alcanzar los 6°C en algunos escenarios. Los científicos consideran un incremento de 2°C como el umbral a partir del cual existe un riesgo mucho mayor de cambios peligrosos y posiblemente catastróficos en el medio ambiente, si bien estudios recientes (véase IPCC, 2011, o IEA, 2011) muestran que las oportunidades para mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de los 2°C se están reduciendo. Nótese, en todo caso, que un aumento de temperatura de 2°C es muy relevante, ya que se trata de medias globales que pueden variar de forma importante entre los distintos territorios y estaciones. De ahí la importancia de la adaptación al cambio climático, incluso en un contexto como ese, a la que nos referiremos brevemente más adelante.

El cambio climático es quizá el ejemplo más claro de lo que los economistas definen como efecto externo o externalidad negativa, ya que los agentes que emiten GEI a la atmósfera no tienen en cuenta el coste social que provocan. Por tanto, estamos ante un fallo de mercado que podría solucionarse mediante ajustes institucionales (definiendo correctamente los derechos de propiedad sobre el medio ambiente) o a través de la intervención pública (Labandeira et al., 2008a). Sin embargo, esta no es una tarea sencilla, debido a una serie de factores. En primer lugar, la presencia de múltiples agentes que causan y sufren el problema provoca que la definición de derechos de propiedad sobre el medio ambiente sea poco viable (frente a la denominada negociación a pequeña escala), por lo que son necesarias políticas públicas. Por otro lado, la magnitud de los impactos esperados hace necesaria una intensa intervención pública que, por sí misma, es susceptible de generar costes (especialmente sobre ciertos sectores o grupos de población) que dificultan su propia aplicación.

Además, el hecho de que el daño ambiental se derive del tamaño del *stock* de GEI acumulado en la atmósfera, y no de la cantidad de emisiones en un determinado momento, hace que estemos ante un problema dinámico que requiere de políticas que anticipen los posibles efectos futuros de las emisiones actuales antes de que sea demasiado tarde. A ello se une un perfil temporal que concentra los daños en un futuro más o menos lejano, con lo que se produce un desacoplamiento de los costes de las políticas climáticas (en el presente) y los beneficios de la actuación correctora (en el futuro). Ello da lugar a efectos distributivos, potencialmente muy importantes, entre generaciones, que se unen a los posibles problemas distributivos entre países y entre personas en un momento determinado del tiempo (tanto en el impacto como en la distribución de los costes de las políticas).

Por si fuera poco, nos situamos ante un problema ambiental global, ya que afecta a todo el planeta (aunque de manera no uniforme) independientemente del lugar en el que se realicen las emisiones de GEI a la atmósfera. De acuerdo con las normas de atribución óptima entre jurisdicciones, estas políticas deberían ser gestionadas por una entidad supranacional. La ausencia de un nivel de gobierno mundial hace necesaria la negociación internacional para la reducción o mitigación de las emisiones de GEI. Sin embargo, como observaremos más adelante, las dificultades existentes para lograr acuerdos a nivel global están provocando que no exista en la actualidad una estrategia internacional efectiva para enfrentarse al cambio climático.

Otro problema importante al que se enfrentan las políticas climáticas es que las elevadas incertidumbres asociadas a los fenómenos de cambio climático, debido a la complejidad de los sistemas climáticos y los largos períodos temporales que hay que considerar, dificulta la traslación de los impactos físicos al ámbito económico y, por tanto, la definición de políticas correctoras. Además, las simulaciones económicas a largo plazo añaden aún más incertidumbres sobre las trayectorias futuras de actividad y emisiones, sobre las posibilidades de

adaptación, o sobre la evolución futura de preferencias, tecnologías y políticas (Labandeira, 2009).

En este contexto, dada la relevancia de los efectos ambientales del cambio climático y las incertidumbres existentes, las políticas de reducción de emisiones de GEI (mitigación) serán fundamentales para combatir el calentamiento global, aunque como acabamos de apuntar existen importantes dificultades para lograr una mitigación rápida y generalizada. Además, dada la inercia del sistema climático, derivada del incremento de las concentraciones atmosféricas de GEI como consecuencia de los procesos de industrialización, incluso objetivos radicales de reducción de emisiones puede que no logren ralentizar el calentamiento global de forma significativa (Buob y Stephan, 2011). A ello se une la persistencia de emisiones asociadas al *stock* existente de instalaciones y maquinaria, con una vida relativamente larga y que dificulta el funcionamiento y efectividad de las políticas correctoras.

Lo precedente hace necesario considerar otras alternativas a la mera mitigación o reducción de emisiones, principalmente la adaptación y la transferencia tecnológica. Ante los impactos del cambio climático, surgirá una adaptación autónoma natural y humana (migración de especies, cambios en los cultivos, etc.) que reducirá los daños previstos, si bien dicha adaptación autónoma tiene sus limitaciones (ver Aaheim y Aasen, 2008) por lo que serán necesarias también políticas públicas de adaptación, tanto dirigidas al entorno natural como a fomentar una mayor adaptación humana. Además, hay tener en cuenta las vinculaciones e interacciones entre las políticas de mitigación y las políticas de adaptación (véase, por ejemplo, Smith y Olesen, 2010, o Van Vuuren et al., 2011). Finalmente, también será importante la transferencia de tecnologías limpias y de recursos para la adaptación a países en vías de desarrollo, para facilitar la implantación de las políticas de mitigación y adaptación en estos países y, al mismo tiempo, incrementar la viabilidad de las políticas intensas de mitigación en el mundo desarrollado (Labandeira, 2009).

En suma, el cambio climático se ha definido en ocasiones como la externalidad perfecta. En realidad, como ya hemos apuntado en otros trabajos, es mucho más que una externalidad ambiental estándar, por su tamaño, por su carácter global, por su aspectos intertemporales, por las incertidumbres asociadas y por la magnitud de los efectos de las políticas correctoras. Ello hace que el cambio climático sea un problema económico de primera magnitud y que su solución pase en gran medida por el diseño y aplicación de regulaciones viables, que tengan un efecto relevante sobre las tecnologías existentes (especialmente en el sector energético). De nuevo, asuntos todos que entran de lleno en esta monografía. Aun así, las posibilidades de una solución óptima y efectiva son limitadas, lo que abre las necesidades de otras aproximaciones (fundamentalmente la adaptación al cambio). En cualquier caso, a continuación nos ocupamos de enumerar los distintos instrumentos de política disponibles.

2.2. La política pública climática

A la hora de enfrentarse a la mitigación de las emisiones causantes del cambio climático (y, en general, a cualquier externalidad ambiental), existen tres grandes grupos de instrumentos de política ambiental (véase Labandeira et al., 2006): regulaciones de mandato y control, instrumentos económicos o de mercado y nuevas alternativas de política ambiental. A los anteriores se ha de unir un apartado relativamente heterogéneo que recoge la provisión por parte del gobierno de bienes y servicios públicos. Todos esos instrumentos presentan fortalezas y debilidades, lo que unido a la complejidad del cambio climático hace que, en general, sea necesario utilizar más de un instrumento para combatirlo (véase Pizer, 2002; Sorrell y Sijm, 2003; o Newell, 2010). No obstante, en ocasiones el uso simultáneo de diversos instrumentos para la política climática puede producir interacciones negativas.

A continuación nos ocupamos de enumerar y describir los instrumentos habituales en las políticas climáticas, para dar paso a continuación a una discusión sobre las políticas tecnológicas (que obviamente también tienen un efecto sobre la mitigación de GEI) y sobre la interacción de instrumentos de política climática.

2.2.1. Las regulaciones de mandato y control fueron los primeros instrumentos de política ambiental en aparecer y en la actualidad siguen siendo el instrumento más comúnmente utilizado en este ámbito. Toman la forma de una regulación convencional de la actividad económica, fijando normas de obligado cumplimiento para los contaminadores, normas que buscan garantizar unos determinados estándares de calidad ambiental. En general, estas regulaciones especifican las características de productos intermedios y/o finales, establecen límites de emisiones o definen procesos técnicos de producción y descontaminación. Asimismo, cuentan con un sistema de monitorización para controlar los posibles incumplimientos, que pueden ser objeto de sanción económica y/o penal (Labandeira, 2011). A efectos de las políticas climáticas estos instrumentos pueden clasificarse como:

- *Normas sobre productos*, que fijan las características que deben cumplir los bienes desde el punto de vista de sus contenidos en emisiones de GEI o de las emisiones que causarán durante su vida útil.
- *Normas sobre emisión de GEI o estándares de operación*, que regulan los niveles máximos de GEI que cada productor puede emitir a la atmósfera.
- *Normas tecnológicas o estándares de diseño*, que obligan a los productores a utilizar una determinada tecnología productiva o a introducir y emplear determinadas medidas de descontaminación.

Las regulaciones de mandato y control han sido ampliamente utilizadas por varias razones, entre las que se puede destacar su aparente efectividad ambiental y su mejor adaptación al enfoque

legalista dominante en la actividad regulatoria. Asimismo, suelen contar con el apoyo de los agentes económicos, que las consideran más estables y además ven en ellas mayores posibilidades de reducir sus obligaciones mediante presiones y negociaciones con el regulador. Sin embargo, estas regulaciones también presentan limitaciones, principalmente relacionadas con su incapacidad para alcanzar resultados eficientes, tanto estática como dinámicamente. Por una parte, desde el punto de vista estático, la presencia de 'información asimétrica' entre el agente regulado y el regulador con respecto a los costes de descontaminar (ya que los contaminadores no tienen incentivos a revelar sus verdaderos costes) obliga al regulador a utilizar una aproximación uniforme sin distinguir entre contaminadores. Esto provoca que los costes totales para alcanzar un determinado nivel de descontaminación sean mayores que los estrictamente necesarios. Por otra parte, desde el punto de vista dinámico, los contaminadores no tienen incentivos a reducir su nivel de contaminación por debajo del límite establecido por el regulador, de modo que no se promueve una innovación tecnológica continua en procesos de producción menos contaminantes.

2.2.2. *Los instrumentos económicos o de precios* son aquellos que utilizan incentivos económicos para modificar el comportamiento ambiental de los agentes, descentralizando en estos las decisiones de reducir la contaminación. De este modo, introducen flexibilidad en las políticas climáticas, ya que permiten que los agentes reaccionen en función de sus capacidades y sus preferencias, con lo que favorecen la consecución de los objetivos ambientales al mínimo coste para la sociedad (eficiencia estática). Además, también favorecen la eficiencia dinámica porque los contaminadores desean en todo momento reducir sus pagos por emisión. Aunque existen una tipología muy variada de instrumentos económicos, los principales aplicables en el ámbito de las políticas climáticas se pueden agrupar en dos categorías: impuestos y mercados de derechos de emisión.

Los impuestos ambientales son pagos obligatorios que deben realizar los agentes que emiten GEI y que se calculan por aplicación de un tipo impositivo a una base imponible en la que se miden directamente las emisiones o, por razones de viabilidad administrativa, se emplean sistemas de estimación indirecta (generalmente a partir del consumo de combustibles fósiles). Por otra parte, el tipo impositivo debería estar relacionado con el daño ambiental provocado por la unidad de descarga gravada (impuestos pigouvianos). Sin embargo, los elevados requerimientos informacionales necesarios para calcular ese tipo impositivo hacen muy difícil su utilización, por lo que normalmente se utilizan tipos impositivos subóptimos, denominados coste-efectivos, ya que continúan garantizando la realización del esfuerzo descontaminador al mínimo coste. Desde un punto de vista de la eficiencia económica, al tratarse de un problema ambiental global y de naturaleza uniforme, tanto los tipos impositivos basados en el daño ambiental como los sub-óptimos no deberían mostrar variación según la localización geográfica del contaminador.

La eficiencia o coste-efectividad son la principal ventaja de los impuestos ambientales, ya que actúan como un precio por contaminar, de modo que los agentes con costes de reducción de la contaminación muy elevados no reducirán sus emisiones, mientras que aquellos que las reduzcan lo harán hasta el punto en que se igualen sus costes marginales de reducción. Esto dará lugar a la minimización de los costes totales de reducción de la contaminación (eficiencia estática), puesto que realizarán un esfuerzo mayor por descontaminar aquellos agentes a los que les resulte más barato hacerlo (Labandeira, 2013). Además, los contaminadores tratarán de modificar su comportamiento o introducir mejoras tecnológicas para reducir sus pagos fiscales futuros, con lo que los impuestos ambientales también son eficientes desde el punto de vista dinámico. Asimismo, la recaudación obtenida con estos impuestos se puede utilizar para reducir el peso de otros impuestos más distorsionantes, posibilitando que los impuestos ambientales formen parte de cambios fiscales más ambiciosos, las denominadas reformas fiscales verdes (véase, por ejemplo, Ekins y Speck, 2011).

De todos modos, los impuestos ambientales también presentan problemas, principalmente relacionados con sus efectos sobre la competitividad (ver Labandeira, 2009), que pueden recaer especialmente en determinados sectores productivos y de población, y sobre la distribución de la renta disponible de las familias. Así, se pueden generar efectos regresivos si los impuestos gravan bienes en los que los hogares con un nivel de renta bajo gastan una mayor proporción de su renta que los hogares con niveles altos de renta, algo que parece muy probable en la mayor parte de los bienes energéticos.

Un instrumento relacionado con los impuestos ambientales son los ajustes fiscales en frontera, que permiten corregir los efectos negativos derivados de la existencia de distintas políticas climáticas a lo largo del planeta, igualando la carga fiscal de los productos mediante impuestos a las importaciones y devoluciones de impuestos a las exportaciones. De este modo permiten proteger la competitividad de la industria nacional cuando no existe una política climática a nivel global, pero garantizando al mismo tiempo el cumplimiento de los objetivos de climáticos. Además, estos ajustes pueden garantizar la integridad de las políticas climáticas porque permitirán penalizar (en precios) a los productos más intensivos en GEI, evitando por tanto comportamientos de consumo que no tengan en cuenta el daño ambiental que causan (por su exportabilidad). El concepto de huella de carbono puede jugar un papel importante en éste ámbito, tal y como hemos apuntado en otros trabajos (véase, por ejemplo, Labandeira, 2013). Sin embargo, algunos autores consideran que no son un instrumento óptimo e incluso podrían provocar un incremento en la fuga de emisiones (Jakob et al., 2013).

Los mercados de derechos de emisión consisten en la creación de un mercado, antes inexistente, en el que los agentes pueden comprar y vender permisos que permiten emitir GEI. Generalmente (aunque existen otras alternativas), en el caso de GEI el regulador establece un

límite global de emisiones y, en función de ese límite, reparte entre los contaminadores (siguiendo determinados criterios) los derechos a emitir una determinada cantidad, estableciendo un período de tiempo durante el que se puede comerciar con esos derechos. A lo largo de cada periodo los contaminadores deben presentar al regulador un número de derechos equivalente a sus emisiones durante el período o enfrentarse a una sanción. En determinados casos se permite acumular permisos de un período para utilizarlos o venderlos en períodos posteriores, para dotar de mayor flexibilidad al mercado.

La tipología de mercados de derechos de emisión puede ser muy variada (ver, por ejemplo, Labandeira et al., 2008b), aunque en el caso de las emisiones de GEI suelen distinguirse entre mercados en los que se subastan los permisos (equivalentes, en términos fiscales, a los impuestos, por la presencia de recaudación) o se asignan de forma gratuita (*grandfathering*); entre los que se permiten o no operaciones de acumulación y uso posterior de permisos (*banking*), aquellos que funcionan de forma aislada o vinculados a otros mercados. La gran ventaja de los mercados de GEI es que no exigen complejas reglas de intercambio al tratarse, como apuntamos con anterioridad, de un problema global relacionado con emisiones uniformes. Uno de los principales ejemplos de los mercados de derechos de emisión de GEI es el mercado europeo (MECE), del que nos ocuparemos explícitamente más adelante.

A diferencia de los impuestos, que son un instrumento de precio, los mercados de derechos de emisión son un instrumento de cantidad, ya que inicialmente se establece un objetivo de cantidad y luego se distribuyen los permisos de emisión, surgiendo un precio posteriormente a partir de las interacciones del mercado. De todos modos, se mantiene la flexibilidad de los instrumentos económicos y sus beneficios en términos de eficiencia porque continúan descentralizándose las decisiones en los contaminadores, aunque manteniendo el control sobre el nivel agregado de contaminación. En algunos casos este control es ventajoso, especialmente cuando existe incertidumbre sobre las curvas de costes marginales de reducción de la contaminación y los daños ambientales son elevados (Weitzman, 1974).

Otras ventajas de los mercados de derechos son su encaje más fácil con las regulaciones habituales en el campo ambiental (generalmente de cantidad) y su mayor aceptación social cuando los permisos se asignan gratuitamente, frente al pago impositivo continuo. En cualquier caso, si el comercio de emisiones solo afecta a algunos sectores de la economía, su efectividad medioambiental y coste-efectividad será limitada (Labandeira y Rodríguez, 2010).

2.2.3. *Aproximaciones voluntarias*, que engloban una serie de actuaciones que pretenden fomentar que sean los propios sectores contaminantes los que se autorregulen, mediante procesos cooperativos menos costosos para la sociedad. Existen tres grandes alternativas para el desarrollo de este instrumento (Croci, 2005):

- que el sector público defina un programa de actuación medioambiental al que se puedan sumar, de forma voluntaria, los agentes contaminantes. Como contrapartida, obtendrán asistencia técnica, reconocimiento público, acceso a programas de subvenciones públicas o un trato regulatorio más favorable. Este programa de actuación también puede ser el resultado de una negociación bilateral entre el contaminador y el regulador.
- que sea el propio contaminador el que establezca el programa de actuación de manera unilateral, sin que exista intervención pública. Para ello, puede desarrollar y mejorar sus sistemas de gestión ambiental, aplicar procedimientos ambientales establecidos por organismos de reconocido prestigio, o utilizar prácticas y códigos de conducta elaborados por otras organizaciones (ONGs, patronales, etc.).
- que se cree y difunda información sobre los impactos ambientales provocados por los contaminadores. En este caso se trata de procesos llevados a cabo generalmente por el sector público y que incentivan a los contaminadores a modificar su conducta ambiental sin regulación explícita, para evitar la pérdida de imagen y clientes. Además, influyen sobre las demás aproximaciones voluntarias, promoviendo iniciativas tanto unilaterales como bilaterales. La divulgación de las emisiones realizadas por los principales contaminadores, el etiquetado ecológico o los sistemas de certificación de productos o tecnologías son ejemplos de instrumentos de información (Krarup y Russell, 2005).

La principal ventaja de estos instrumentos es que dan un paso más en la flexibilidad, al permitir la comunicación y la cooperación tanto entre las propias empresas como entre las empresas y el regulador, a diferencia de los instrumentos de mercado (de naturaleza individual) y de las regulaciones de mandato y control, (en la que existe comunicación entre empresas y regulador pero es siempre el regulador quien decide). Además se reducen los costes para el regulador, al minimizarse los gastos administrativos y prácticamente desaparecer los relacionados con la vigilancia y control de la contaminación.

