

Pablo del Río González\*

# LOS EFECTOS SOBRE LA INNOVACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE PROMOCIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

*La innovación en tecnologías renovables es un elemento crucial para afrontar el reto del cambio climático y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles a nivel mundial. Dos grandes grupos de instrumentos se han utilizado para fomentar dichas tecnologías: inversiones públicas en I+D+i (por el lado de la oferta de tecnologías) y mecanismos de promoción de las energías renovables orientados a incrementar su difusión (demanda de tecnologías). Sin embargo, este segundo grupo de instrumentos tiene también considerables efectos sobre la oferta de tecnologías. Este trabajo analiza los efectos sobre la innovación de los mecanismos de promoción de las energías renovables.*

**Palabras clave:** energías renovables, innovación, instrumentos de promoción.

**Códigos JEL:** O31, O33, Q42, Q48, Q55.

## 1. Introducción

Existe un acuerdo casi unánime en la comunidad científica sobre la necesidad de una revolución tecnológica para lograr objetivos de concentración de gases de efecto invernadero (GEI) de 450 partes por millón (ppm) de CO<sub>2</sub> equivalente, que permitan que las temperaturas mundiales no aumenten más dos grados centígrados y minimicen el riesgo de una catástrofe climática. La penetración masiva de tecnologías bajas en carbono se justifica por la necesidad de lograr considerables reducciones en las emisiones de GEI. Según la Agencia Inter-

nacional de la Energía (AIE, 2010), si las emisiones actuales de GEI de origen energético están alrededor de los 28 GtCO<sub>2</sub>e, será necesario reducir las a la mitad en 2050 para lograr el mencionado objetivo de concentración. Esto supone realizar un esfuerzo de mitigación considerable, teniendo en cuenta que las emisiones siguen una senda tendencial de crecimiento (en ausencia de políticas de mitigación adicionales) que provocaría que las mismas llegaran a los 57 GtCO<sub>2</sub> en 2050 (escenario de referencia)<sup>1</sup>. Por su parte, la Unión Europea se ha comprometido a reducir las emisiones de GEI entre un 80 y un 95 por 100 en 2050 con respecto a los nive-

---

\* Científico Titular, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

---

<sup>1</sup> Otros estudios llegan a conclusiones similares, como IPCC (2007), MCKINSEY (2009) y EDENHOFER *et al.* (2009).

les de 1990, y en un 20 por 100 en 2020 con respecto a 1990.

Para las empresas esta revolución tecnológica implica una gran oportunidad de negocio por la formación de nuevos mercados. Para los decisores públicos facilitar esta transformación masiva constituye un gran desafío. Según la AIE (2010), serán necesarios entre 40 y 90 billones de dólares de gasto adicional para reducir las emisiones globales de CO<sub>2</sub> en un 50 por 100 en 2050. Es necesario entender los procesos fundamentales asociados al desarrollo y difusión de nuevas tecnologías para que tanto empresas como decisores públicos exploten estas oportunidades.

Las simulaciones con diferentes modelos muestran que lograr reducciones significativas de las emisiones y los costes de lograrlas dependen de la disponibilidad de tecnologías bajas en carbono en diferentes horizontes temporales (véase AIE, 2008; AIE, 2009 y Edenhofer *et al.*, 2009, entre otros). La revolución tecnológica mencionada exige la difusión de tecnologías hoy existentes y de otras nuevas. Aunque existe consenso sobre la necesidad de promover simultáneamente tecnologías con distintos grados de madurez, de forma que dispongamos de una cesta de tecnologías bajas en carbono, los modelos llegan a conclusiones diferentes sobre el grado de penetración de las diferentes tecnologías, aunque en todos los casos el nivel de difusión supera claramente los niveles actuales (Lee *et al.*, 2009). Por ejemplo, la AIE (2010) muestra que lograr las reducciones de las emisiones mencionadas arriba (diferencia entre las emisiones en un escenario de 450 ppm y las emisiones en el escenario tendencial o de referencia) exigiría utilizar las siguientes tecnologías: captura y almacenamiento de carbono (19 por 100 de las reducciones), nuclear (6 por 100), fuentes de energía renovable (17 por 100) y diferentes alternativas de eficiencia energética en distintos sectores (58 por 100).