Sus principales desventajas están relacionadas con las dificultades para su generalización, así como con su posible utilización con el objetivo de 'lavar la imagen', sin que se produzcan cambios reales en el comportamiento ambiental ni resultados objetivos de reducción de la contaminación. También puede ser problemática su utilización cuando está a punto de introducirse una nueva regulación, con el objetivo de detenerla y suavizar o eludir las nuevas obligaciones (Metz, 2010).

2.2.4. *La provisión de bienes y servicios públicos* se refiere a acciones y programas llevados a cabo por los gobiernos para mitigar las emisiones de GEI que incluyen actuaciones como la financiación de actividades de investigación en tecnologías bajas en carbono (Metz, 2010), la planificación de infraestructuras, la provisión de servicios de transporte público (Grazi y van den

Bergh, 2008), o la eliminación de las barreras institucionales y legales que favorecen las emisiones explícitas o implícitas de GEI.

2.2.5. *La investigación, el desarrollo tecnológico y la difusión de tecnologías limpias*, por su parte, se ve frenada por la existencia de fallos de mercado (del Río, 2005; OECD, 2010) que son distintos pero contemporáneos a los asociados a las emisiones de GEI. Para combatir esta doble externalidad (ambiental y tecnológica) es necesaria una intervención pública en los distintos puntos de la cadena tecnológica para afectar a la velocidad y la dirección del cambio tecnológico y eliminar las barreras que puedan existir (Nemet, 2013). Los instrumentos de política tecnológica se pueden agrupar en tres grandes categorías:

- la financiación pública de la investigación y las deducciones fiscales a empresas por gastos en I+D
- los sistemas de protección de la propiedad intelectual
- las políticas de fomento de la utilización de las nuevas tecnologías

La financiación pública del I+D permite corregir determinados fallos de mercado asociados a la innovación, pero también compensar determinadas barreras a la inversión privada como la incertidumbre sobre los costes futuros del capital o las tasas de descuento (Nemet, 2013), la falta de garantías sobre el éxito de una inversión (Mazzucato, 2013) o los largos períodos de transición entre tecnologías (Fouquet y Pearson, 2006). De este modo, permite estimular el desarrollo de tecnologías menos contaminantes a largo plazo, si bien en el corto plazo el incremento del I+D se puede ver restringido por la falta de disponibilidad de científicos con la formación adecuada (Thomson y Jensen, 2013), por lo que serán más efectivas políticas de aumento gradual del gasto en I+D que incrementos rápidos a corto plazo. En ocasiones se conoce esta aproximación como 'aprendizaje a través de la investigación', esto es, puesta en disponibilidad de tecnologías viables y a costes razonables después de ser estudiadas y testadas en el campo de la investigación.

Los sistemas de patentes, por su parte, fomentan la creación y el desarrollo de tecnologías limpias, aunque también limitan el acceso a las nuevas tecnologías y dificultan por tanto su introducción. De todos modos, la evidencia muestra que las patentes estimulan la innovación, pero solo en determinados sectores y en los países desarrollados (Park y Ginarte, 1997), si bien no está claro que favorezcan el desarrollo de tecnologías bajas en carbono, especialmente en los países más pobres (Hall y Helmers, 2010).

Por otro lado, las políticas de fomento de la utilización de nuevas tecnologías se basan fundamentalmente en el hecho de que el uso de la tecnología tiene un efecto de retroalimentación que permite su mejora a lo largo del tiempo (Jaffe y Stavins, 1994). Esto se conoce en ocasiones como 'aprendizaje a través de la experiencia', esto es, la reducción de costes y mejora tecnológica a partir de su aplicación práctica. En los últimos años se está

produciendo un fuerte debate sobre la mezcla idónea de políticas de aprendizaje a través de la investigación y de la experiencia.

Debe destacarse, en todo caso, que la incertidumbre sobre el rendimiento de las nuevas tecnologías es uno de los factores más importantes que limitan su difusión, por lo que en este caso las políticas de información serán muy importantes, complementadas con otras medidas regulatorias descritas con anterioridad.

2.2.6 Interacciones entre políticas. Como se explicó al principio del apartado, los instrumentos para mitigar las emisiones de GEI no se suelen aplicar de manera aislada sino que normalmente se produce un uso simultáneo de varios instrumentos, en ocasiones con distintos objetivos. Así, en primer lugar, las políticas climáticas pueden tener impactos sobre otros objetivos buscados por los decisores políticos, mientras que políticas orientadas hacia otros objetivos también pueden tener efectos positivos o negativos sobre las emisiones de GEI. Así, por ejemplo, las políticas de seguridad energética o de desarrollo tecnológico pueden favorecer la reducción de emisiones precursoras del cambio climático. En este contexto, será importante coordinar las distintas políticas para tener en cuenta todos los posibles beneficios y costes y, de este modo, poder determinar cuál es la mejor combinación en términos coste-efectivos. Además, esto permitirá incrementar la viabilidad de las políticas (véase, por ejemplo, Kok y de Coninck, 2007).

En segundo lugar, se pueden producir interacciones positivas o sinergias entre políticas climáticas implementadas por distintos niveles jurisdiccionales. Así, las políticas introducidas por gobiernos subcentrales pueden incrementar la efectividad de políticas climáticas nacionales si se enfocan a corregir fallos de mercado no abordados por las políticas nacionales. Así, por ejemplo los instrumentos climáticos se pueden combinar con medidas contra la congestión o la contaminación local (véase Parry et al., 2007), mientras que la combinación de la planificación urbana con impuestos sobre las emisiones de GEI puede favorecer un desarrollo más sostenible de los países emergentes. Además, las acciones a nivel local pueden permitir experimentar con políticas que no se podrían introducir directamente a nivel nacional, o crear presión sobre los gobiernos nacionales para que incrementen el alcance de sus políticas (Goulder y Stavins, 2011).

En cualquier caso, la interacción entre políticas climáticas introducidas por distintos niveles de gobierno también puede ser negativa. Así, por ejemplo, la convivencia de un mercado de derechos de emisión a nivel nacional con otro a nivel subnacional más exigente provoca que las reducciones de emisiones logradas en dicha jurisdicción subcentral se vean compensadas por el incremento en las emisiones en las demás jurisdicciones, de modo que a nivel nacional no se conseguirá una mayor reducción en las emisiones (Shobe y Burtraw, 2012). Para evitar este

problema de fuga de emisiones, se podría combinar el mercado de derechos subnacional con un impuesto nacional sobre las emisiones de GEI (Fankhauser et al., 2010).

Finalmente, se puede producir interacciones entre distintos instrumentos de política introducidos por un mismo nivel de gobierno. Estas interacciones pueden generar sinergias si cada instrumento se orienta a corregir un determinado fallo de mercado, por ejemplo impuestos sobre las emisiones de GEI para reducir la externalidad ambiental combinados con un subsidio al I+D en tecnologías limpias pueden reducir los costes totales de una determinada reducción de emisiones (véase Oikonomou et al., 2010). También la introducción de estándares a los electrodomésticos pueden complementar la aplicación de un impuesto sobre las emisiones, evitando que los consumidores infraestimen sus ganancias futuras derivadas de adquirir electrodomésticos más eficientes (Gillingham et al., 2009). Asimismo, puede ser necesaria la introducción de instrumentos adicionales para corregir los efectos negativos sobre la equidad de un determinado instrumento, incluso cuando la utilización de varios instrumentos reduzca la efectividad de la política.

En todo caso, también se pueden producir interacciones negativas como cuando, por ejemplo, se emplean múltiples instrumentos para corregir el mismo fallo de mercado. En estas circunstancias algunos instrumentos serán redundantes, incrementando los costes de la política sin lograr ningún beneficio adicional. Así, por ejemplo, introducir un instrumento más, como un estándar de emisiones, cuando ya existe un mercado de derechos de emisión de GEI no dará lugar, en general, a reducciones adicionales de las emisiones (Shobe y Burtraw, 2012). Nótese que si el estándar se introduce cuando en lugar de un mercado de derechos existe un impuesto sobre las emisiones de GEI sí pueden lograrse mayores reducciones porque en este caso la introducción del estándar no afectará al precio de las emisiones. Lo precedente debe llevarnos a reflexionar sobre la escasa conveniencia de añadir instrumentos de mitigación de emisiones de GEI sin tener en cuenta sus potenciales interacciones negativas (o sinergias positivas), puesto que el efecto neto de cada adición puede ser fácilmente negativo.

Sí parece fundamental, no obstante, el papel de los precios en las políticas climáticas. Como se indicó con anterioridad, un precio por emisión de GEI llevará a una reducción coste-eficiente de las emisiones y al desarrollo de tecnologías poco intensivas en GEI. Puesto que pueden existir barreras que limiten su efectividad y/o límites socio-políticos al uso de los precios, es conveniente complementar esta alternativa con otras aproximaciones como las descritas pero siempre teniendo en cuenta sus posibles efectos negativos. Dada la importancia de los precios para las políticas de mitigación de GEI, más adelante prestaremos una atención especial a su aplicación en el caso de sectores difusos y al MECE, el principal mercado de comercio de emisiones de GEI existente hasta el momento.

3. El contexto de aplicación

En este apartado nos referimos al entorno en que se ubican las políticas de descarbonización que ocupan a este capítulo, esto es, de mitigación de GEI. En primer lugar se realiza una aproximación contexto tecnológico del mundo energético, clave, como ya se avanzó con anterioridad, para entender el origen y posibles soluciones de los problemas asociados al cambio climático. A continuación nos ocupamos brevemente al estado de las negociaciones climáticas. Junto al apartado precedente, este análisis permitirá suministrar una visión de conjunto y entender las aplicaciones europeas en este ámbito, que abordaremos a continuación.

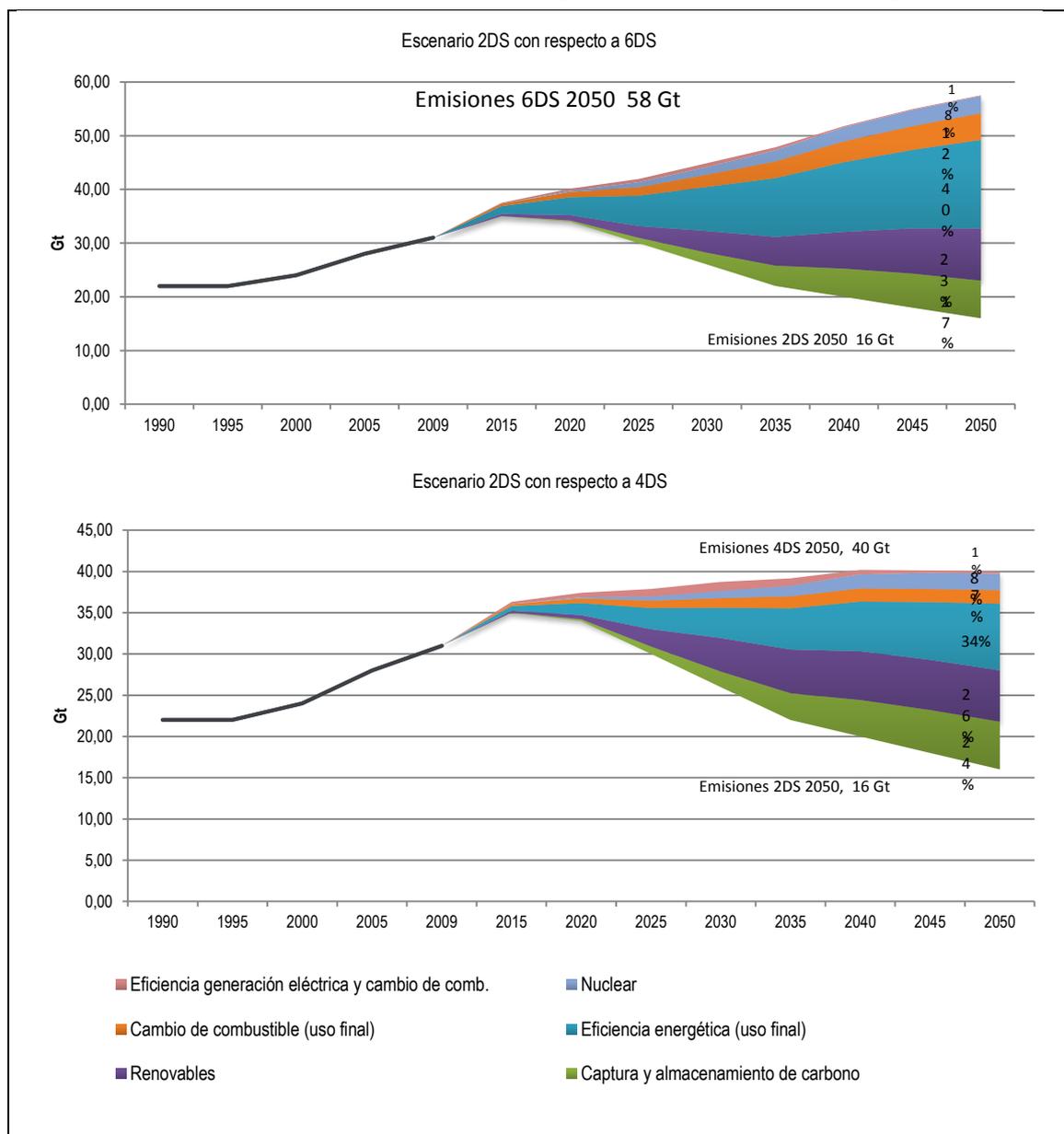
3.1. El entorno energético

3.1.1. Prospectiva global

A continuación empleamos los escenarios energéticos que han desarrollado la Agencia Internacional de la Energía (AIE) y el Instituto de Prospectiva Tecnológica de la Comisión Europea (IPTTS), dos instituciones representativas en el análisis a largo plazo de los sectores energéticos globales, para ilustrar las tendencias actuales y los esfuerzos necesarios para conseguir el objetivo de 450 ppm (partes por millón) de concentración de GEI en la atmósfera, para mantener la subida media de la temperatura del planeta por debajo de los 2°C con respecto a la situación preindustrial. Este objetivo no es discrecional, tal y como observaremos a continuación en el apartado 3.2.

La Figura 1 recoge la reducción de emisiones globales de CO₂ hacia el año 2050 a través de distintas alternativas, fundamentalmente: eficiencia energética, captura y almacenamiento de carbono (CAC), energía nuclear y energías renovables. Para ello se presentan dos opciones. El gráfico superior se aproxima a la transición entre un sistema energético actual, en el que se usan asunciones tendenciales (que implican un fuerte incremento de las emisiones de GEI, tal y como se está observando en la actualidad), y la situación energética que es compatible con un aumento de temperatura inferior a 2°C.

Figura 1. Reducción de emisiones globales de CO₂, por tecnologías



Nota: Los porcentajes expresan la reducción aportada por cada tecnología en 2050.

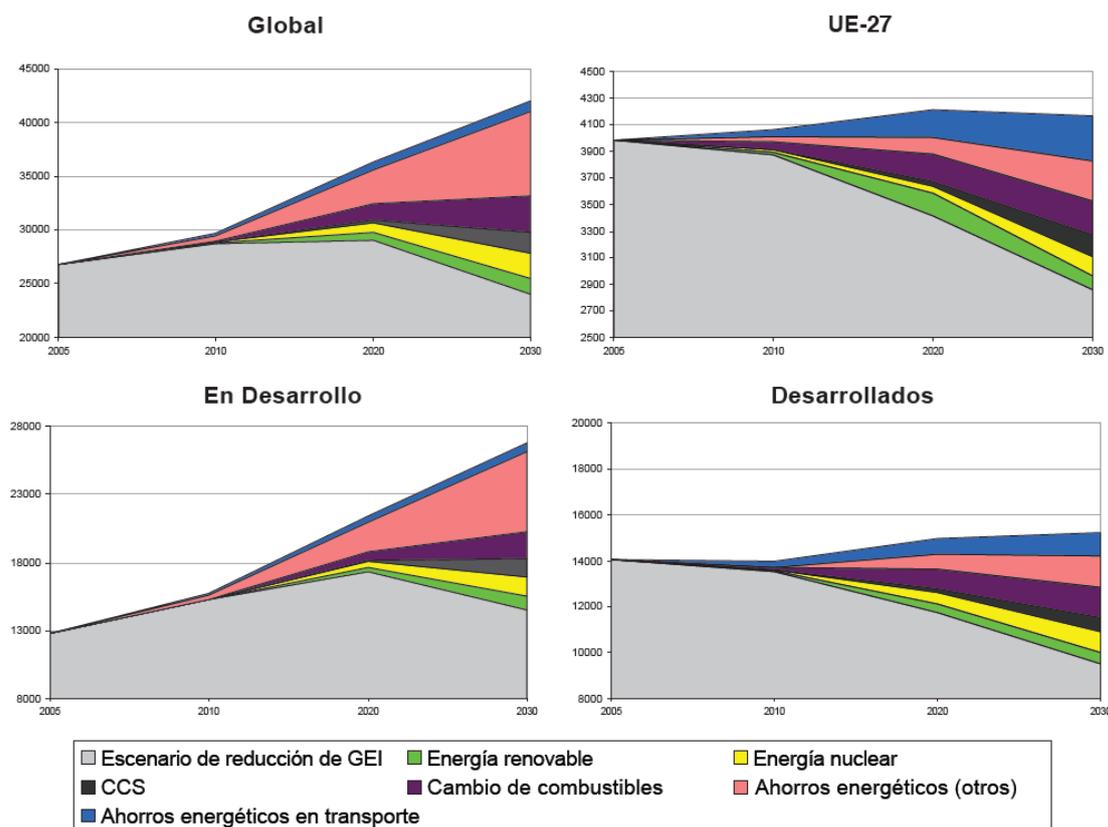
Fuente: IEA (2012a)

En el lenguaje de las Perspectivas Tecnológicas Energéticas (ETP) de la AIE, esto supone pasar del escenario de 6°C (6DS), en el que para el 2050 el consumo de energía casi se duplica y los GEI alcanzan prácticamente las 60 Giga toneladas y la temperatura aumenta 6°C, al escenario de 2°C (2DS). Este último recoge unas emisiones de CO₂ que permitan, con una probabilidad del 80%, limitar el aumento de temperatura a largo plazo a 2°C. Para ello, las emisiones relacionadas con la energía se deben reducir a la mitad en 2050 con respecto al año 2009. Asimismo, se requieren grandes esfuerzos también por parte de los sectores no energéticos.

Por su parte, el gráfico inferior describe el paso de un escenario de 4°C (4DS), en el que se tienen en cuenta los recientes compromisos alcanzados por los distintos países para limitar las emisiones y fomentar la mejora de la eficiencia energética, con un aumento estimado de la temperatura a largo plazo de 4°C, al escenario 2DS. En este caso, por ello, se supone que el esfuerzo de mitigación a lo largo de las próximas décadas será menor, al asumirse la implantación de potentes políticas climáticas desde hoy.

La Figura 2, que proviene del IPTS, enriquece la fotografía anterior al presentar las divergencias en la descarbonización de los sistemas energéticos entre países desarrollados, presentando explícitamente resultados para la UE-27, y en desarrollo. Como en el caso anterior, se abordan los cambios estructurales necesarios para mantener el aumento de temperatura por debajo de los 2°C, si bien ahora el horizonte temporal considerado es menor, hasta 2030.

Figura 2. Evolución de emisiones de GEI y contribución tecnológica por territorios



Fuente: IPTS (2009)

Antes de entrar con un poco más de detalle en cada una de las principales alternativas apuntadas, a expensas de su desarrollo en los capítulos correspondientes de esta monografía, sería bueno resaltar que los gráficos anteriores no reflejan una caída del consumo de energía primaria. La Tabla 1 presenta información sobre la demanda energética global y emisiones

asociadas. Los escenarios energéticos que se presentan son similares al 6DS (políticas actuales), 4DS (nuevas políticas) y 2DS (450).

De hecho, si bien los ahorros energéticos (respecto al contrafactual considerado) son muy relevantes en todos los casos, lo que se observa a gran escala es una sustitución en el ámbito productivo de las fuentes de energía generadoras de GEI por alternativas no emisoras, como las renovables o la nuclear. Asimismo las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono juegan un papel fundamental, por las razones que apuntamos a continuación.

Tabla 1. Demanda de energía primaria global y emisiones de CO₂ asociadas (Mtep)

			Escenario de Nuevas Políticas		Escenario de Políticas Actuales		Escenario 450	
	2000	2010	2020	2035	2020	2035	2020	2035
Total	10.097	12.730	14.922	17.197	15.332	18.676	14.176	14.793
Carbón	2.378	3.474	4.082	4.218	4.417	5.523	3.569	2.337
Petróleo	3.659	4.113	4.457	4.656	4.542	5.053	4.282	2.682
Gas	2.073	2.740	3.266	4.106	3.341	4.380	3.078	3.293
Nuclear	676	719	898	1.138	886	1.019	939	1.556
Hidráulica	226	295	388	488	377	460	401	539
Biomasa y residuos	1027	1.277	1.532	1.881	1.504	1.741	1.568	2.235
Otras renovables	60	112	299	710	265	501	340	1.151
Combustible fósil (TPED)	80%	81%	79%	75%	80%	80%	77%	63%
CF No-OCDE (TPED)	45%	55%	60%	65%	61%	66%	60%	63%
Emisiones de CO₂ (Gt)	23,7	30,2	34,6	37,0	36,3	44,1	31,4	22,0

Nota: TPED: energía primaria total demandada

Fuente: (IEA, 2012b)

En línea con la información de la Tabla 1, los escenarios energéticos globales de la AIE concluyen que el petróleo seguirá jugando un papel muy importante en los sistemas energéticos. Este será especialmente en el caso en los países en desarrollo, y el pico de demanda dependerá de las políticas aplicadas (4DS o 2DS), en las que la retirada de las subvenciones a los combustibles fósiles jugará un papel fundamental. El petróleo no convencional jugará un papel mayor conforme pase el tiempo, al ser sus reservas mucho mayores que las convencionales. Por su parte, se espera que el gas natural se convierta en el principal combustible fósil, aumentando su presencia en todos los escenarios y relacionando su auge con la mayor relevancia de las fuentes no convencionales.

Las reducciones de emisiones conseguidas en los escenarios señalados en los apartados anteriores dependen principalmente del avance tecnológico. Por ejemplo, la (IEA, 2012a) en sus Perspectivas Tecnológicas de la Energía apunta que la electricidad baja en carbono es la base de cualquier sistema energético sostenible, ya que puede permitir drásticas reducciones en sectores como la industria, transporte o edificios. Para el ETP se puede reducir en un 80% las emisiones en la producción de electricidad para 2050 si se despliegan suficientemente las tecnologías de generación bajas en carbono. En el escenario 2DS las energías renovables representarían un 57% en 2050, lo que refleja lo importante que es mejorar la eficiencia y efectividad de las medidas actuales en la mitigación del cambio climático.

En resumen, energías renovables, captura y almacenamiento de carbono (CAC), nuclear y eficiencia energética son cruciales, en mayor o menor medida, para la descarbonización de las economías. Aunque hay menos consenso sobre la importancia de la CAC y la energía nuclear en los escenarios de descarbonización, la eficiencia energética y las renovables siempre juegan un papel central (ver Delarue et al., 2011; Meeus et al., 2012). Es por ello que a continuación nos ocuparemos de analizar cada una de las alternativas anteriores. Como se indicó en la introducción, prestaremos una atención especial al caso de la nuclear, al no haber sido cubierta por otros apartados de la monografía.

3.1.2. Las energías renovables

Acabamos de observar que para alcanzar un sistema energético sostenible es necesario apoyar las tecnologías bajas en carbono, donde las energías renovables son fundamentales. Además, y aunque su consideración va más allá de los objetivos de este trabajo, pueden proporcionar otros beneficios, contribuyendo al desarrollo social y económico, a dar acceso a la energía en zonas sin infraestructura o a reducir la dependencia energética.

La irrupción de las renovables es especialmente intensa en el ámbito eléctrico. De hecho, la electricidad muestra aumentos relativos importantes en el *mix* de productos energéticos de los próximos decenios según las principales proyecciones. No obstante, las emisiones de GEI por unidad de producción de electricidad caen considerablemente, y eso a pesar del aumento del uso de combustibles fósiles en los países emergentes y en desarrollo durante las próximas décadas.

En un reciente y amplio informe especial, el Grupo Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) se ocupó de la situación y perspectivas de las energías renovables como alternativa para la mitigación de los GEI. En 2008, el punto de partida de su análisis, la energía renovable representó un 12,9% del suministro de energía primaria. Este elevado porcentaje se debe principalmente a la aportación de la biomasa (10,2%) en los países en desarrollo, para su

utilización en la calefacción y la preparación de alimentos, destacando también la aportación de la energía hidroeléctrica (2,3%). A nivel mundial las renovables elevan su contribución al 19% si solo se tiene en cuenta su aportación a la generación eléctrica, no muy lejos de la meta marcada en el escenario 2DS de la AIE.

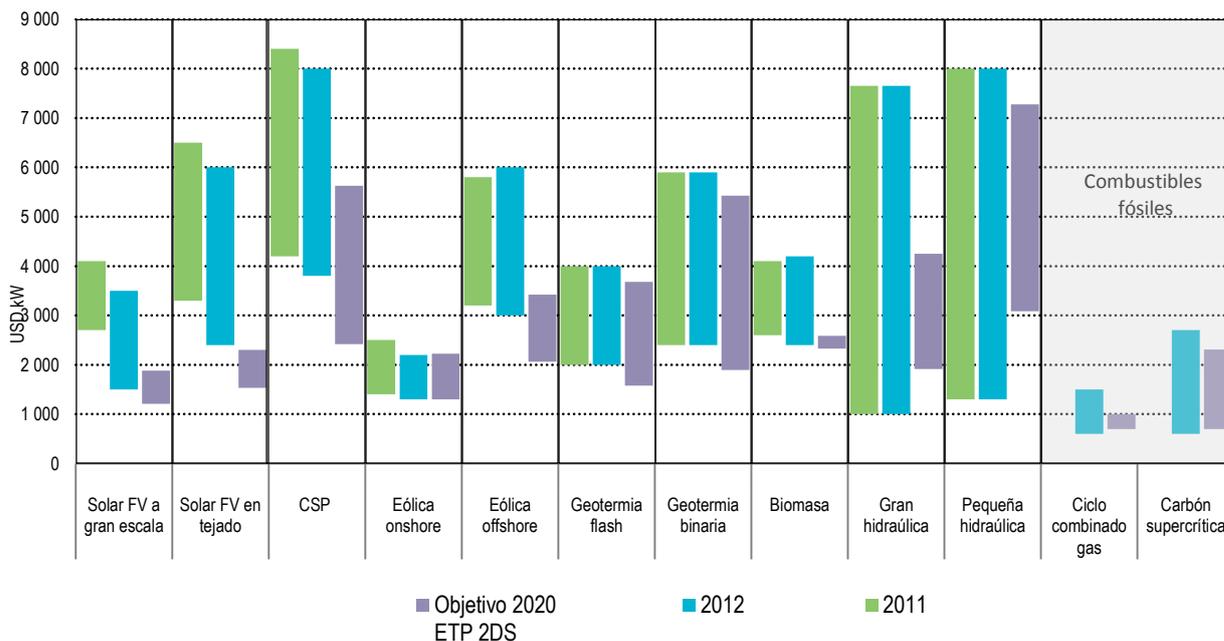
De hecho, en los últimos años se ha producido una gran expansión de las energías renovables, sobre todo en los países desarrollados. Esto ha sido posible principalmente por las políticas públicas de promoción, junto con el incremento de los precios de los combustibles y la disminución de los costes de los equipos en un entorno de incremento de la demanda energética. Como observamos en la sección precedente, la AIE prevé un sector eléctrico con gran aportación de energía eólica y solar, representando el 45% de la expansión de las renovables en la generación eléctrica para 2035. Hasta ese año las renovables representarán casi la mitad del incremento de la generación, con China como mayor aportador absoluto. La AIE (IEA, 2012b) indica que la mitad de la participación renovable en el sector eléctrico será aportada por la energía hidráulica. Un cuarto será lo que aporte la eólica y solar. En cuanto a los biocombustibles, en el escenario de 4DS se triplica su uso desde 2010 a 2035.

Desde el IPCC, en la mayoría de los 164 casos analizados en el informe de renovables también se indica un aumento significativo en el despliegue de la energía renovable en los horizontes de 2030 y 2050. Más de la mitad de los escenarios esperan una contribución de las renovables de más de 17% en 2030, incrementándose a más del 27% en 2050. Los escenarios más optimistas alcanzan un 43% en 2030 y un 77% en 2050.

En cuanto a los costes de las renovables, en general se ha producido una reducción significativa durante los últimos años, en paralelo a la expansión de su capacidad instalada. La reducción ha sido considerable en tecnologías que hoy se pueden considerar cuasi-maduras, como la solar fotovoltaica o la eólica terrestre. La Figura 3 muestra, no obstante, como los costes de inversión por KW son muy variables y en algunos casos se encuentran muy por encima de los necesarios para cumplir con los objetivos renovables marcados por el escenario 2DS de la AIE. A la derecha se puede observar como los costes de inversión en tecnologías energéticas convencionales, basadas en el uso de combustibles fósiles, son en general considerablemente inferiores.

En cualquier caso, el papel de las renovables en el sistema energético futuro dependerá de diversos factores, estando sujeto por ello a una cierta incertidumbre. En primer lugar de la evolución de medidas alternativas a las renovables, como por ejemplo la CAC, la energía nuclear o la eficiencia energética. La menor capacidad de otras alternativas llevaría a una necesaria expansión de las alternativas renovables, a un abandono más decidido de las tecnologías fósiles y, en general, a unos costes más altos de la descarbonización (Jägemann et al., 2013).

Figura 3. Costes de inversión según tecnología



Fuente: (IEA, 2013a)

También es posible que el cambio climático afecte al potencial de las tecnologías renovables, ya que las energías renovables dependen fuertemente de las circunstancias climáticas en las que se encuentren emplazadas. Así, el cambio climático puede afectar negativamente al potencial y distribución geográfica del recurso renovable, especialmente en el caso de la producción de biomasa y la energía solar (con variaciones en la nubosidad). Para la energía hidroeléctrica, globalmente se esperan efectos positivos, aunque pueden producirse reducciones del recurso en abundantes zonas. Van Vliet et al. (2012) estudian, por ejemplo, la repercusión que tendrá el calentamiento de los ríos y embalses en la eficiencia de las centrales termoeléctricas, las cuales están dimensionadas para una temperatura dada de refrigeración, dependiente, en ocasiones de ríos y embalses. Para la eólica geotérmica o marina no se prevén cambios significativos.

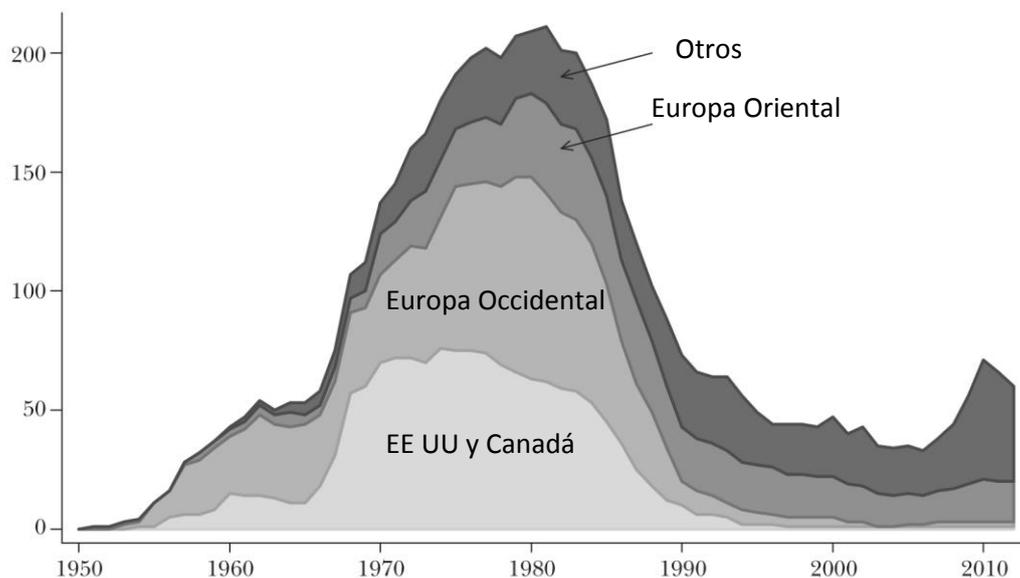
3.1.3. La energía nuclear

> Apuntes históricos

La energía nuclear civil es empleada fundamentalmente para la producción de electricidad en centrales eléctricas a partir de la producción de vapor que alimenta a turbinas, que a su vez hacen girar generadores eléctricos. La función de la fisión nuclear es la de producir calor, al igual que la combustión de carbón, fuel o gas natural en las centrales térmicas convencionales. Las principales diferencias son que esta fuente de energía apenas produce emisiones de GEI y que tanto el tratamiento del combustible nuclear como de los residuos requieren unos protocolos de seguridad muy exigentes.

Como consecuencia de la Segunda Guerra Mundial se produjeron grandes avances en el empleo de la energía nuclear desde un punto de vista militar. Estos avances pasaron al plano civil con la construcción de las primeras centrales eléctricas nucleares en los años 50. Durante las siguientes dos décadas la energía nuclear vivió una gran expansión, siendo EEUU, Reino Unido, Francia, Alemania, Canadá y Japón la regiones más destacadas en la construcción de reactores. Sin embargo, entre finales de los 70 y principios de los 80, se produjo un abrupto freno en la construcción de nuevas centrales. En el caso de EEUU, según (Davis, 2012) esto fue debido a varios factores, principalmente por el refuerzo de la regulación en seguridad y medio ambiente. También una precaria situación de la regulación eléctrica en EEUU hizo que la administración tuviera que sanear buena parte del sector, lo que llevó a que se revisaran las inversiones de las compañías eléctricas en general y, en particular, de sus componentes nucleares. El siguiente episodio en la historia nuclear fue el accidente de *Three Mile Island* (EEUU) en 1979, que intensificó los requisitos de seguridad nuclear y expandió sus costes. Años más tarde, en 1986 se produce la catástrofe de Chernóbil (Ucrania), si bien la expansión de la nuclear ya se había detenido con anterioridad.

Figura 4. Reactores nucleares en construcción en el mundo



Fuente: Davis (2012)

Durante la década de los noventa la construcción de nucleares decayó todavía más y se trasladó a Europa del Este (Rusia fundamentalmente). En 2008 se produjo un gran incremento de la construcción de centrales nucleares. Es el llamado “renacimiento nuclear”, principalmente por el empuje de China, principal región en la construcción de reactores en la actualidad. Las causas principales de este renacimiento se señalan en Joskow y Parsons (2012) y tienen que ver con

políticas de promoción de tecnologías bajas en carbono, el incremento de los precios de los combustibles fósiles o el interés de países emergentes para responder a la creciente gran demanda eléctrica. En la Figura 4 se muestra la evolución de la construcción de reactores nucleares en el mundo.

> El futuro de la energía nuclear

El accidente de marzo de 2011 en la central de Fukushima Daiichi en Japón indujo a una revisión profunda de la seguridad de las centrales nucleares, fundamentalmente en la UE. Se pueden distinguir dos corrientes post-Fukushima: la del abandono progresivo y la de continuidad. En la primera corriente se sitúan Alemania, Suiza y Japón. Alemania desconectó ocho de sus 17 centrales más antiguas y tiene previsto el apagón nuclear completo para 2022. Japón en un primer momento anunció su transición hacia las energías renovables y el abandono paulatino de la nuclear, si bien con el reciente cambio de gobierno se están revertiendo las medidas antinucleares. Suiza por su parte ha decidido no aumentar la vida útil de nuevas centrales.

En la segunda corriente se encuentran países como Corea del Sur, Reino Unido, China y otros estados de fuera de la OCDE. Corea del Sur anunció la extensión de la vida de sus centrales. Reino Unido, por su parte, acaba de anunciar un acuerdo para la construcción de dos reactores nucleares mediante financiación privada. En una situación intermedia se encuentra EEUU, que no ha planteado eliminar las extensiones de licencias previstas a sus centrales nucleares pero tampoco muestra señales de un gran interés en nuevos desarrollos nucleares.

Actualmente en el mundo existen 435 reactores en operación y 72 en construcción, según la Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). La energía nuclear representó el 14,2 % del consumo eléctrico mundial en 2012 (Foro Nuclear, 2013). En cualquier caso, sucesos como los de Fukushima y sus efectos colaterales muestran las dificultades de avanzar el papel de las diferentes tecnologías en los senderos hacia la descarbonización. Recordemos, asimismo, que un menor papel de la energía nuclear en el mix energético futuro implicará mayores demandas para otras alternativas consideradas y, en cualquier caso, una dificultad mayor para abandonar los combustibles fósiles.

> Costes de la energía nuclear

Los datos de costes históricos del Departamento de Energía de EEUU coinciden en el gran incremento de costes previstos para la energía nuclear desde los años 80 (Davis, 2012; Harris et al., 2013; Joskow y Parsons, 2012). También en que la media de años necesarios para la construcción de centrales se amplía. Mientras que en los años 50 era de 4,5 años, en los 70 pasó a más de 14 años (Davis, 2012) fundamentalmente debido a procesos regulatorios y

burocráticos más gravosos. Un ejemplo del incremento de costes es Francia: en los 70 se estimaban en 1000 US\$/kW, pero en los 90 esta cifra se incrementó hasta los 2300 US\$/kW (Davis, 2012). También es necesario considerar los riesgos financieros ya que, vistos los largos periodos de construcción, los retrasos significan mayor coste del capital necesario. Además los inversores se tienen que enfrentar a riesgos regulatorios y son sensibles a las políticas energéticas. Por ejemplo en EEUU, con el intento de introducir un límite de emisiones, que beneficiaría la competitividad de la nuclear, pero que fracasó en 2009.

La mayoría de los estudios comparativos sobre la idoneidad económica de la nuclear utilizan los LEC (*Levelized-cost methodology*). En un estudio del más reciente caso europeo, el de Reino Unido, Harris et al. (2013) tienen en cuenta los datos de costes de EEUU y la Unión Europea y concluyen que los costes de inversión en nuclear de fisión que se utilicen en las proyecciones deben ser mayores que los tenidos en cuenta en el pasado. Desde mediados de la pasada década los costes fijos de proyecto y construcción de la nuclear han aumentado considerablemente.