Es evidente que será muy difícil y costoso lograr las reducciones mencionadas si no se utiliza alguna de esas tecnologías bajas en carbono (véase Edenhofer *et al.*, 2009). Algunas de las tecnologías necesarias ya es-

tán disponibles, mientras que otras no son viables comercialmente y necesitan madurar<sup>2</sup>. La necesidad de diversidad tecnológica está también relacionada con la considerable incertidumbre sobre la viabilidad comercial y los costes futuros de las tecnologías actualmente inmaduras y el riesgo de que no rindan como se espera.

La gran mayoría de esas tecnologías bajas en carbono tienen asociadas además considerables beneficios secundarios pues contribuyen a reducir la dependencia de los combustibles fósiles (con la excepción del cambio de carbón a gas) y la emisión de contaminantes locales<sup>3</sup>. Además, la emergencia de las nuevas tecnologías provoca la aparición de nuevos sectores muy dinámicos y la creación de industria. Mientras que el beneficio de mitigación del cambio climático es un bien público, es decir, compartido por todos los países del mundo hagan o no esfuerzo por controlar sus emisiones, los otros son directamente apropiables por los países inversores, apuntando a un incentivo para llevar a cabo procesos de inversión en tecnologías bajas en carbono<sup>4</sup>.

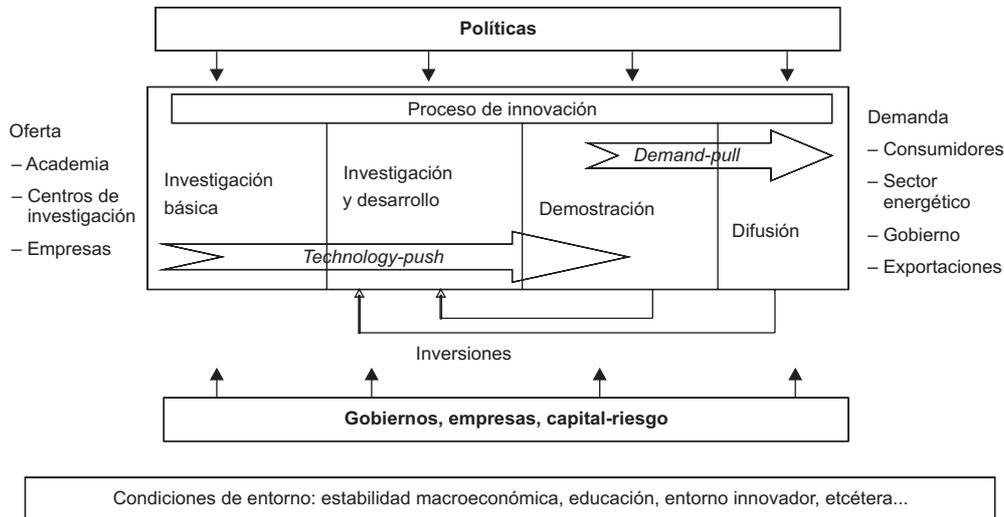
El sector de generación eléctrica es particularmente relevante para lograr ambiciosas reducciones de GEI, tanto a nivel nacional como europeo y mundial. Representa la tercera parte de las emisiones mundiales y, en compara-

<sup>2</sup> Por ejemplo, se espera lograr el 10 por 100 de las reducciones de emisiones en 2050, con la captura y almacenamiento de carbono en plantas de generación eléctrica y un 4 por 100 con vehículos de hidrógeno (AIE, 2008).

<sup>3</sup> La importancia de esos beneficios secundarios o cobeneficios ha sido puesta de manifiesto por la propia AIE (2009), que muestra que la cuantía monetaria de las inversiones necesarias de aquí a 2030, para lograr concentraciones de 450 ppm, son inferiores a los beneficios en términos de una menor factura por consumo de combustibles fósiles. Además, existen considerables cobeneficios en términos de reducciones de contaminantes atmosféricos.

<sup>4</sup> Puede discutirse si esa creación de industria en energías renovables debe o no ser el objetivo de la política de mitigación o de la política energética, pero lo que si está claro es que se deben tener en cuenta esos aspectos beneficiosos añadidos a la hora de plantear cualquier política de mitigación o energética y también debe considerarse la existencia de una industria creada a la hora de proponer cambios en esas políticas. Algunos de los beneficios de fomentar tecnologías con diferentes niveles de madurez son locales. Pero los Gobiernos afrontan un dilema, pues es incierto que esos beneficios superen a los costes a corto plazo.

FIGURA 1  
FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE INNOVACIÓN



FUENTE: Adaptado de AIE (2008).

ción con otros sectores, dispone de alternativas de reducción baratas (IPCC, 2007 y McKinsey, 2009). De hecho, en la «Hoja de Ruta 2050», la Comisión Europea plantea tener un sector eléctrico descarbonizado en 2050. Las renovables resultan fundamentales para lograr este reto<sup>5</sup> y lograrlo exigirá, a su vez, fomentar hoy tecnologías en diferentes fases del proceso innovador.

El proceso de innovación está formado por varias fases, desde la investigación básica hasta la difusión (Fi-

gura 1). El paso de una fase a otra no es automático ni el proceso es necesariamente lineal. En particular, existe una importante interacción desde la fase de difusión hacia las anteriores, dando lugar a inversiones privadas en I+D+i (investigación, desarrollo e innovación) y a un continuo proceso de innovación (AIE, 2008). En este trabajo abordamos precisamente uno de los aspectos de esta retroalimentación. El objetivo del mismo es analizar el efecto de las políticas públicas de promoción de la difusión de la electricidad procedente de energías renovables (E-FER) en el proceso de innovación.

Con objetivos de mitigación ambiciosos, será necesario un gran nivel de penetración de renovables. Esto exigirá contar con una cesta de tecnologías con diferentes niveles de madurez. La innovación es crucial para poner algunas de esas tecnologías en el mercado y para reducir el coste de todas las tecnologías renovables. Con ob-

<sup>5</sup> La penetración de renovables en el sector eléctrico en 2050 difiere según el estudio realizado, y va desde el 40 por 100 de la generación eléctrica europea para Eurelectric (2010) al 97 por 100 de Greenpeace y EREC (2010). En las simulaciones realizadas con el modelo PRIMES, cuyos resultados están en el propio documento de la evaluación de impacto de la «Hoja de ruta para lograr una economía competitiva baja en carbono en 2050» (Comisión Europea, 2011), se espera una penetración de renovables en la generación eléctrica de entre el 50 por 100 y el 55 por 100 en 2050 (en 2005, dicha penetración era del 15 por 100).

jetivos poco ambiciosos, el papel de la innovación es menos importante, pues esos objetivos podrían lograrse con las tecnologías ya maduras<sup>6</sup>.

Los gobiernos han utilizado dos grandes grupos de instrumentos para fomentar el proceso de innovación en las tecnologías renovables. Por el lado de la oferta de tecnologías, se han realizado inversiones públicas en I+D+i. Por el lado de la demanda, se han adoptado mecanismos de promoción de la difusión de las energías renovables tales como primas, certificados verdes, subastas o subvenciones a la inversión. Sin embargo, este segundo grupo tiene también considerables efectos sobre fases anteriores del proceso de innovación, es decir, tiene aspectos de un instrumento que influye en la oferta de tecnología. Además, ambos grupos de instrumentos no deben verse como separados, sino que se refuerzan mutuamente y deben combinarse.