Linares y Conchado (2013) también analizan el debate nuclear desde la perspectiva de sus costes. Sin embargo, no utilizan los LEC sino que la asignación de costes se realiza teniendo en cuenta las características de mercados de la electricidad liberalizados, para los cuales la metodología de LEC tiene carencias. Por ejemplo, la dependencia de los costes de construcción, de los cuales hay pocos datos contemporáneos, al igual que plantean Harris et al. (2013). Otro de los inconvenientes que presenta el LEC es su dependencia del factor de carga (*load factor*), que depende a su vez de la competitividad del coste de la nuclear debido a que esta dependerá de la capacidad que tenga para entrar en el mercado de casación, esta capacidad de entrar estará condicionada por el resto de tecnologías y, a su vez, por el coste de los combustibles fósiles (que determinan la competitividad de centrales de gas o de carbón, por ejemplo). Un mercado liberalizado, por ello, no garantiza la recuperación de la inversión. De hecho, pueden aparecer nuevas tecnologías más baratas o mejoras en las actuales (por ejemplo, eólica y solar). Por ello, las conclusiones de este trabajo indican que la capacidad de competir en costes de la tecnología nuclear en mercados liberalizados es cuestionable.

3.1.4. Captura y Almacenamiento de Carbono (CAC)

Como ya observamos en 3.1.1, la CAC debe ser una de las grandes alternativas a la mitigación de las emisiones en las próximas décadas. A excepción de la tecnología *Enhanced Oil Recovery* (EOR), técnica utilizada para la extracción de petróleo en yacimientos, el despliegue a gran escala de esta tecnología está lejos de las previsiones iniciales. De ahí que la mayoría de las instalaciones actuales en funcionamiento no se consideren de CAC. En 2012 se capturaban solo 6 millones de toneladas de CO₂ por año, excluyendo la tecnología EOR. Aunque se construyeran

todas las instalaciones planificadas en la actualidad, se llegaría a 90 MT de CO₂, menos del 1% de lo que emite el sector de generación eléctrica (IEA, 2013a).

En los informes recientes de la IAE y en Eom et al., (2013) se discute el problema, ya avanzado en términos genéricos con anterioridad, que supone el retraso en el despliegue de esta tecnología. Sin ella, la alternativa para alcanzar los mismos objetivos es abandonar los combustibles fósiles con mayor decisión, con los costes que esto conllevaría y las dificultades de una transición más abrupta desde los combustibles fósiles. En AMPERE (2014) se apunta que en un contexto como este se deberían prohibir las nuevas centrales eléctricas de carbón sin CAC para poder alcanzar los objetivos climáticos planteados.

En este contexto, la Comisión Europea ha exigido en noviembre de 2013 a seis estados los planes de transposición de la Directiva CAC (2009/31/EC), norma que define el marco legal para la CAC de forma segura para el medio ambiente y la salud. Este hecho parece constatar la falta de interés por parte de muchos países. De haber interés por parte de los decisores políticos, la AIE propone varias acciones para la aceleración de la promoción de la CAC:

- Introducción de mecanismos de apoyo financiero para proyectos de demostración
- Probar sistemas CAC a escala industrial en sectores donde no se ha probado esta tecnología
- Poner más esfuerzos en informar a la sociedad y otras partes interesadas de la importancia de su implementación
- Instalar la CAC en centrales eléctricas altamente eficientes para que el impacto sobre costes sea menor
- Fomentar el desarrollo eficiente de la infraestructura de transporte de CO₂

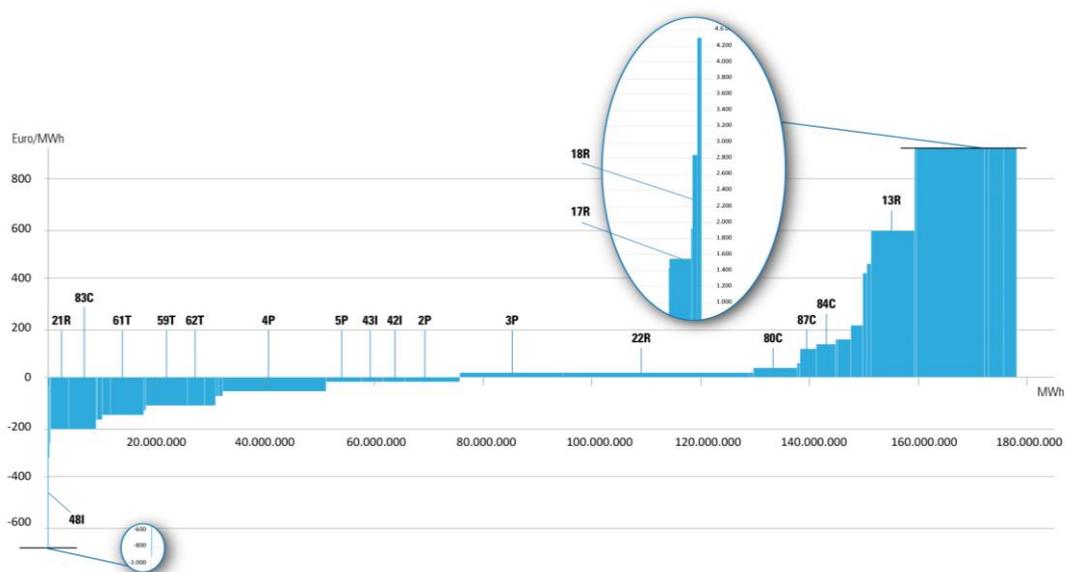
Entre las escasas señales esperanzadoras se encuentra el incremento de las solicitudes de patentes en este ámbito, un 46% entre 2006 y 2011. Además se ha apuntado la ventaja de combinar producción de energía con biomasa y CAC, con lo que esta tecnología podría conseguir emisiones negativas. El concepto se basa en que la biomasa captura CO₂ durante su crecimiento, después de utilizaría para la producción de energía en plantas dotadas con sistemas de CAC (Eom et al., 2013).

Según la AIE, entre 2007 y 2012 se han invertido 10.200 millones de dólares en proyectos de demostración CAC. De estos, 2.400 millones son de origen público y provienen casi en su totalidad de EEUU y Canadá. Sin embargo estas cifras distan mucho de los 100.000 millones previstos en el escenario 2DS. Quizá el apoyo indirecto de unos precios incentivadores por emitir GEI, ya apuntado en la sección 2 de este capítulo y al que volveremos a referirnos próximamente, pueda activar el interés en esta tecnología.

3.1.5. La eficiencia energética

Como hemos visto en 3.1.1, la eficiencia energética en el uso final es crucial para conseguir los objetivos climáticos en el medio y largo plazos. Si bien el potencial es amplio tanto en el sector productivo como en el caso de los consumidores (véase la Figura 5 como una ilustración para el caso español de los potenciales y costes de reducción de la demanda de energía, donde aparecen costes negativos no realizados), y los beneficios no relacionados con el cambio climático son importantes (ahorros económicos, reducción de dependencia energética, entre otros), el progreso ha sido muy limitado. Por ello en este apartado nos centramos en las barreras existentes y en sus posibles soluciones a través de instrumentos de política.

Figura 5. Potencial y coste de medidas de reducción de demanda de energía en España



Fuente: Economics for Energy (2011)

A pesar de todos estos beneficios para la sociedad y los sectores público y privado, el nivel de inversión en eficiencia energética es inferior al óptimo desde un punto de vista económico. Esta diferencia entre el nivel de inversión esperado y el real se ha denominado 'Paradoja de la Eficiencia Energética' (Jaffe y Stavins, 1994) y estaría explicada en parte por la existencia de una serie de barreras de mercado que afectan fuertemente las decisiones de inversión en eficiencia energética. Estas barreras han sido bien identificadas por la literatura: falta de información, conflicto de intereses entre principal y agente, dificultad para financiar unos costes iniciales muy altos e incertidumbre y desconfianza sobre el rendimiento de los aparatos e instalaciones.

Estas barreras junto con el interés público de la eficiencia energética justifican la intervención pública para promover la inversión en dicho sector. El catálogo de instrumentos de promoción de

la eficiencia energética también ha sido bien desarrollado por la literatura académica (Linares y Labandeira, 2010), y considera básicamente tres grandes categorías: instrumentos de mandato y control, instrumentos económicos e instrumentos de información. En la segunda sección de este capítulo nos hemos ocupado de instrumentos muy similares pero aplicados para la reducción de emisiones de GEI, por lo que se pueden consultar allí las ventajas y limitaciones de cada alternativa.

Un instrumento económico no mencionado en el apartado precedente pero que tiene una utilidad especial en este campo son los llamados sistemas de obligaciones, aplicados durante los últimos años en algunos países industrializados como Francia, Italia, Dinamarca o Reino Unido (Bertoldi et al., 2010). Estos sistemas imponen a productores, distribuidores o comercializadores de energía la obligación de conseguir un determinado nivel de ahorro energético mediante la mejora del nivel de eficiencia energética de sus clientes, que a su vez puede ser objeto de comercio. Las deducciones fiscales para inversiones en eficiencia energética pueden atacar algunos de las barreras señaladas con anterioridad. En cualquier caso, este tipo de instrumentos puede producir problemas de *free-riding* en aquellos casos en los que se aplique indiscriminadamente, ya que es probable que algunos consumidores hubiesen invertido en eficiencia energética incluso sin beneficio económico.

Tampoco nos hemos referido a instrumentos de información que pueden tener un papel muy relevante en este campo. Los más habituales son las etiquetas o certificados de eficiencia energética y tienen como objetivo hacer llegar a los consumidores información, hasta el momento inexistente en el mercado, sobre las características referidas a consumos energéticos e impactos ambientales. De esta manera, los consumidores tendrán acceso directo a información veraz y de confianza sobre las características en términos de eficiencia energética, que será agregada a sus preferencias, lo que aumentará la probabilidad de que sean más conscientes cuando toman decisiones relacionadas con la energía.

3.2. El entorno institucional

3.2.1. Apuntes históricos

La Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente Humano, en 1972 en Estocolmo, trata por primera vez la cuestión del cambio climático. En 1979, se celebró la primera Conferencia Mundial sobre el Clima, convocada por la Organización Meteorológica Mundial, cuya temática giró entorno al calentamiento global y a cómo afectaría este a la actividad humana. Además se constituyó un Programa Mundial sobre el Clima (PMC), tutelado por la OMM, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Consejo Internacional

para la Ciencia (ICSU, por sus siglas en inglés). Poco después, en 1988, se creó el IPCC, cuya principal función consiste en elaborar y difundir informes de evaluación sobre el conocimiento de los múltiples aspectos relacionados con el cambio climático.

El siguiente hito se da en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de Río de Janeiro en 1992. Conocida como la cumbre de la Tierra, su principal logro fue el tratado sobre la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), que entró en vigor en 1994 y al que en 1997 se le añadiría el Protocolo de Kioto. Posteriormente, en 1995, se celebra en Berlín la primera de las Conferencias de las Partes (COP-1), también conocidas como “Cumbres del Clima”, donde se reúne la máxima autoridad de la CMNUCC. La COP se reúne todos los años, la última reunión, COP-19, tuvo lugar en Varsovia en noviembre de 2013.

La COP3, en 1997 en Kioto, tuvo una especial relevancia, con la adopción del Protocolo de Kioto, que entraría en vigor en 2005. Posteriormente se detallarían las reglas para su puesta en marcha en los llamados acuerdos de Marrakech (COP-7), en 2001. Además, en 2001 se deben destacar los llamados Acuerdos de Bonn, que significaron una mayor ayuda por parte de los países desarrollados a los países en vía de desarrollo, creando fondos para la transferencia tecnológica o la adaptación de países en desarrollo.

En 2007 se publica el Cuarto Informe de Evaluación (AR4) del IPCC, que incrementa la preocupación sobre el cambio climático. Además empiezan las negociaciones para acordar post-Kioto en 2009, con la llamada “hoja de ruta de Bali” (COP-13). Sin embargo en la COP-15 de Copenhague de 2009 no se consiguen acuerdos significativos. En la COP-17 en Durban se alcanzó un acuerdo de mínimos para la extensión del Protocolo de Kioto. Las últimas dos Conferencias, COP-18 y COP-19, son consideradas como reuniones de transición, con pocos avances hacia la limitación del aumento de la temperatura en 2°C. A la espera de la COP-21 de 2015 en París, fecha límite para la aprobación de un acuerdo que sustituya al Protocolo de Kioto.

3.2.2. La Convención Marco

El texto de la CMNUCC fue aprobado en Nueva York en mayo de 1992 y entró en vigor el 21 de marzo de 1994. Veinte años más tarde, la Convención está ratificada por 195 países, la gran mayoría de los estados del planeta, y que se conocen como Partes de la Convención.

El tratado es un documento marco, que ha ido evolucionando y al que se le ha ido incorporando contenido a lo largo del tiempo. El artículo 2 de la CMNUCC describe su objetivo: “...lograr, de conformidad con las disposiciones pertinentes de la Convención, la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida

interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible”.

La Convención, teniendo en cuenta los intereses nacionales pero también las responsabilidades con el medio ambiente (principio de las “responsabilidades comunes pero diferenciadas”), se compromete en su artículo 4 a la realización de inventarios de las emisiones causadas por la actividad humana. Otra de sus metas es formular programas con medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, promover la cooperación y la investigación científica y tecnológica. Tal y como ya se ha comentado, la CMNUCC divide el peso del esfuerzo a realizar en función de si el país se considera desarrollado, fuente principal de las emisiones de GEI o si es un país en desarrollo. Los países industrializados (desarrollados) se conocen como “países incluidos en el Anexo I”.

Antes de la publicación del tercer informe de evaluación del IPCC, los mayores esfuerzos de la Convención estaban puestos en la mitigación (tratar de controlar el aumento de la temperatura). Sin embargo, sus conclusiones hicieron necesario también tener en cuenta medidas para contrarrestar los efectos (algunos ya inevitables) del cambio climático, la adaptación. En la COP de Durban se acordó el Fondo de Adaptación para financiar estas medidas.

3.2.3. El Protocolo de Kioto

El Protocolo de Kioto, que desarrolla y dota de contenido a la CMNUCC, es el instrumento jurídico internacional más importantes en la lucha contra el cambio climático, con compromisos vinculantes de reducción y estabilización de emisiones de GEI para los países industrializados. Fue aprobado en 1997, tras largas negociaciones que comenzaron en COP-1 de 1995 en Berlín. Como ya se ha mencionado anteriormente, las reglas de funcionamiento se establecieron en la COP-7 celebrada en Marrakech en 2001, y se conocen como los Acuerdos de Marrakech. En ellos se amplía la definición de los mecanismos de flexibilidad o se definen sanciones.

El Protocolo entró en vigor en 2005 con el objetivo de reducir las emisiones de seis GEI al menos un 5% los niveles de 1990 para el periodo 2008-2012. Están sujetos a él 37 países industrializados y la Unión Europea. Actualmente el Protocolo de Kioto tiene 193 Partes (192 estados y 1 organización regional de integración económica). El Protocolo establece mecanismos para apoyar a los países en desarrollo por parte de los países industrializados. Aunque los países deben alcanzar sus metas mediante medidas principalmente nacionales, el Protocolo ofrece elementos adicionales para alcanzar estas metas y promover la cooperación entre países.

En la COP18 de Doha se acordó la extensión del Protocolo de Kioto con un segundo periodo, 2013-2020. Sin embargo, la retirada de países como Canadá, Rusia o Japón, así como la no inclusión de EEUU, debilitó el acuerdo. Tal y como se ha comentado, se espera que en la COP21 de París se acuerde un nuevo Protocolo.

> Comercio de los derechos de emisión

El Protocolo de Kioto permite a las Partes incluidas en el anexo B participar en comercio de derechos de emisión de manera suplementaria a las medidas nacionales para la reducción de emisiones. Cada país tiene unos niveles de emisiones permitidos (cantidades atribuidas). Estas cantidades de emisiones permitidas se cuantifican por toneladas de GEI permitidas, llamadas Unidades de Cantidad Atribuida (UCA). De esta manera, si a un país le sobran unidades de emisión, estas pueden ser compradas por países que no tienen suficientes para hacer frente a sus emisiones y/o les resulta costoso tomar otras medidas para la reducción de emisiones de GEI. Las UCAs se comportan como cualquier otro producto de mercado, pero en este caso el mercado se conoce como mercado del carbono, por ser el CO₂ el principal GEI.

> Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL)

En el artículo 12 del Protocolo se define un mecanismo para ayudar a las Partes no incluidas en el anexo I a lograr un desarrollo sostenible y, a su vez, ayudar a los países industrializados a cumplir sus objetivos de limitación y reducción de emisiones. El MDL se basa en la posibilidad de la realización de proyectos de reducción de emisiones en países en desarrollo por parte de los países de anexo B. Las emisiones evitadas por la realización de estos proyectos deben ser certificadas como adicionales a las reducciones que se conseguirían en ausencia del proyecto, las llamadas Reducciones Certificadas de Emisiones (RCE). Las RCE sirven para compensar las emisiones del país promotor del proyecto.

> Aplicación Conjunta (JI)

En el artículo 6 del Protocolo de Kioto se ofrece otro mecanismo de cooperación para alcanzar las metas propuestas, es el conocido como Aplicación Conjunta (JI, por sus siglas en inglés). Esta posibilidad permite a países incluidos en el anexo B obtener Unidades de Reducción de emisiones (ERU, por sus siglas en inglés) mediante proyectos de reducción de emisiones de otro país del Anexo B. Las ERU también equivalen a la reducción de una tonelada de CO₂ equivalente. De esta manera, el Protocolo permite la realización de proyectos de reducción de emisiones en los países del Anexo B, aprovechando así las ventajas de coste-efectividad de los instrumentos de precio indicadas con anterioridad.

3.2.4. Negociaciones climáticas en la actualidad

Hoy nos encontramos en una situación en la que las emisiones de GEI siguen aumentando y el límite de concentración de 450 ppm de CO₂ en la atmósfera se acerca (considerado como equivalente a un aumento límite de 2°C), al haberse alcanzado en mayo de 2012 los 400 ppm. En un contexto en el que el informe del grupo 1 del IPCC, recién presentado, resalta la severidad del problema, la lentitud de la negociación climática internacional parece especialmente problemática. De hecho, las declaraciones y compromisos de los distintos países, en el marco de los esquemas aprobados por las últimas COPs, no serán suficientes para cumplir con los objetivos climáticos de aumento de temperatura en 2°C. En la terminología utilizada con anterioridad (3.1.1), nos encontramos en una trayectoria muy alejada a la deseable para cumplir ese objetivo e incluso con una intensificación y aplicación de las políticas actuales nos ubicaremos en un aumento de temperaturas en el entorno de los 3-4°C de aumento con respecto a la situación preindustrial.