El apartado 2 discute de forma general las barreras a la innovación en tecnologías renovables y los instrumentos para fomentarla. Además, se identifican una serie de dimensiones relevantes para estudiar la relación entre instrumentos de promoción de las renovables e innovación. El apartado 3 analiza los efectos sobre la innovación de los instrumentos de promoción de las renovables, así como de sus elementos de diseño. El artículo se cierra con un apartado de conclusiones.

## 2. Barreras, instrumentos y dimensiones para la innovación en tecnologías renovables

### Barreras a la innovación en tecnologías renovables

La innovación y difusión en tecnologías limpias en general y en tecnologías renovables en particular sufren

---

<sup>6</sup> De hecho, podría argumentarse que la fijación de objetivos ambiciosos depende de la existencia de tecnologías para cumplirlos, es decir, depende de la innovación. Dicho de otra forma: la innovación es endógena a la fijación de objetivos ambiciosos.

un problema de «doble externalidad» (Rennings, 2000 y Jaffe *et al.*, 2005):

i) La externalidad ambiental se refiere al hecho de que las empresas no tienen que pagar por los daños causados por las emisiones de GEI lo que, a su vez, provoca demasiadas emisiones y un bajo incentivo a la innovación en tecnologías bajas en carbono.

ii) La externalidad tecnológica está relacionada con los efectos de derrame que tienen que ver con la posibilidad de copiar la innovación, lo que reduce las ganancias para el innovador y desincentiva la innovación. En concreto, las tecnologías renovables tienen varias barreras para su desarrollo, innovación y difusión, que incluyen factores tecnoeconómicos (disponibilidad del recurso renovable, costes de inversión, operación y mantenimiento, costes de integración en la red eléctrica), barreras legales y administrativas, factores políticos y problemas de aceptabilidad social.

Aparte de la doble externalidad, existen otros fallos de mercado, externalidades positivas y «fallos sistémicos», que pueden dar lugar a una inversión en innovación menor de la conveniente.

iii) Uno de estos fallos de mercado son los relativos a la restricción en el acceso a crédito para pequeñas empresas innovadoras, problemas de información y cuestiones de «agencia» (incentivos divididos) (Newell, 2008; Edenhofer *et al.*, 2009 y McKinsey, 2009).

iv) La difusión de una tecnología que da lugar a reducciones de costes y a mejoras tecnológicas, como consecuencia de los efectos de aprendizaje (véase Dimensiones de la innovación en tecnologías renovables) y economías de escala dinámicas, puede considerarse como una externalidad positiva (Stern, 2006). Incluso aquellas empresas que no han invertido en las nuevas tecnologías pueden favorecerse de unos costes menores. Aunque los inversores pueden capturar parcialmente estos efectos de aprendizaje (por ejemplo, a través de patentes), el inversor inicial no captura todos estos beneficios derivados del aprendizaje. Por tanto, esas inversiones estarán por debajo de los niveles socialmente efi-

cientes. La difusión es endógena a nivel de costes, pero los costes se ven afectados por el grado de difusión.

v) Otros autores van más allá de la tradicional discusión sobre los fallos de mercado y defienden que existe un «fallo sistémico». El enfoque de los sistemas de innovación (ESI) ha subrayado la existencia de inercia en los sistemas tecnológicos complejos, la dependencia de la senda y el bloqueo tecnológico (Unruh, 2000 y Del Río y Unruh, 2007). Este enfoque sistémico incluye dos dimensiones interrelacionadas. Considera que los sistemas tecnológicos están formados por componentes interrelacionados (tecnologías e infraestructuras) y que existen interdependencias sistémicas entre lo «tecnológico» y lo «institucional». Los sistemas tecnológicos incluyen no solo tecnologías interrelacionadas y complementarias así como sus infraestructuras de apoyo<sup>7</sup>, sino también las relaciones técnicas, informacionales, económicas e institucionales que les permiten funcionar juntas (Maréchal, 2007). Esos sistemas tecnológicos están incluidos, a su vez, en un marco institucional que aporta un incentivo a su continuidad (véase, entre otros, Maréchal, 2007 y Foxon *et al.*, 2005). La infraestructura, régimen de planificación, diseño regulatorio y de mercado actuales han evolucionado y se han ajustado a las tecnologías existentes (Neuhoff *et al.*, 2009). Las nuevas tecnologías tienen que ser compatibles con los sistemas tecnológicos e institucionales existentes si quieren difundirse. Esto provoca que los sistemas tecnológicos sean muy difíciles de cambiar.