En el apartado 3.2.1 se avanzaron algunas de las expectativas de cara a las próximas COPs, con el objetivo de alcanzar un marco legal que sustituya al Protocolo de Kioto. No obstante quizá convenga avanzar la importancia de actuaciones unilaterales (motivadas primordialmente por razones extra-climáticas) o una negociación a pequeña escala. De hecho, un número pequeño de países representa un porcentaje muy elevado de las emisiones globales de GEI, lo que obviamente facilita la consecución de acuerdos. En la próxima sección adoptaremos una perspectiva relativamente unilateral, con un énfasis en la política climática europea (y en particular en el MECE), pero también avanzaremos posibilidades de progreso hacia acuerdos o soluciones que impliquen a otros países y territorios.

4. La política climática europea

4.1. Objetivos generales

Los objetivos climáticos europeos a corto plazo, recogidos en llamado “Paquete de clima y energía” y conocidos también como objetivos “20-20-20”, establecen para 2020:

- Reducción del 20% en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) con respecto a los niveles de 1990
- Incremento de la participación de las fuentes de energía renovable en el consumo energético primario de la UE hasta el 20%
- Mejora del 20% en la eficiencia energética en la UE.

Para cumplir con el objetivo de reducción de emisiones la UE ha optado por dividir su estrategia dependiendo si son grandes emisores o sectores difusos. Desde 2005 la UE introdujo a los grandes emisores de GEI (centrales eléctricas convencionales y gran industria) en el régimen europeo de comercio de emisiones (MECE), al que nos referiremos más adelante. Este es un instrumento europeo para reducir las emisiones de GEI de manera coste-eficiente.

Los sectores difusos no cubiertos por el MECE, como pueden ser el transporte (excluyendo el aéreo) o residencial, son responsables de cerca del 60% de las emisiones de la EU y se rigen bajo la llamada decisión de división de esfuerzos (*Effort Sharing Decision*) a la que nos referiremos en un apartado posterior en más detalle. Esta es una decisión vinculante por la que los Estados miembros deben establecer objetivos anuales de reducción para el periodo 2013-2020. Los objetivos globales son los de una reducción del 10% de las emisiones de GEI para 2020 con respecto a 2005.

Las medidas para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones en los sectores difusos dependen de cada estado miembro (EM), al contrario que en el caso del MECE. En este caso cada EM define y aplica políticas en transporte, eficiencia energética en edificios u otras medidas. Nótese que este objetivo de reducción de emisiones con respecto a los niveles de 2005 en los sectores difusos, junto con la meta marcada a nivel comunitario del 21% con respecto a 1990 para los sectores pertenecientes al MECE, pretenden alcanzar la reducción del 20% de las emisiones con respecto a 1990 para 2020.

Al mismo tiempo ya se avanzó que la UE busca incrementar la aportación de las energías renovables al consumo final de energía para 2020. Pero, frente al MECE, que fue implementado a nivel europeo con un único criterio, en la promoción de las energías renovables cada EM elige los instrumentos, medidas o incentivos de manera unilateral. Sin embargo, se pueden distinguir dos estrategias que suelen seguir los EM: los certificados verdes y los mecanismos de primas (Van den Bergh et al., 2013). Además de estas dos líneas de promoción, los gobiernos europeos también utilizan otras medidas para hacer más atractivas las inversiones en renovables como subvenciones para I+D+i, incentivos fiscales, etc.

La tercera pata de la estrategia hacia 2020 es la eficiencia energética, a la que nos hemos referido con anterioridad en términos más abstractos. Sin embargo, debido a que los objetivos relacionados con esta meta no llevaban una senda apropiada de cumplimiento, en 2011 se estableció el Plan de Eficiencia Energética para mejorar la consecución de objetivos a través de medidas concretas. Las medidas y políticas de este plan acaparaban todos los sectores energéticos: generación, edificios, transporte, industria, sector público, electrodomésticos, etc. En el caso del sector del transporte, por ejemplo, estas medidas se concretan mediante el Libro Blanco sobre el Transporte publicado en 2011. El sector público, por su parte, posee el papel

ejemplarizante con medidas de eficiencia energética, que posteriormente deben ser trasladadas al resto de la sociedad.

En este contexto de enfatizar esfuerzos para alcanzar los objetivos del 20% de ahorro energético para 2020, en 2012 se aprobó una nueva Directiva de Eficiencia Energética (2012/27/UE). La UE estableció así un marco común para poner en práctica las medidas del Plan de Eficiencia Energética 2011, además de otras actuaciones:

- Definición y cuantificación del objetivo de la UE para 2020 con respecto a su consumo de energía.
- Obligación de cada EM de fijar objetivos nacionales de eficiencia energética
- Mejora del acceso a los datos de consumo por parte de los consumidores (medidores en tiempo real e histórico de consumo)
- Obligación a las grandes empresas para llevar a cabo auditorías energéticas, e incentivos a las pequeñas y medianas empresas para identificar los posibles ahorros energéticos.
- Ejemplo por parte del sector público mediante la renovación del 3% de los edificios de la administración central.

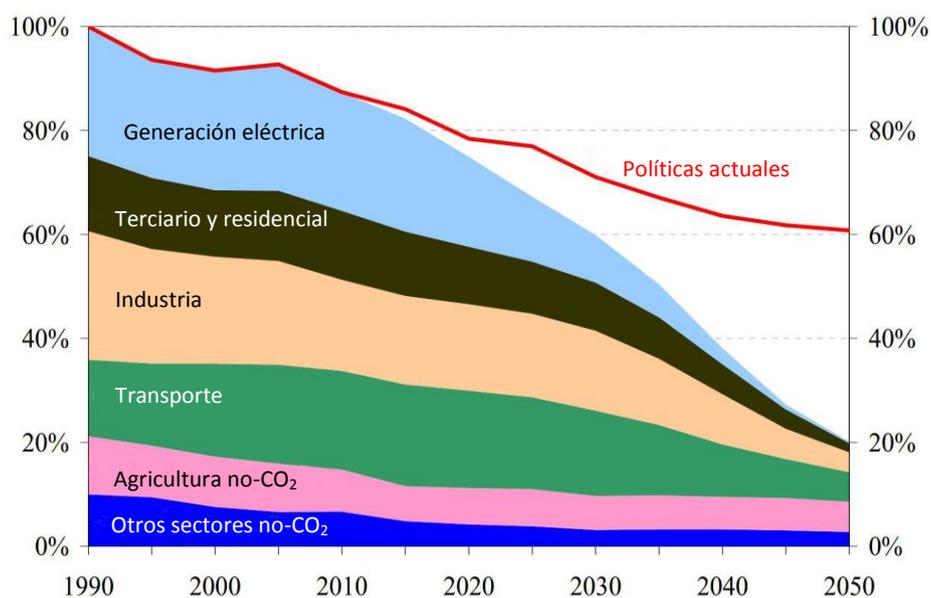
A medio plazo, los objetivos europeos están recogidos en el reciente marco energético y climático presentado por la CE para 2030 (*2030 framework for climate and energy policies*). Destaca el objetivo de reducción vinculante e incondicional de emisiones de GEI en un 40% con respecto a 1990 para el año 2030. Para alcanzar este nivel de reducción global para la UE los esfuerzos por parte del MECE se fijan en una reducción del 43%. Entre los sectores difusos este esfuerzo se cifra en un 30%, repartido equitativamente entre los EM. Para el horizonte a 2030, la propuesta fija una cuota vinculante para las renovables de al menos el 27% del consumo energético. Para alcanzar esta penetración, se repartirán de forma equitativa los objetivos entre los EM. En cuanto a la Eficiencia Energética, se prevé revisar la Directiva.

Parece claro que para lograr estos objetivos en 2030 serán necesarias una serie de condiciones: transformación de la infraestructura energética de la UE; un marco competitivo en el sector energético; mayor flexibilidad de los Estados miembros para fijar objetivos nacionales de renovables; revisión del MECE y un marco de gobernanza europea más fuerte. En cierta medida, el paquete a 2030 busca replicar la estructura de otras políticas económicas de la UE en la política energética.

Para el largo plazo, la Comisión Europea adoptó en diciembre de 2011 la hoja de ruta de la energía para 2050 (*Energy Roadmap 2050*). Mediante este documento la UE se comprometió a reducir de manera coste-efectiva las emisiones de GEI en un 80-95% con respecto a los niveles de 1990 para el año 2050, de manera que se garantice la seguridad energética y la

competitividad. La Figura 6 y la Tabla 2 recogen las proyecciones de reducción de emisiones sectoriales de GEI a lo largo de las próximas décadas en la UE.

Figura 6. Proyección de la reducción de GEI al aplicar la Hoja de Ruta 2050



Fuente: Comisión Europea

Tabla 2. Esfuerzo en la reducción de emisiones hacia 2050 por sectores

Reducciones de GEI en comparación con 1990	2005	2030	2050
Total	-7%	-40 A -44%	-79 A -82%
Sectores			
Generación (CO ₂)	-7%	Desde -54 hasta -68%	-93 A -99%
Industria (CO ₂)	-20%	-34 A -40%	Desde -83 hasta -87%
Transporte (aviación incl. CO ₂ , excl. Marítima)	30%	20--9%	Desde -54 hasta -67%
Residencial y servicios (CO ₂)	-12%	-37 A -53%	-88 A -91%
Agricultura (sin CO ₂)	-20%	-36 A -37%	-42 A -49%
Otras emisiones no CO ₂	-30%	-72 A -73%	-70 A -78%

Fuente: Comisión Europea

4.2. El sistema europeo de comercio de emisiones

4.2.1. Definición y evolución

Cuando con el Protocolo de Kioto se promovió un acuerdo vinculante para la reducción de las emisiones de GEI, la Unión Europea optó por la implantación, mediante la Directiva 87/2003/EC, de instrumentos de mercado para alcanzar estos objetivos. El MECE es la principal medida de la Unión Europea en el ámbito de la lucha contra el cambio climático. Establecido en 2005, este mercado pretende reducir las emisiones de CO₂ de la industria europea en 2020 en un 21% con respecto a 1990, año establecido como de referencia para el Protocolo de Kioto. El MECE es actualmente el mercado de carbono más grande del mundo, que cubre a más de 11.000 instalaciones industriales y al sector de aviación a lo largo de 31 países. Esto se traduce en una cobertura de aproximadamente el 45% de las emisiones de CO₂ equivalentes de la UE.

Tal y como apuntamos en la sección 2, la elección de un instrumento de mercado como el MECE en las políticas ambientales permite asegurar la obtención de metas ambientales al mínimo coste gracias a que ofrece a los contaminadores la posibilidad de elección de la medida más eficiente para la reducción de emisiones, y contribuye a promocionar las nuevas tecnologías de bajas emisiones. Este tipo de instrumentos ya se aplicaron en otras latitudes a menor escala, por lo que existían experiencias previas (Ellerman et al., 2003; Joskow et al., 1998; Kerr y Maré, 1998). Por otra parte, el MECE responde a las dificultades para introducir medidas fiscales para la contención de las emisiones de GEI, puesto que este tipo de actuaciones requieren unanimidad de todos los EM.

El MECE se construyó como un sistema de límite y comercio (*cap and trade*) que, tal y como avanzamos en el apartado 2 del capítulo, establece un tope de emisiones de CO₂ a la industria y asigna o vende derechos de emisión (EUAs, por sus siglas en inglés). Esto permite que los agentes compren y vendan estos derechos buscando siempre la eficiencia económica. También se pueden comprar créditos internacionales procedentes de proyectos de reducción de emisiones en todo el mundo (principalmente en países en vías de desarrollo, a través del MDL ya definido con anterioridad) mediante la denominada Directiva *Linking* (2004/101/CE).

Desde el punto de vista de los agentes implicados, es un sistema *downstream* basado en el control de las fuentes emisoras, el cual es poco eficiente operativa y económicamente para los sectores difusos (del Río y Labandeira, 2009). De ahí que este sistema optara por no incluir estos sectores (residencial y transporte). Sin embargo, existen características que lo posicionan como un sistema más sencillo de aplicar, por el hecho de que los emisores deben controlar sus propias emisiones, permitiendo una mejor identificación de opciones de reducción.

El mercado europeo de emisiones ha sido elogiado en numerosas ocasiones (véase, por ejemplo, Ellerman y Joskow, 2008), al constituir una de las primeras aplicaciones en el mundo de instrumentos de precios para la mitigación de emisiones de GEI. Actualmente el MECE marca la referencia global en cuanto a precio de emisión de CO₂ y ha conseguido la internalización de los costes de emisiones por parte de las empresas. Con esta iniciativa que facilitó el cumplimiento de los objetivos de Kioto, la UE se postuló como ejemplo a seguir, ejerciendo un papel de demostración al resto del mundo (Perdan y Azapagic, 2011). De hecho, la Unión Europea ha dado muestras recientemente de mantener e incluso potenciar este mercado, incorporando a nuevos sectores, como la aviación, retirando permisos del mercado para estabilizar los precios, o estableciendo una subasta obligatoria para algunos sectores como el eléctrico.

El MECE fue inicialmente definido temporalmente en dos periodos: uno de prueba o aprendizaje, que abarca de 2005 a 2007; y otro, el periodo II, que coincide con el Protocolo de Kioto, de 2008 a 2012. Posteriormente se diseñó el tercer periodo post-Kioto o periodo III (2013-2020), recogido en la Directiva 2009/29/CE. En los dos primeros periodos cada país tenía la potestad de la asignación de permisos de emisión a las instalaciones mediante los Planes Nacionales de Asignación (PNA). En el tercer periodo, sin embargo, el reparto está centralizado desde la UE.

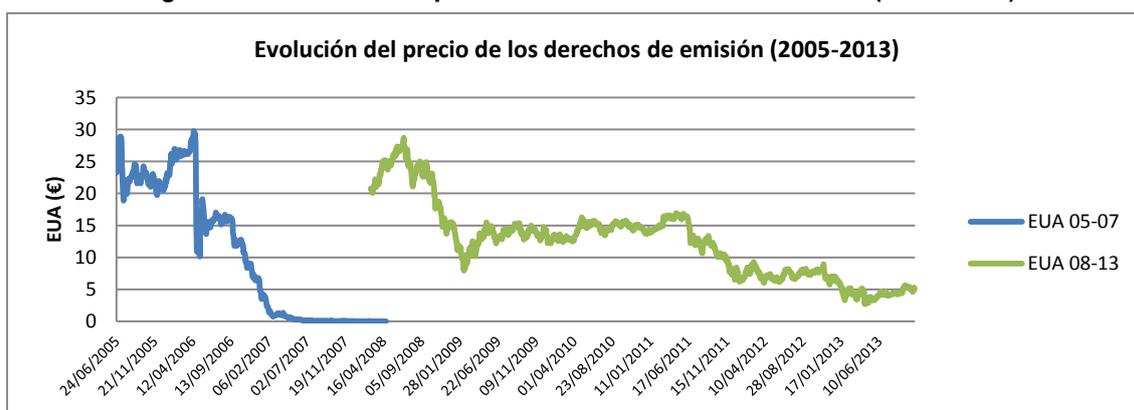
Durante el primer periodo se consiguió crear un precio de las emisiones de CO₂. Aunque debido a la falta de datos históricos de las emisiones, en este periodo se introdujo en el mercado un mayor número de EUAs que la demanda existente por esas fechas. Esto provocó que en 2007 los precios cayeran prácticamente a cero (ver Figura 6). Sin embargo, además de la puesta en marcha del mercado, ya de por sí un éxito, también se consiguió un registro de las emisiones de GEI de las instalaciones industriales, muy importante para establecer los límites en el siguiente periodo. Existen varias estimaciones de la reducción de emisiones en este periodo, debido a la dificultad de fijar un contrafactual. Anderson y Maria (2011) por ejemplo cifran la reducción de emisiones de GEI en el primer período en un 2,8%.

El segundo periodo recuperó un precio elevado para el EUA debido a la imposibilidad de hacer *banking* (guardar los derechos para periodos posteriores) entre la fase I y II. A esto también contribuyó que la asignación gratuita de derechos se redujera al 90% de las emisiones previstas en favor de las subastas. Sin embargo, a finales de 2008, debido a la crisis económica las emisiones cayeron más de lo previsto (450 Mt CO₂). Esto volvió a dar lugar a un gran superávit de emisiones, que provocó la caída del precio de los derechos (Aldy y Stavins, 2012; Neuhoff et al., 2012). Además, en 2012 se añadió el sector aviación a través de la Directiva 2008/101/EC, aunque en abril de 2013 este sector fue parcialmente suspendido del sistema para los países de fuera de Europa, debido a las presiones internacionales. Actualmente existe un acuerdo con la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO) para desarrollar en 2016 un mecanismo basado en mercado para la aviación internacional.

Con la entrada en el tercer periodo, a partir de 2013, el MECE cambió significativamente en varios aspectos. El sistema de asignación de derechos de emisiones dio paso a la subasta como método, en teoría, predominante. En concreto, el sector eléctrico no recibirá asignación de derechos gratuitos y en los sectores industriales los derechos se asignarán de forma gratuita hasta un punto de referencia (*benchmarking*). Las instalaciones que cumplan con los topes de emisiones de referencia (y por lo tanto se encuentren entre las instalaciones más eficientes de la UE), no necesitarán recurrir de manera tan significativa a las subastas. Las instalaciones menos eficientes tendrán mayor escasez de derechos de emisión y la opción de o bien reducir sus emisiones o comprar derechos de emisión adicionales para cubrir su exceso de emisiones. Por otro lado, también se establece un factor de reducción del techo de asignación gratuita de derechos a escala comunitaria, del 1,74% anual. Además se unieron nuevos sectores al sistema (aluminio, amoníaco y petroquímica).

Actualmente el MECE se encuentra en una situación de incertidumbre debido al superávit de derechos de emisión en el mercado debido a las causas anteriormente mencionadas. Esto está provocando una caída de los precios, comprometiendo así los objetivos del mercado (ver Figura 7). Por ello, la Comisión Europea ha aprobado recientemente la iniciativa de posponer la subasta de parte de los derechos que estaba previsto, es el llamado *backloading*, posponer la subasta de 900 millones de EUAs en los primeros años de la fase 3. Asimismo existe un debate abierto sobre reformas estructurales para fortalecer el mercado (véase CE, 2012). Como parte de la propuesta recientemente presentada sobre el marco de políticas climáticas y energéticas para 2030, ya comentada con anterioridad, se presentaron medidas para estabilizar el MECE de cara a la cuarta fase, a partir del 2021.

Figura 7. Evolución del precio de los derechos de emisión (2005-2013)



Fuente: SendeCO2

4.2.2. Análisis del MECE

Los instrumentos económicos pueden variar en su eficacia y efectos en función de su diseño y aplicación. El MECE lleva operando durante un tiempo lo suficientemente amplio como para extraer conclusiones cuantitativas y cualitativas sobre su desarrollo. En este apartado se recogen diversos estudios que inciden en su funcionamiento y tienen en común el tratamiento de una serie de cuestiones:

- Beneficios caídos del cielo (*Windfall Profits*)
- Volatilidad del precio
- Sobreasignación de derechos
- Efecto asignación (*endowment effect*)
- La fuga de carbono

A continuación nos ocupamos brevemente de cada uno de estos asuntos.

> *Windfall profits*

Una de las mayores controversias que se dan cuando se implantan sistemas de comercio de emisiones con asignación gratuita de permisos (*grandfathering*), con el objetivo facilitar su puesta en marcha, es la posible obtención de posibles beneficios caídos del cielo por parte de las empresas participantes, particularmente los generadores de electricidad. Así, algunos comentaristas han criticado que el sector de generación eléctrica incluya el precio del CO₂ en los precios de la electricidad, repercutiendo estos costes en los usuarios eléctricos y en la sociedad cuando, por otra parte, los derechos de emisión han sido asignados gratuitamente. Lo cierto es que los derechos de emisión representan un coste de oportunidad por lo que deben ser reflejados en el precio.

El problema es que, durante el primer periodo del MECE, el sector eléctrico se encontraba en transición a la liberalización en varios países. Esto es relevante porque los mercados eléctricos se comportarán de manera diferente dependiendo de si están regulados o no. Así, los mercados eléctricos regulados no pueden transferir los costes de las emisiones cuando estas son gratuitas, frente al caso de los liberalizados. Por ejemplo, en Alemania y Países Bajos entre un 60-100% de los costes de oportunidad de los EUAs son transferidos a los precios mayoristas de electricidad (Sijm et al., 2006). Ellerman y Joskow (2008) también explican que es incorrecto creer que los precios deban recoger el coste "0" del CO₂, en lugar del coste de oportunidad. Además, Laing et al. (2013) argumentan que la transferencia del precio del CO₂ al precio final de la electricidad beneficia a las energías renovables y a los generadores con bajos niveles en emisiones. Puesto que muchos EM apoyaron la promoción de las energías renovables mediante sistemas de contratos a largo plazo basados en primas fijas (*feed-in tariffs*), el mecanismo de apoyo a las renovables disminuye su coste con el incremento de los precios de la electricidad.

A otros sectores también se les atribuyen beneficios extraordinarios. *Sandbag*, organización sin ánimo de lucro dedicada a investigar el correcto funcionamiento de los mercados de carbono, se ha aproximado a los beneficios extraordinarios que las empresas europeas obtienen a través del MECE. *Sandbag* asegura que, debido a la recesión y a la sobreasignación de derechos, algunos de los mayores contaminadores de Europa han recibido millones de derechos por encima de lo que necesitaban. La organización identifica a las diez compañías más favorecidas por el MECE, que están dentro de los sectores del acero y cemento. Calcula que entre 2008 y 2011 estas diez compañías acumularon 307 millones de derechos de superávit, con los cuales estiman que podrían alcanzar unos beneficios potenciales de 3.700 millones de Euros.

> *Volatilidad del precio*

La Figura 8, en la que se refleja la evolución de los precios de los EUAs, muestra dos fenómenos significativos durante el primer periodo: en primer lugar, la caída del precio a partir de finales de 2006 debido a la ausencia de *banking*. El otro fenómeno tiene que ver con las expectativas iniciales en cuanto al precio, que sufrieron una importante modificación al conocerse los datos de las emisiones de GEI en abril de 2006, inferiores a los esperados (Chevallier y Alberola, 2009; Ellerman y Joskow, 2008).

La explicación por la que los precios mostraron valores tan altos en 2005 se puede achacar a un cúmulo de factores: invierno frío y verano seco y altos precios del gas y petróleo que hicieron atractivo continuar utilizando carbón. Otro factor considerado para este elevado precio inicial es el desequilibrio entre compradores y vendedores. El comienzo del segundo periodo se caracterizó por unos límites de emisión más ajustados y por un mercado alcista de los combustibles fósiles, así como un interés especulativo creciente con los EUAs (precios de 25-30€).

Después de la caída de los mercados financieros y de los precios de las materias primas en el segundo semestre de 2008, asociados a la fuerte recesión económica, el precio cayó 10€. Posteriormente se mantuvo en un equilibrio de 15€ desde finales de 2009 y durante 2010. En verano de 2010 se hizo evidente que la crisis económica en Europa iba a durar mucho más de lo esperado, y que el excedente acumulado de los permisos de emisión no desaparecería a corto plazo. A principios de 2011 se puede apreciar el impacto del accidente nuclear en la central de Fukushima Daiichi, que provocó un pequeño aumento del precio. Poco después, la ambiciosa propuesta de Directiva sobre Eficiencia Energética daría lugar a reducciones adicionales de emisiones en el MECE, por lo que el precio de los EUAs se redujo a niveles de 7€. Durante el primer trimestre de 2013 el precio se mantuvo entre 4-5€, ante las expectativas por las negociaciones sobre la retirada de derechos del mercado, el *backloading*. En abril de 2013 el Parlamento europeo rechazó la medida, provocando la caída del precio del EUA hasta menos de

3€. Finalmente en julio de 2013 se aprobó la propuesta, lo que volvió a situar los precios por encima de los 5€.

Sin embargo, a pesar del gran excedente de derechos, los precios no cayeron a cero. Esto podría ser el resultado de una estrategia a medio plazo de comprar y guardar derechos para utilizarlos/venderlos cuando estos escaseen, o también como resultado de expectativas puestas en las propuestas de reforma del MECE que se analizarán en el siguiente apartado.

Esta volatilidad de precios, así como los reducidos precios de las EUAs, perjudica el objetivo del mercado, ya que impide crear incentivos para la inversión de tecnologías de bajas emisiones, en eficiencia energética, cambio de combustibles, etc. Las causas de estos precios, además de las ya comentadas en este apartado, tienen que ver con otros asuntos relacionados con el diseño y funcionamiento del mercado, a que nos referiremos a continuación.

> *Sobreasignación de derechos*

La posible sobreasignación de derechos es un gran problema en cualquier mercado de emisiones, y en particular en el MECE. Cuando los objetivos no son ambiciosos, pequeñas variaciones recesivas en el marco de referencia pueden provocar superávit de derechos. De hecho, en el MECE las reducciones esperadas para el periodo de prueba eran solo del 1-2%. Esta baja ambición en las reducciones se debe a la dificultad de modelizar y estimar las emisiones del contrafactual, tal y como indican Ellerman y Joskow (2008). A este fenómeno también pudieron contribuir presiones políticas en algunos EM por parte de sectores interesados para elevar las asignaciones. Hay que tener en cuenta que la primera fase del MECE (2005-2007) se trataba del periodo de prueba. Por lo tanto, el verdadero fin no era tanto una gran reducción de emisiones, sino la puesta en marcha de este sistema de manera coordinada en 27 países.

El problema de la sobreasignación de EUAs se espera resolver en el tercer periodo y, en cierta medida, se intentó acotar en el segundo, con la disminución de las asignaciones gratuitas en cada país. Sin embargo, una de las consecuencias de la crisis económica que se dio durante el segundo periodo fue la bajada de las emisiones esperadas con respecto al marco de referencia, por lo que muchas instalaciones se encontraron con excesos de derechos gratuitos.

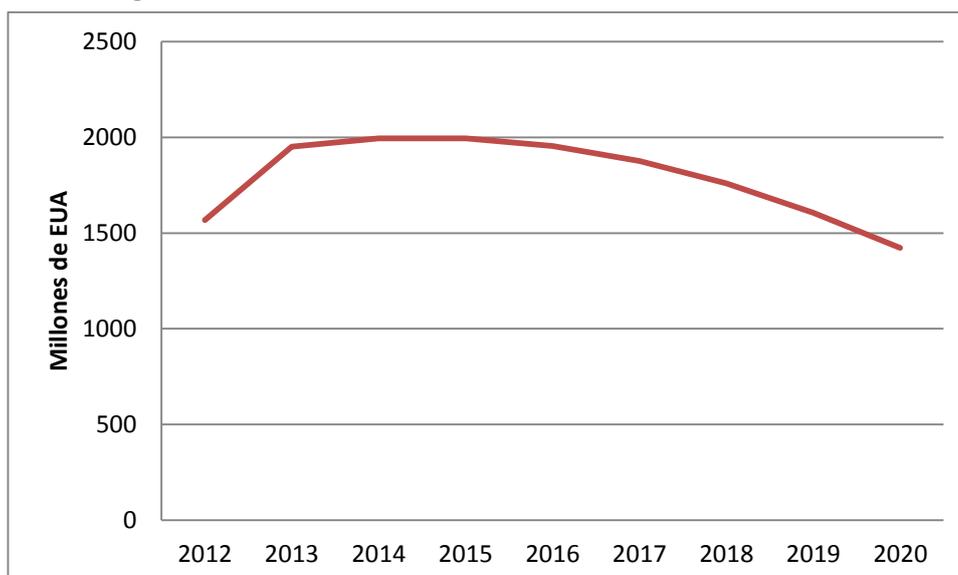
Neuhoff et al. (2012) reflexionan sobre los excedentes actuales de derechos de emisión y mantiene que probablemente aumenten a 2,7 millones de toneladas en 2013/2014. Sin embargo, el precio del carbono se ha mantenido durante un período relevante cerca de 15 Euros/tonelada, lo que atribuyen a la posibilidad de *banking* para el tercer periodo en combinación con la rebaja de las asignaciones gratuitas esperadas a partir de 2013. Asimismo, interpretan la bajada del

precio a 7 Euros/EUA en 2011 como consecuencia de las escasas expectativas recientes sobre la escasez de permisos. Desde 2008, el excedente de la asignación de derechos en el MECE se ha estado acumulando a causa en parte a la crisis financiera y económica, ya que la producción industrial y eléctrica cayó por debajo de los límites esperados. Además, hay que tener en cuenta las importaciones de créditos internacionales (MDL y JI), que computan como derechos en el MECE y se estima que se alcanzarán 1.680 millones de toneladas equivalentes para 2013/2014. Asimismo, los cálculos de este trabajo indican que el pico de exceso de derechos se dará en 2013/2014, para después ir disminuyendo según la evolución de las políticas climáticas en los próximos años.

Por su parte Morris (2012) estima que en 2011 se produjo un exceso de derechos de 392 millones, un 78% de ellos pertenecientes a los sectores de acero y cemento. Parte de la industria, cuando las empresas son pequeñas, declina retener esos derechos para hacer frente a futuras exposiciones a la incertidumbre sobre el precio del CO₂. Otras, sin embargo, mantienen los derechos que necesitan y venden, en los meses siguientes a la asignación, los sobrantes. Aquí influyen varios factores como los *International Financial Reporting Standards* (IFRS), que permiten mantener en los libros de cuentas los permisos gratuitos con un valor de cero, no dañando los beneficios y fomentando el *banking*. Además, la crisis económica provocó que empresas pasaran por apuros de liquidez, por lo que la venta de derechos fue una estrategia a seguir. Los bancos, por su parte, siguen la estrategia de comprar derechos para venderlos como contratos a futuros (*forward*) y evitar así la exposición a la volatilidad del precio. Los mayores usuarios de estos productos son los generadores eléctricos, para así evitar el riesgo de altos precios de los derechos, ya que no necesitan desembolsar su propio capital.

Un reciente estudio de Hermann y Matthes (2012) también analiza los datos de excedentes del MECE, y simula su evolución en el periodo III y su implicación en los precios. El trabajo calcula un excedente de casi 1.000 millones de derechos entre 2008 y 2011. Este excedente, junto con el que se acumule en 2012, afectará al periodo III, llevando al MECE a alcanzar en 2013 un exceso de derechos de aproximadamente 2.000 millones de toneladas de CO₂ según los autores, para a continuación bajar hasta los 1.400 millones en 2020 (ver Figura 8). Esta cifra es, en todo caso, un poco más conservadora que la del estudio de (Neuhoff et al., 2012).

Figura 8. Acumulación de excedentes de derechos en la fase III



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Hermann y Matthes (2012)

Además de los factores anteriormente mencionados, es necesario referirse una vez más a la entrada de derechos de emisión internacionales gracias a la ya mencionada Directiva *Linking*. Esta posibilidad permite menores costes de mitigación ya que involucra más posibilidades de reducción de GEI a menores costes al utilizar de los mecanismos del Protocolo de Kioto (CDM y JI). Para Jaffe y Stavins (2008) esta posibilidad puede tener impactos distributivos, creando perdedores y ganadores. Una de las críticas se refiere a los posibles incumplimientos de la condición de adicionalidad. Esta condición se refiere a que los créditos de proyecto deberían darse solo en casos en que se reduzcan efectivamente las emisiones de GEI (tomando como referencia las que ya se reducirían en caso de no ejecutarse este tipo de proyectos). En cualquier caso, el exceso de oferta de permisos que provocaría este fenómeno se gestiona a través del bajo porcentaje permitido de este tipo de mecanismos (13% para el segundo periodo).

En resumen, la sobreasignación tiene un gran impacto en los mercados de derechos de emisiones, contribuyendo a reducir el precio de los derechos, y con ello impide la generación de incentivos para la mitigación de emisiones de GEI. Por ello, esta cuestión se encuentra siempre en las discusiones de reforma y mejora del MECE, a los que nos referiremos más adelante.

> *Efecto asignación*

Un elemento fundamental para estimar el impacto que este tipo de mercados tienen en su ámbito de aplicación, es conocer la medida en que el coste de oportunidad de las emisiones de GEI es recogido por las distintas industrias. En efecto, si bien el supuesto habitual es que las industrias valoran sus emisiones de GEI a precios de mercado, independientemente de cómo han adquirido los permisos de emisión, existen algunos indicios que pueden hacer sospechar de un

“efecto asignación”, esto es, el hecho de que el coste de oportunidad asignado a las emisiones dependa del método de asignación.

Si bien la teoría económica, por ejemplo (Coase, 1960; Montgomery, 1972), supone que los mercados basados en sistemas de límite y comercio consiguen reducir las emisiones al menor coste independientemente de cómo los derechos estén inicialmente repartidos (o adquiridos), existen algunos indicios que pueden hacer sospechar de un efecto asignación. Estudios como el de Fowle y Perloff (2008) para RECLAIM, demuestran que se pueden dar casos en los que el reparto condiciona las emisiones de las instalaciones a regular (aunque en este caso los autores no hallan indicios del efecto asignación).

Hay varias razones por las que las que puede no producirse independencia de las asignaciones iniciales de derechos, entre otras la presencia de costes de transacción y las imperfecciones del mercado. Fowle (2010) muestra evidencias de esto en el mercado del NOx, aunque Ellerman y Reguant (2008) no detectan indicios de este fenómeno en un estudio para el sector de generación eléctrica (a base de carbón) afectado por el MECE en España.

> *Fuga de emisiones (leakage)*

Tal y como se ha comentado, otra de las mayores preocupaciones al implantar un mercado como el MECE es la posibilidad de que este impacte negativamente en la competitividad de las instalaciones emisoras de GEI cubiertas por el MECE y, como consecuencia, estas trasladen su actividad fuera de la UE para evitar la nueva regulación. Esta inquietud se ha intentado solucionar en la revisión de la Directiva 2009/29/CE. La nueva Directiva identifica los sectores expuestos a fuga de emisiones a través de los costes adicionales que conllevan a una instalación industrial la aplicación del MECE, así como por la intensidad comercial con los países de fuera de la UE. La Directiva modificada, que contiene una serie de medidas para mejorar el sistema, provee al MECE de mecanismos para evitar la fuga de carbono en el tercer periodo, para mitigar el efecto negativo de la disminución progresiva de la asignación gratuita de derechos.

De acuerdo con la Directiva, los sectores expuestos a la fuga de carbono recibirán los derechos de emisión hasta un tope que cubra las emisiones de referencia de la media del 10% de las instalaciones más eficientes del sector (*benchmarking*) y no se les aplicará el factor de reducción (1,74% anual) de derechos asignados gratuitamente. Esta medida debe ser revisada cada cinco años. La primera ha sido publicada en 2010 (CE, 2010) e incluye a la mayoría de la industria pesada. La próxima lista de instalaciones incluidas debe estar preparada para finales de 2014.

Estas medidas para paliar el problema de fuga de emisiones fueron analizadas por diversos estudios, que en general coinciden en que no se reconoce correctamente a los sectores en peligro de fuga, provocando una sobreprotección en la industria europea. Con anterioridad se había estudiado el efecto regulatorio en la industria americana (Eskeland y Harrison, 2002; Levinson y Taylor, 2008), sin obtener evidencia de deslocalización de la industria, al existir otros costes (materias primas, laborales, etc.) con mayor peso para tomar estas decisiones.

A nivel general, una de las aproximaciones al problema de la fuga de carbono es la de Böhringer et al. (2014), que estudian el impacto de las políticas unilaterales de reducción de emisiones. El análisis concluye que un precio uniforme es más efectivo que otros métodos subóptimos que pueden acarrear fenómenos de pérdida de competitividad en el citado contexto de políticas unilaterales. Por otra parte existen argumentos que justifican la asignación gratuita de permisos como alternativa ante la fuga de carbono (Schmidt y Heitzig, 2014). Sin embargo, la asignación gratuita ya que debe mantenerse lo suficiente en el tiempo para que se invierta en la mejora de procesos menos contaminantes y se desincentive la deslocalización.

Centrándonos en el caso europeo, Martin et al. (2013) estudian el efecto de las medidas contra la fuga de emisiones en el MECE. El trabajo se basa en entrevistas telefónicas realizadas a los administradores de casi 800 empresas manufactureras en seis de los países de la UE. Su análisis encuentra correlación entre la intensidad de emisión de CO₂ y el riesgo de fuga, pero no encuentra relación entre la intensidad de intercambio (comercio) con países de fuera de la UE. Esta investigación clasifica las diferentes industrias exentas de subasta por el riesgo de fuga de carbono, según la Directiva, por intensidad de carbono e intensidad de comercio. Pues bien, una de sus conclusiones es que, con los criterios de la revisión de la Directiva, se está protegiendo a instalaciones que no presentan riesgo de fuga. Por ello propone retirar del riesgo de fuga de carbono a instalaciones con moderada intensidad de carbono y del comercio ($5\% < IC$ (intensidad de carbono) $\leq 30\%$ y $10\% < TI$ (intensidad de comercio) $\leq 30\%$), así como a instalaciones con $IC \leq 5\%$. Según sus estimaciones, ello no aumentaría el riesgo de fuga y podría incrementar en 6.700 millones de € los beneficios de las subastas.

Esta falta de eficiencia en las medidas contra la fuga de emisiones se atribuye a unas compensaciones imperfectas y a lo inapropiado de la medida de la intensidad comercial como criterio de riesgo de deslocalización. El estudio propone, para mejorar el sistema, la asignación a nivel instalación de los permisos gratuitos como medida más eficiente. Otros autores como Sato et al., (2007) también plantean utilizar otros datos para calcular el impacto de la fuga de emisiones en las instalaciones cubiertas por el MECE, en vez de los considerados en la reforma de la Directiva.

Pero el impacto negativo del MECE en la competitividad no solo se da en las empresas que participan en el sistema. Existen efectos, como la subida del precio de la electricidad por los costes de CO₂, que pueden perjudicar a compañías no pertenecientes al MECE. Un ejemplo de esto se puede encontrar en el sector del aluminio. Sartor (2013) se ocupa de este fenómeno en el sector del aluminio primario y sugiere que, aunque el incremento de la electricidad ha tenido un efecto crítico en la competitividad de las plantas de aluminio primario de la UE, no existe evidencia de fuga de carbono en los datos de los primeros seis años del MECE. El estudio ha escogido el sector del aluminio por ser intensivo energéticamente, fundamentalmente en el uso de energía eléctrica. Este sector, al no pertenecer al MECE en el periodo analizado, no recibió derechos gratuitos. Sijm et al. (2006) llegan a una conclusión similar.