### Instrumentos para fomentar la innovación en tecnologías renovables

Centrándonos en las barreras económicas es necesario aplicar políticas que mitiguen esas barreras y, en particular el problema de la doble externalidad arriba

<sup>7</sup> Por ejemplo, la difusión de la eólica y la solar depende de mejoras en tecnologías complementarias como la transmisión y el almacenamiento que facilitará su difusión (BARRETT, 2009).

mencionado, al que habría que añadir otros fallos de mercado, las externalidades positivas que se producen en la difusión y los fallos sistémicos.

¿Qué instrumentos existen para mitigar esas barreras económicas y promover las renovables? Básicamente, podríamos mencionar tres grandes categorías de instrumentos: un precio del CO<sub>2</sub>, ayudas directas a la I+D+i y sistemas de promoción de la difusión de las tecnologías renovables. Aunque el precio del CO<sub>2</sub> contribuye a internalizar la externalidad ambiental arriba mencionada (en el epígrafe i), no corrige el resto de fallos de mercado, por lo que es necesario complementarlo con otras políticas. Aunque el precio del CO<sub>2</sub> genera un cierto incentivo a las tecnologías de generación eléctrica, no es suficiente para promover las más caras que, sin embargo, tienen un importante potencial de reducción de costes si se permite su difusión. Las ayudas directas a la I+D+i corrigen la externalidad tecnológica, mientras que los mecanismos de promoción de las renovables permiten a las tecnologías renovables avanzar a lo largo de su curva de aprendizaje y ser competitivas en el futuro. Este tercer grupo de instrumentos son especialmente necesarios para las tecnologías que se encuentran en el denominado «valle de la muerte», es decir, aquellas que han superado la fase de demostración y tienen una considerable dificultad para alcanzar la fase de comercialización. En este trabajo nos centramos en este grupo de instrumentos.

A su vez, los instrumentos principales de promoción de la difusión de las renovables<sup>8</sup> son:

— Primas. Se trata de ayudas a la producción (es decir, por kWh generado), pagadas en la forma de precios garantizados combinados frecuentemente con una obligación de compra por parte de los distribuidores de electricidad. Los costes del apoyo son financiados por los consumidores eléctricos.

— Sistemas de subasta. El Gobierno invita a los generadores renovables a competir bien por un determinado

<sup>8</sup> Para una discusión más pormenorizada de estos instrumentos, véase DEL RÍO (2009).

montante de dinero o por una determinada capacidad de E-FER. Dentro de cada banda tecnológica, se concede la subvención a las pujas más baratas por kWh. La política se financia a través del recibo de la electricidad.

— Cuota con Certificados Verdes Negociables (CVNs). La demanda de CVNs se genera por la obligación impuesta a los distribuidores de electricidad de que, a final de año, una determinada cantidad de CVNs corresponda a un determinado porcentaje de sus ventas de electricidad (la denominada «cuota»). Si estas empresas no cumplen con su obligación, entonces tendrán que pagar una penalización. La oferta de CVNs viene dada por el hecho de que cada MWh de E-FER genera automáticamente un CVN que es asignado al generador correspondiente y que este puede vender a los distribuidores. Por tanto, estos generadores se benefician de dos flujos de ingresos procedentes de dos diferentes mercados: el precio de mercado de la electricidad y el precio de mercado de los CVNs. El precio del CVN es el resultado de la interacción de la oferta y la demanda y depende del nivel del objetivo (cuota) y de los costes de generación de E-FER.

Aparte de estos instrumentos «principales», en los países europeos se utilizan varios instrumentos «secundarios», complementarios de los anteriores, tales como subvenciones a la inversión (Del Río y Gual, 2004). Este trabajo presta atención a los instrumentos principales.

### Dimensiones de la innovación en tecnologías renovables

Como existen varios enfoques en la literatura, con conceptualizaciones diferentes sobre las fuentes, barreras y determinantes del cambio tecnológico, los efectos sobre la innovación de los instrumentos de promoción de la E-FER pueden analizarse con diferentes perspectivas. Estos enfoques son los de la economía tradicional (Popp, 2010 y Fischer y Newell, 2008, entre otros), el enfoque de los sistemas de innovación (ESI) (Markard y Truffer, 2008; Astrand y Neij, 2006 y Jacobsson y Bergek, 2004) y la literatura sobre los efectos de aprendiza-

je (Junginger *et al.*, 2005, entre otros). La existencia de diferentes enfoques y perspectivas sugiere que varios factores son relevantes en el análisis de dichos efectos sobre la innovación. No es el propósito de este trabajo discutir pormenorizadamente las contribuciones teóricas y empíricas de esos enfoques o aportar un marco integrado de ellos, sino destacar la existencia de diferentes dimensiones (pero complementarias) en el análisis de los efectos sobre la innovación. Cada enfoque subraya la importancia de una dimensión diferente y todas ellas resultan cruciales para entender el efecto de los instrumentos de promoción de la difusión de las energías renovables en el proceso de innovación.

Un aspecto o dimensión fundamental es el de la «diversidad», que se refiere a la promoción de una cesta de tecnologías renovables diferentes, pero también a apoyar a diferentes actores, pues los intereses creados constituyen una barrera a la transición hacia sistemas tecnológicos en energías renovables (Van den Berg y Kemp, 2008). Las nuevas tecnologías energéticas se desarrollan con frecuencia fuera de los sistemas energéticos existentes e involucran a actores no tradicionales (Lund, 2010 y Astrand y Neij, 2006). Los actores, redes e instituciones implicadas en procesos de innovación radical no son idénticos a aquellos que realizan actividades que sostienen el sistema establecido (Markard y Truffer, 2008). El enfoque ESI subraya la necesidad de que entren nuevas empresas en un nuevo sistema tecnológico (véase Woolthuis *et al.*, 2005; Bergek *et al.*, 2008; Markard y Truffer, 2008 y Astrand y Neij, 2006, entre otros). Incrementar la diversidad de actores implicados reduce los riesgos regulatorios a largo plazo (es decir, los riesgos ocasionados por cambios en las políticas de promoción), pues cuanto más amplia es dicha diversidad, mayor es la legitimidad social y política de apoyo público que asegura la continuidad de dicho apoyo<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Un ejemplo de esto es Alemania, donde el 45 por 100 de los proyectos de eólica son propiedad de individuos o cooperativas locales. En Dinamarca, ese porcentaje es del 83 por 100 (FARRELL, 2009).

Por otro lado, la capacidad de fomentar «inversiones privadas en I+D+i» es un importante efecto secundario de las políticas de promoción de las renovables, como muestran los estudios empíricos (Lee *et al.*, 2009; Watanabe *et al.*, 2000 y Johnstone *et al.*, 2010). Este aspecto es muy importante, en un contexto de apoyo público a la I+D+i relativamente modesto y estancado (AIE, 2008 y Ek y Soderholm, 2010)<sup>10</sup>. De hecho, la inversión privada en I+D+i representa una gran proporción de la I+D+i total en las tecnologías bajas en carbono en general y en las tecnologías renovables en particular<sup>11</sup>. No obstante, el apoyo a la difusión no es un sustituto del apoyo público a la I+D+i, sino que ambos son complementarios (Popp, 2010).