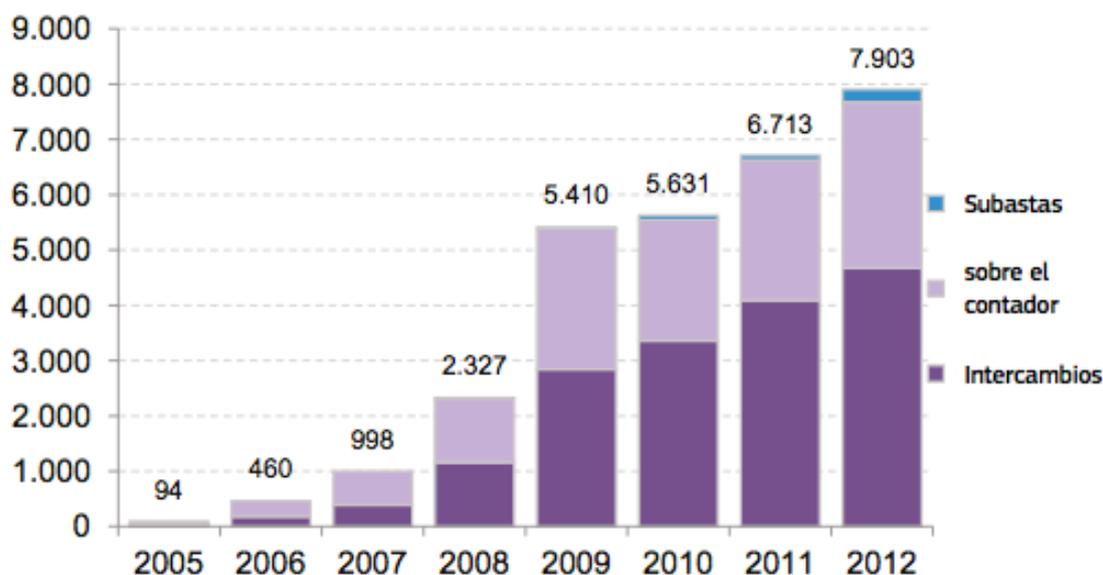
En el caso español Santamaría et al. (2014) realizan un análisis de los sectores más intensivos en emisiones para España, estudiando el impacto de la situación geográfica (costa o interior) de un sector en su exposición a la fuga de emisiones. Esto se lleva a cabo mediante un modelado *bottom-up* por sectores (cemento, acero, refino). Sus conclusiones muestran que sí existe un agravamiento de la competitividad para las industrias en zonas costeras.

En resumen, gran parte de los estudios referidos muestran la falta de efectividad en las medidas contra la fuga de emisiones, posiblemente por presiones de la industria intensiva en emisiones directas o indirectas de GEI o por la citada preocupación por mantener la competitividad de las empresas europeas con respecto a las de fuera de Europa. Por tanto, parece recomendable considerar esta cuestión y revisar las medidas contra la fuga de carbono y su alcance, considerando también a sectores colateralmente afectados por el MECE.

4.2.3. La reforma del MECE

En las secciones anteriores nos hemos referido a algunos problemas asociados a la aplicación de mercados de comercio de emisiones en general y, en particular, en el caso de las emisiones europeas de GEI. Esto ha llevado a diversas propuestas de reforma, que han cristalizado recientemente en una propuesta de la Comisión Europea que describimos a continuación. No obstante, no nos gustaría dar una imagen excesivamente negativa del MECE ya que, como apuntamos en el apartado 4.2.1, son muchas las luces. Por ejemplo, la Figura 9 muestra cómo las transacciones en el MECE están en constante aumento.

Figura 9. Volumen de transacciones en el MECE (en millones de toneladas)



Fuente: Comisión Europea

En la reciente propuesta de la Comisión sobre políticas climáticas y energéticas para 2030, ya discutida con anterioridad, se plantean medidas para estabilizar y mejorar el MECE (COM(2014) 20/2). En esta propuesta de la CE se fija una meta de reducción de emisiones para el MECE en 2030 del 43% en comparación con las emisiones de 2005. Además se propone aumentar el factor de reducción de derechos asignados gratuitamente, del 1,74% anual actual, al 2,2%. Sin embargo esta medida no parece suficiente para disminuir el exceso de derechos en el mercado, contabilizados en 2.000 millones actualmente, y con perspectivas de aumento hasta los 2.600 millones para 2020.

Para corregir los desequilibrios actuales del sistema, provocados entre otros factores por la crisis económica que redujo la actividad industrial de manera no prevista, y también para futuros imprevistos, se plantea la introducción de una reserva para la estabilidad del mercado con normas auto-reguladoras. Esta reserva entraría en funcionamiento en la fase 4 (2021), y su actividad se basaría en hacer pasar a reserva el 12% de todos los derechos en circulación en el año x-2, publicando estos datos en el año x-1, salvo en el caso de que el número de derechos a pasar a reserva fuera inferior a 100 millones. Si en un año los derechos en circulación son inferiores a 400 millones, se liberarían 100 millones de la reserva. Con esta propuesta se pretende mantener un precio razonable de la tonelada de CO₂ para fomentar las tecnologías bajas en carbono y, por tanto, el cumplimiento con los objetivos climáticos europeos.

Otro de los retos del MECE es la de crear un verdadero mercado internacional de carbono a través de la vinculación con los distintos mercados de carbono que están surgiendo alrededor del

mundo. Tal y como se puede apreciar en la Figura 10, existen diversos mercados de derechos de emisión a distintos niveles jurisdiccionales (supranacional, nacional o subnacionales).

Figura 10. Proliferación de los distintos ETS entre 2005 y 2015



Fuente: International Carbon Action Partnership

Para favorecer el diálogo entre los distintos mercados de carbono se ha creado el *International Carbon Action Partnership* (ICAP). Un foro para intercambiar conocimientos y experiencias entre los distintos miembros. En su informe más reciente (ICAP, 2014), se describen cada uno de los mercados de carbono existentes y en proyecto o en consideración. Los distintos mercados existentes cubren más o menos sectores, coincidiendo la mayoría en la generación eléctrica e industria. En cuanto a emisiones, de los seis GEI recogidos en la Convención Marco (CO₂, NO₂, PFCs, CH₄, HFC, SF₆), la mayoría solo cubre el CO₂.

Ante las dificultades, apuntadas en la Sección 3 del capítulo, para alcanzar un acuerdo internacional sobre mitigación de cambio climático, la vinculación de mercados de comercio de emisiones podría generar replicar, *grosso modo*, un mercado global. Esto sería el caso de permitirse el uso de permisos de diferentes mercados, con sujeción a ciertas reglas, en los distintos sistemas de comercio existentes. Uno de los ejemplos más relevantes de vinculación entre mercados de carbono es el acuerdo alcanzado en 2012 para relacionar el MECE con el mercado australiano, que se completaría en 2018 (si bien esto dependerá de la propia pervivencia del mercado australiano, actualmente en duda por el cambio de gobierno). La UE apuesta firmemente por este tipo de vinculaciones para fortalecer el propio mercado, obtener un precio de CO₂ más robusto internacionalmente y facilitar soluciones coste-eficientes a nivel global.

4.3. Actuaciones sobre sectores difusos

Como se explicó anteriormente, los sectores difusos son aquellos que no están cubiertos por el MECE, principalmente los sectores residencial y de transporte, y son responsables de cerca del 60% de las emisiones de la Unión Europea. Dentro del Paquete de Clima y Energía de la UE, las actuaciones sobre los sectores difusos se basan en la denominada *Effort Sharing Decision* (ESD) (Parlamento Europeo y Consejo de la UE, 2009), que establece objetivos anuales vinculantes de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en todos los sectores no incluidos en el MECE, excepto las emisiones marítimas internacionales y las relacionadas con el uso de la tierra, los cambios en el uso de la tierra y la silvicultura. De este modo, los principales sectores cubiertos son el uso de la energía en el transporte por carretera, el uso de la energía en los edificios y las emisiones de la agricultura. Otras fuentes incluyen las emisiones de las industrias menos intensivas en energía, las emisiones de metano de los residuos, las emisiones de procesos industriales y las emisiones fugitivas de los sectores energéticos (véase Tabla 3) (Forster et al., 2012).

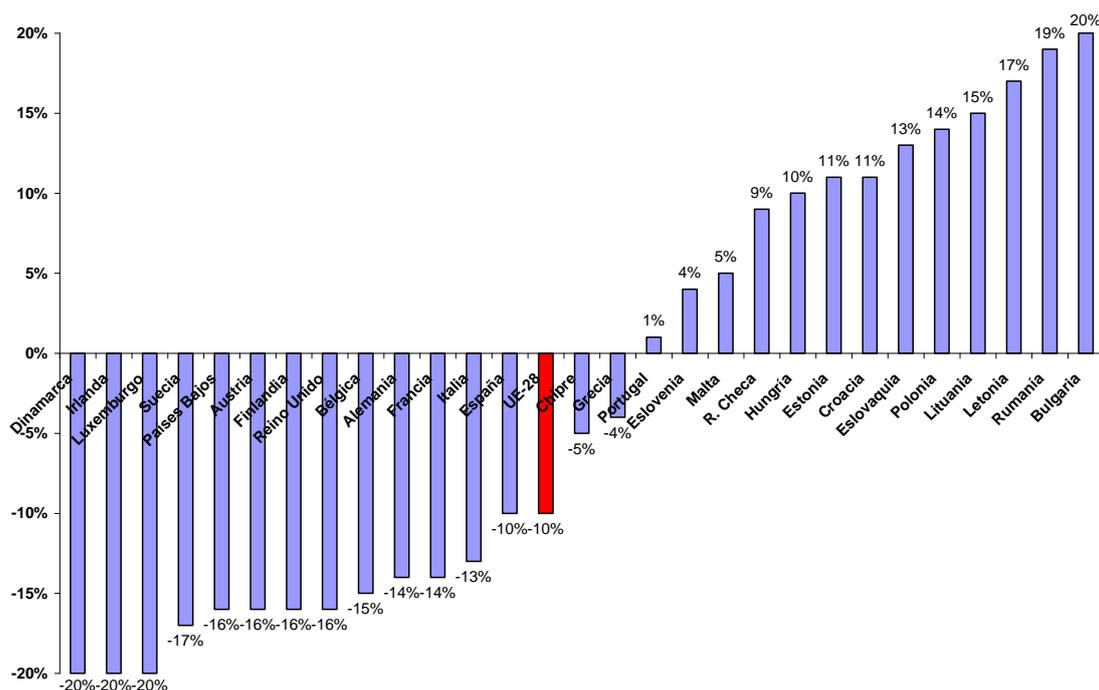
Tabla 3. Emisiones de GEI por sectores en el ámbito de la ESD. 2005

Sector	Millones de toneladas de CO2-equivalente
Sector energético	101,8 (3,79%)
Uso energético en la industria	167,4 (6,23%)
Uso energético en los hogares	498,6 (18,55%)
Uso energético en servicios y otros	262,2 (9,75%)
Uso energético en transporte	924,4 (34,39%)
Procesos industriales	122,6 (4,56%)
Residuos	146,6 (5,45%)
Agricultura	471,0 (17,52%)
Total	2.688

Fuente: Forster et al. (2012)

La ESD establece asignaciones de emisiones anuales para cada Estado Miembro en los sectores difusos, fijando la cantidad máxima anual de gases de efecto invernadero que puede emitir en cada año desde 2013 a 2020. Para ello, se establece un objetivo para 2020 de reducción del 10% en las emisiones de GEI en la Unión Europea con respecto a 2005, que se reparte entre los distintos Estados Miembros en función de su PIB *per capita*, de modo que los países más ricos tienen un objetivo de reducción por encima del 10%, mientras que los países más pobres pueden incrementar sus emisiones hasta un 20% (véase Figura 11).

Figura 11. Límites de emisiones de GEI en 2020 en relación a 2005 en la UE-28



Fuente: Parlamento Europeo y Consejo de la UE (2009) y elaboración propia

Los EM con un objetivo de reducción de emisiones deben asegurarse que sus emisiones en 2013 no superan su media anual en el período 2008-2010, mientras que los Estados a los que se les permite incrementar sus emisiones deben asegurarse de que en 2013 no excedan un nivel definido siguiendo una senda lineal desde 2009 a partir de la media anual de sus emisiones en el período 2008-2010. A partir de 2013, las asignaciones anuales de emisiones de cada país siguen una senda lineal hasta alcanzar su objetivo en 2020.

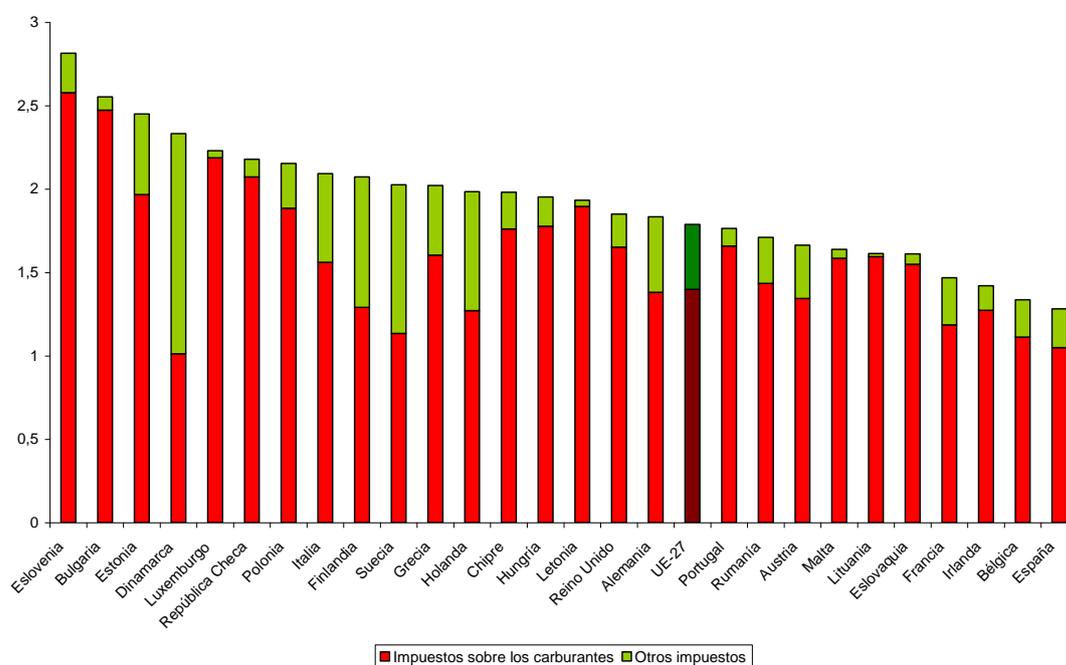
De todos modos, para incrementar la efectividad de las políticas de reducción de emisiones, se permite cierta flexibilidad en el cumplimiento de las asignaciones anuales de emisiones, de manera que cada EM puede incrementar hasta un 5% su asignación anual de emisiones, descontándola de la asignación del año siguiente. Por el contrario si un EM supera su objetivo anual de reducción de emisiones puede arrastrar a años siguientes (hasta 2020) la parte de su asignación anual que sobrepase sus emisiones en dicho año. Asimismo, bajo ciertas condiciones, durante el período 2013-2019 los Estados Miembros pueden transferir a otro EM hasta un 5% de sus asignaciones de emisiones anuales de un determinado año, así como utilizar MDL y Aplicación Conjunta (JI).

A diferencia de los sectores incluidos en el MECE, que están regulados a nivel europeo, la definición e implementación de las políticas y medidas necesarias para limitar las emisiones en los sectores difusos es responsabilidad de cada Estado Miembro. De todos modos, existen una serie de medidas a nivel de la UE que pueden facilitar la reducción de emisiones, como los

estándares de emisiones de CO₂ para los nuevos vehículos (Reglamento 443/2009 de 23 de abril de 2009), las restricciones a las emisiones de gases fluorados (Directiva 2006/40/CE y Reglamento 842/2006, de 17 de mayo de 2006) o las medidas para mejorar la eficiencia energética de los edificios (Directiva 2010/31/UE de 19 de mayo de 2010).

Dentro de las políticas aplicadas por los Estados Miembros para reducir sus emisiones en los sectores difusos destacan los impuestos sobre los productos energéticos (especialmente sobre los carburantes de automoción), que en 2011 representaron el 1,8% del PIB en la Unión Europea y el 4,6% de la recaudación impositiva (Comisión Europea, 2013), si bien su importancia relativa varía entre los distintos EM (véase Figura 12).

Figura 12. Impuestos sobre la energía como % del PIB en la UE-27. 2011.



Fuente: Comisión Europea (2013) y elaboración propia

En la Unión Europea, dentro de la denominada imposición indirecta armonizada, los impuestos sobre la energía se definen a partir de unos tipos impositivos unitarios mínimos (Directiva 2003/96/CE de 27 de octubre de 2003), que cada EM puede incrementar. A principios de la década de los noventa, tras la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro de 1992 (ver 3.2), la Comisión Europea trató de modificar este esquema para establecer dos tipos impositivos mínimos, uno en función del contenido energético de cada producto y otro en función de sus emisiones implícitas de CO₂, para de este modo contribuir a reducir las emisiones de GEI (Comisión Europea, 1992). Sin embargo, esta propuesta fue bloqueada por distintos países y no pudo ser aplicada debido a las reglas de unanimidad fiscal. De todos modos, en 2011, la Comisión Europea presentó una nueva propuesta de Directiva (Comisión Europea, 2011) con la

misma filosofía, estableciendo unos niveles impositivos mínimos en dos tramos, uno basado en el contenido contaminante de cada producto energético, con un tipo de gravamen de 20 euros por tonelada de CO₂ y que estaría vinculado a los precios del MECE, y otro basado en el contenido energético, que respondería a cuestiones recaudatorias y de seguridad energética. De este modo, este nuevo impuesto sobre las emisiones gravaría los consumos en los sectores difusos. Asimismo, se pretendía aplicar los nuevos niveles impositivos mínimos de manera gradual, estableciendo mecanismos de compensación para proteger la competitividad de la industria. Sin embargo, esta propuesta también se encuentra paralizada en la actualidad, de nuevo debido a la oposición de algunos Estados Miembros.

5. Conclusiones

En este capítulo nos hemos ocupado de las denominadas políticas de descarbonización o de mitigación de emisiones de GEI. Quizá convenga, en primer lugar, resaltar que dada la relevancia del problema del cambio climático y su indisoluble relación con el sector energético, cualquier análisis de los aspectos regulatorios, económicos y energéticos ha de abordar en profundidad este asunto. Es por ello que en este capítulo hemos optado por una aproximación general, asumiendo que en otros capítulos de la monografía se discutirán en más detalle las cuestiones relacionadas con las tecnologías energéticas convencionales, las renovables o la eficiencia energética.

Partiendo de lo precedente, hemos intentado cubrir un amplio número de cuestiones en este apartado. Desde la visión global del sector energético, a los instrumentos de política y a las características del problema a combatir. Hemos prestado una atención especial al MECE, al responder a muchas de las variables anteriores: responde a los compromisos internacionales de la UE, pretende ser un instrumento de política coste-eficiente, y permitir la transición hacia un sector energético y una economía europea baja en emisiones de GEI. El MECE es, asimismo, el principal esquema de política climática existente en la actualidad, lo que también explica nuestro énfasis en él.

Por supuesto, muchas cosas han sido poco desarrolladas o incluso ignoradas. En unas decenas de páginas es imposible presentar una discusión profunda sobre la problemática climática, los acuerdos internacionales, las políticas disponibles y su aplicación en la práctica. Cuando, además, se pretende explorar este asunto desde una perspectiva energética (y tecnológica) los temas complejos y amplios se acumulan y dificultan su tratamiento.

En pocas palabras, el capítulo ha intentado dejar clara la importancia del problema de las emisiones de GEI y de los fenómenos asociados de cambio climático. También nos hemos

referido a las grandes dificultades para el progreso de la negociación internacional en este ámbito. La política pública correctora se ha presentado, por ello, como una necesidad y se han descrito las muchas alternativas existentes en este campo. Se ha puesto un énfasis especial en las alternativas de precio, que consiguen tanto eficiencia estática como dinámica, pero sin caer en el 'fundamentalismo de los precios'. Otras opciones pueden ser necesarias para permitir el buen funcionamiento de los precios, aunque es importante tener en cuenta las sinergias e interacciones que se producen entre instrumentos.

Apenas hemos prestado atención a opciones fiscales para afrontar el cambio climático, muy exploradas ya por otros trabajos desarrollados por nosotros durante los últimos años. Esto es obviamente una limitación del estudio, al ser los impuestos instrumentos de precios y conseguir estos una recaudación potencialmente importante. No obstante, las limitaciones de espacio, la abundante literatura existente y las afinidades de la opción impositiva con los mercados de comercio de emisión, recomendaron esta elección.

El capítulo ha subrayado la importancia de los cambios estructurales del sector energético para cumplir los objetivos climáticos acordados. Para ello es obviamente necesario contar con instrumentos de política climática, como el MECE, que introduzcan los incentivos adecuados a ese efecto. Hemos observado la gran relevancia de la eficiencia energética, de las renovables, del CAC y, en menor medida, de la energía nuclear. Precisamente, por su ausencia en otros apartados de esta monografía hemos dedicado unas páginas al análisis de esa tecnología.

En suma, la descarbonización de nuestros sistemas energéticos es la única opción compatible para alcanzar los objetivos climáticos perseguidos que, aun en el caso de optar por limitar fuertemente las emisiones de GEI, implicarán impactos importantes sobre las sociedades humanas. Las dificultades de progreso en las negociaciones multilaterales climáticas recomiendan negociaciones a pequeña escala o incluso aproximaciones unilaterales a la mitigación de GEI. En el caso europeo se ha optado en gran medida por esta última opción, materializada en gran medida a través del MECE. En la actualidad un MECE que sea efectivo para conseguir un mix energético descarbonizado, a mínimo coste, y que ayude a progresar en la coordinación global de la mitigación de GEI debe ser una prioridad dentro de las estrategias de descarbonización.

Bibliografía

Aaheim, A., Aasen, M. (2008), What do we know about the economics of adaptation? CEPS Policy Brief, 150.

Aldy, J.E., Stavins, R.N. (2012), The Promise and Problems of Pricing Carbon Theory and Experience. *The Journal of Environment and Development*, 152–180.

AMPERE (2014), Assessing Pathways toward Ambitious Climate Targets at the Global and European Levels. A synthesis of results from the AMPERE project.

Anderson, B., Maria, C.D. (2011), Abatement and Allocation in the Pilot Phase of the EU ETS. *Environmental and Resource Economics*, 48, 83–103.

Bertoldi, P., Rezessy, S., Lees, E., Baudry, P., Jeandel, A., Labanca, N. (2010), Energy supplier obligations and white certificate schemes: Comparative analysis of experiences in the European Union. *Energy Policy*, 38, 1455–1469.

Böhringer, C., Lange, A., Rutherford, T.F. (2014), Optimal emission pricing in the presence of international spillovers: Decomposing leakage and terms-of-trade motives. *Journal of Public Economics*, 110, 101–111.

Buob, S., Stephan, G. (2011), To mitigate or to adapt: How to confront global climate change. *European Journal of Political Economy*, 27, 1-16.

Butler, J., Montzka, S. (2013), The NOAA annual greenhouse gas index. National Oceanic & Atmospheric Administration. U.S. Department of Commerce.

Chevallier, J., Alberola, E. (2009), Banking and borrowing in the EU ETS: An econometric appraisal of the 2005-2007 intertemporal market. *International journal of energy, environment, economics : IJEEE*.

Coase, R. (1960), The Problem of Social Cost. *Journal of Law and Economics*, 3, 1–44.

Comisión Europea (1992), Proposal for a Council Directive introducing a tax on carbon dioxide emissions and energy. COM (92) 226 final. Bruselas.

Comisión Europea (2010), Commission Decision of 24 December 2009 determining, pursuant to Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council, a list of sectors and subsectors which are deemed to be exposed to a significant risk of carbon leakage (notified under document C(2009) 10251). Bruselas.

Comisión Europea (2011), Proposal for a Council Directive amending Directive 2003/96/CE restructuring the Community framework for the taxation of energy products and electricity. Bruselas.

Comisión Europea (2012), Estado del mercado europeo del carbono en 2012. COM(2012) 652 final. Bruselas.

Comisión Europea (2013), Taxation trends in the European Union. 2013 Edition. Publications Office of the European Union, Luxemburgo.

Croci, E. (2005), The economics of environmental voluntary agreements, en Croci, E. (ed.), The Handbook of Environmental Voluntary Agreements. Springer, Berlín.

Davis, L.W. (2012), Prospects for Nuclear Power. Journal of Economic Perspectives, 26, 49–66.

del Río, P. (2005), Analysing the factors influencing clean technology adoption: a study of the Spanish pulp and paper industry. Business Strategy and the Environment, 14, 20-37.

del Río, P., Labandeira, X. (2009), El Sistema Europeo de Comercio de Emisiones: Diseño, Funcionamiento y Perspectivas, en Becker, F., Cazorla, L., Martínez- Simancas, J. (eds) Tratado de Regulación del Sector Eléctrico. Editorial Aranzadi, Madrid.

Delarue, E., Meeus, L., Belmans, R., D'haeseleer, W., Glachant, J.-M. (2011), Decarbonizing the European Electric Power Sector by 2050: A tale of three studies. Working Paper 03. Loyola de Palacio Programme on Energy Policy, Florencia.

Economics for Energy (2011), Potencial económico de reducción de la demanda de energía en España. Economics for Energy, Vigo.

Ekins, P., Speck, S. (2011), Environmental Tax Reform: A Policy for Green Growth. Oxford University Press, Oxford.

Ellerman, A.D., Joskow, P.L. (2008), The European Union's emissions trading system in perspective. Pew Center on Global Climate Change Arlington, VA.

Ellerman, A.D., Joskow, P.L., Harrison Jr, D. (2003), Emissions trading in the US. Pew Centre on Global Climate Change.

Ellerman, A.D., Reguant, M. (2008), Grandfathering and the Endowment Effect An Assessment in the context of the Spanish National Allocation Plan. Working Paper 18, MIT-CEEPR.

Eom, J., Edmonds, J., Krey, V., Johnson, N., Longden, T., Luderer, G., Riahi, K., Van Vuuren, D.P. (2013), The impact of near-term climate policy choices on technology and emission transition pathways. Technological Forecasting and Social Change.

Eskeland, G.A., Harrison, A.E. (2002), Moving to Greener Pastures? Multinationals and the Pollution Haven Hypothesis, Working Paper 8888. National Bureau of Economic Research.

Fankhauser, S., Hepburn, C., Park, J. (2010), Combining multiple climate policy instruments: how not todo it. Climate Change Economics, 1, 209-225.

Foro Nuclear (2013), Foro Nuclear: Resultados y perspectivas nucleares 2012. Madrid.

Forster, D., Okamura, S., Wilkins, G., Morris, M., Scott, P., Kuikman, P., Lesschen, J.P., Gardiner, A., Boermans, T., Grözinger, J., Eichhammer, W., Reichardt, C. (2012), Next phase of the European Climate Change Programme: Analysis of Member States action to implement the

Effort Sharing Decision and options for further community-wide measures. A report for DG Climate Action. AEA.

Fouquet, R., Pearson, P.J.G. (2006), Seven centuries of energy services: the price and use of light in the United Kingdom (1300-2000). *Energy Journal*, 27, 139-177.

Fowlie, M., (2010), Emissions Trading, Electricity Restructuring, and Investment in Pollution Abatement. *American Economic Review*. 100, 837–869.

Fowlie, M., Perloff, J.M. (2008), Distributing pollution rights in cap-and-trade programs : are outcomes independent of allocation? CUDARE Working Paper Series 0968R. University of California at Berkeley, Department of Agricultural and Resource Economics and Policy.

Gillingham, K, Newell, R.G., Palmer, K. (2009), Energy efficiency economics and policy. *Annual Review of Resource Economics*, 1, 597-620.

Goulder, L.H., Stavins, R.N., (2011), Challenges from state-federal interactions in US climate change policy. *American Economic Review*, 101, 253-257.

Grazi, F., van den Bergh, J.C.J.M. (2008), Spatial organization, transport, and climate change: comparing instruments of spatial planning and policy. *Ecological Economics*, 67, 630-639.

Hall, B.H., Helmers, C., (2010), The role of patent protection in (clean/green) technology transfer. Working paper 16323, National Bureau of Economic Research.

Harris, G., Heptonstall, P., Gross, R., Handley, D. (2013), Cost estimates for nuclear power in the UK. *Energy Policy*, 62, 431–442.

Hermann, H., Matthes, F. (2012), Strengthening the European Union Emissions Trading Scheme and Raising Climate Ambition: Facts, Measures and Implications. Öko-Institut (para WWF y Greenpeace), Alemania.

ICAP (2014), Emissions Trading Worldwide, Status Report 2014. International Carbon Action Partnership. Berlín.

IEA (2011), *World Energy Outlook*. International Energy Agency, París.

IEA (2012a), *Energy Technology Perspectives 2012*. International Energy Agency, París.

IEA (2012b), *World Energy Outlook*. International Energy Agency, París.

IEA (2013a), *Tracking Clean Energy Progress 2013*. International Energy Agency. París.

IEA (2013b), *World Energy Outlook*. International Energy Agency. París.

IPCC (2011), *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC (2013), *Climate Change 2013. The Physical Science Basis*. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

- IPTS (2009), *Economic Assessment of Post-2012 Global Climate Policies*. Institute for Prospective and Technological Analysis. Bruselas.
- Jaffe, A.B., Stavins, R.N. (1994), The energy-efficiency gap. Wat does it mean? *Energy Policy*, 22, 804-810.
- Jaffe, J., Stavins, R.N. (2008), *Linkage of Tradable Permit Systems in International Climate Policy Architecture*. Working Paper 14432. National Bureau of Economic Research.
- Jägemann, C., Fürsch, M., Hagspiel, S., Nagl, S. (2013), Decarbonizing Europe's power sector by 2050 — Analyzing the economic implications of alternative decarbonization pathways. *Energy Economics*, 40, 622–636.
- Jakob, M., Marschinski, R., Hübler (2012), Between a rock and a hard place: a trade-theory analysis of leakage under production- and consumption-based policies. *Environmental and Resource Economics*, 56, 47-72.
- Joskow, P.L., Parsons, J.E. (2012), *The Future of Nuclear Power After Fukushima*. Working Paper 01. MIT-CEEPR.
- Joskow, P.L., Schmalensee, R., Bailey, E.M. (1998), The Market for Sulfur Dioxide Emissions. *American Economic Review*. 88, 669–85.
- Kerr, S., Maré, D. (1998), *Transaction Costs and Tradable Permit Markets: The United States Lead Phasedown*. Available SSRN 1082596.
- Kok, M.T.J., de Coninck, H.C. (2007), Widening the scope of policies to address climate change: directions for mainstreaming. *Environmental Science and Policy*, 10, 587-599.
- Krarup, S., Russell, C.S. (eds.) (2005), *Environment, Information and Consumer Behaviour*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham.
- Labandeira, X. (2009), El sector público ante el cambio climático. *Temas Actuales de Economía*, 4, 361-382.
- Labandeira, X. (2011), Políticas para el cambio: políticas fiscales y regulación, en Linares, P., Nieto, I. (dirs.), *Cambio Global España 2020/2050*. Energía, Economía y Sociedad. Fundación Conama, Madrid.
- Labandeira, X. (2013), 'Fiscalidad y Sostenibilidad' en Becker, F., Cazorla, L. y Martínez-Simancas, J. (eds) *Los Tributos del Sector Eléctrico*. Editorial Aranzadi, Madrid.
- Labandeira, X., León, C.J., Vázquez, M.X. (2006), *Economía Ambiental*. Pearson Educación, Madrid.
- Labandeira, X., Linares, P., Würzburg, K. (2012), Energías renovables y cambio climático. *Cuadernos Económicos de ICE*, 83, 37-60.

Labandeira, X., López, X., Rodríguez, M. (2008a), Cambio climático y reformas fiscales verdes. *Ekonomiaz*, 67, 30-47.

Labandeira, X., López, X., Rodríguez, M. (2008b), Un análisis comparado de los instrumentos regulatorios, en Becker, F., Cazorla, L.M., Martínez-Simancas, J. (eds.), *Tratado de Tributación Medioambiental*. Editorial Aranzadi, Madrid.

Labandeira, X., Rodríguez, M. (2010), Wide and narrow approaches to national climate policies: A case study for Spain. *Climate Policy*, 10, 51-69.

Laing, T., Sato, M., Grubb, M., Comberti, C. (2013), Assessing the effectiveness of the EU Emissions Trading System. Working Paper 106, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment.

Levinson, A., Taylor, M.S. (2008), Unmasking The Pollution Haven Effect. *International Economic Review*. 49, 223–254.

Linares, P., Labandeira, X. (2010), Energy Efficiency: Economics and Policy. *Journal of Economic Surveys*, 24, 573–592.

Martin, R., Muûls, M., Preux, L.B. de, Wagner, U.J. (2013), Industry Compensation Under Relocation Risk: A Firm-Level Analysis of the EU Emissions Trading Scheme. Working Paper 19097. National Bureau of Economic Research.

Mazzucato, M. (2013), *The Entrepreneurial State. Debunking Public vs. Private Sector Myths*. Anthem Press, Londres.

Meeus, L., Azevedo, I., Marcantonini, C., Glachant, J.-M., Hafner, M. (2012), EU 2050 Low-Carbon Energy Future: Visions and Strategies. *The Electricity Journal*, 25, 57–63.

Metz, B. (2010), *Controlling Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.

Montgomery, W.D. (1972), Markets in licenses and efficient pollution control programs. *Journal of Economic Theory*, 5, 395–418.

Morris, D. (2012), *The 2012 Environmental Outlook for the EU ETS*. Reino Unido.

Nemet, G.F. (2013), Technological change and climate change policy, en Shogren, J. (ed.), *Encyclopedia of Energy, Natural Resource, and Environmental Economics*. Elsevier, Waltham.

Neuhoff, K., Schopp, A., Boyd, R., Stelmakh, K., Vasa, A. (2012), Banking of Surplus Emissions Allowances: Does the Volume Matter? Discussion Papers of DIW Berlin 1196, DIW Berlin, German Institute for Economic Research.

Newell, R., (2010), The role of markets and policies in delivering innovation for climate change mitigation. *Oxford Review of Economic Policy*, 26, 253-269.

OECD (2010), *Taxation, Innovation and the Environment*. OECD Publishing.

- Oikonomou, V., Flamos, A., Grafakos, S. (2010), Is blending of energy and climate policy instruments always desirable? *Energy Policy*, 38, 4186-4195.
- ONU (1992), Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Park, W.G., Ginarte, J.C. (1997), Intellectual property rights and economic growth. *Contemporary Economic Policy*, 15, 51-61.
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (2009), Decisión nº 406/2009/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 sobre el esfuerzo de los Estados miembros para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero a fin de cumplir los compromisos adquiridos por la Comunidad hasta 2020.
- Parry, I., Walls, M., Harrington, W. (2007), Automobile externalities and policies. DP 06-26, Resources for the Future.
- Perdan, S., Azapagic, A. (2011), Carbon trading: Current schemes and future developments. *Energy Policy*, 39, 6040–6054.
- Pizer, W.A. (2002), Combining price and quantity controls to mitigate global climate change. *Journal of Public Economics*, 85, 409-434.
- Santamaría, A., Linares, P., Pintos, P. (2014), The effects of carbon prices and anti-leakage policies on selected industrial sectors in Spain – Cement, steel and oil refining. *Energy Policy*, 65, 708–717.
- Sartor, O. (2013), Carbon Leakage in the Primary Aluminium Sector: What Evidence after 6.5 Years of the EU ETS? (SSRN Scholarly Paper No. ID 2205516). Social Science Research Network, Rochester, NewYork.
- Sato, M., Grubb, M., Cust, J., Chan, K., Korppoo, A., Ceppi, P. (2007), Differentiation and Dynamics of Competitiveness Impacts from the EU ETS (Working Paper). Faculty of Economics, University of Cambridge, Reino Unido.
- Schmidt, R.C., Heitzig, J. (2014), Carbon leakage: Grandfathering as an incentive device to avert firm relocation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 67, 209–223.
- Shobe, W., Burtraw, D. (2012), Rethinking environmental federalism in a warming world. *Climate Change Economics*, 3, 1250018-1 1250018-33.
- Sijm, J., Neuhoff, K., Chen, Y. (2006), CO2 cost pass-through and windfall profits in the power sector. *Clim. Policy*, 6, 49–72.
- Smith, P., Olesen, J.E. (2010), Synergies between the mitigation of, and adaptation to, climate change in agriculture. *Journal of Agricultural Science*, 148, 543-552.
- Sorrell, S., Sijm, J. (2003), Carbon trading in the policy mix. *Oxford Review of Economic Policy*, 19, 420-437.

- Stern, N. (2006), Stern Review on the Economics of Climate Change. HM Treasury.
- Thomson, R., Jensen, P.H. (2013), The effects of government subsidies on business R&D employment: evidence from OECD countries. *National Tax Journal*, 66, 281-309.
- Van den Bergh, K., Delarue, E., D'haeseleer, W. (2013), Impact of renewables deployment on the CO2 price and the CO2 emissions in the European electricity sector. *Energy Policy*, 63, 1021–1031.
- Van Vliet, M.T.H., Yearsley, J.R., Ludwig, F., Vögele, S., Lettenmaier, D.P., Kabat, P. (2012), Vulnerability of US and European electricity supply to climate change. *Nature Climate Change*, 2, 676–681.
- Van Vuuren, D., Isaac, M., Kundzewicz, Z., Arnell, N., Barker, T., Criqui, P., Berkhout, F., Hilderink, H., Hinkel, J., Hof, A., Kitous, A., Kram, T., Mechler, R., Scricciu, S. (2011), The use of scenarios as the basis for combined assessment of climate change mitigation and adaptation. *Global Environmental Change*, 21, 575-591.
- Weitzman, M.L. (1974), Prices vs. quantities. *Review of Economics Studies*, 41, 477-491.