La difusión retroalimenta a la I+D+i como consecuencia de dos factores: la existencia de un mercado estable para las tecnologías renovables (*demand-pull*) y la existencia de un excedente para los generadores de E-FER que estos pueden invertir en adquirir equipos nuevos, y que permite a los productores de equipos invertir en I+D+i (*supply-push*) (Menanteau *et al.*, 2003 y Butler y Neuhoff, 2008).

Un tercer aspecto importante es el de los «efectos de aprendizaje». La difusión permite reducciones de costes y mejoras en las tecnologías en el tiempo, a través de los denominados efectos de aprendizaje<sup>12</sup>. Los instru-

mentos pueden contribuir a los efectos de aprendizaje a través de la creación de nichos, especialmente para las tecnologías inmaduras. Los efectos de aprendizaje sugieren que puede ser más barato invertir antes en la adopción y difusión de las tecnologías para que avancen a lo largo de su curva de aprendizaje y reduzcan sus costes rápidamente, en lugar de provocar una reducción más lenta de esos costes a través de una introducción más gradual de la tecnología (Rickerson *et al.*, 2007). Las simulaciones con modelos confirman esta aseveración (Huber *et al.*, 2004). La literatura de la ESI sugiere que deben apoyarse la conectividad e interacciones entre los actores implicados (aprendizaje por la interacción), pues esto constituye una importante fuente de innovación (Woolthuis *et al.*, 2005). En particular, la competitividad de los generadores depende en buena medida de su colaboración con los suministradores de equipo, con los que forman redes de interacción e interdependencia de larga duración. Los estudios sobre el sistema de promoción de la eólica en Dinamarca confirman la importancia de estas interacciones (Astrand y Neij, 2006).

Finalmente una gran cantidad de autores destacan la importancia de la «competencia tecnológica» entre los generadores de E-FER y entre los productores de equipos como fuente de innovación (véase, entre otros, Egenhofer y Jansen, 2006). Los incentivos de los generadores de E-FER a adoptar tecnologías que incrementen los ingresos o reduzcan los costes se trasladan a los suministradores de equipo, que son los que llevan a cabo las actividades de innovación para poner esas tecnologías en el mercado. Esto provoca presión competitiva entre los productores de bienes de equipo.

### 3. Efectos sobre la innovación de los instrumentos y elementos de diseño

El análisis de la eficiencia dinámica (efectos sobre la innovación) de los instrumentos de promoción de la E-FER debe tener en cuenta las diferentes dimensiones de la eficiencia dinámica y el hecho de que los elemen-

<sup>10</sup> En los últimos 35 años, el gasto público total en la I+D+i energética se ha reducido en términos reales a nivel mundial. El peso de la energía en el total de la I+D+i se ha reducido desde el 12 por 100 en 1981 al 4 por 100 en 2008 (KERR, 2010). Según la OCDE (2011), el gasto público en I+D+i en renovables en los países de la OCDE representaba en 2000 el 25 por 100 del gasto público total en I+D+i en 2007, el mismo porcentaje que en 2000.

<sup>11</sup> Según la Fundación Entorno (2011), el sector privado lleva a cabo el 65 por 100 de la I+D+i en tecnologías bajas en carbono a nivel mundial. CRIQUI *et al.* (2000) mostraban que en el período 1974-1999, los gastos privados en I+D+i en eólica eran un 75 por 100 mayores que los gastos públicos en I+D+i.

<sup>12</sup> El «aprendizaje por la práctica» se refiere al hecho de que la producción continua de un bien da lugar a mejoras en el proceso de producción. Por otro lado, pueden producirse mejoras en las tecnologías como consecuencia de la retroalimentación de los usuarios a los productores («aprendizaje por el uso»). Finalmente, el «aprendizaje por la interacción» tiene lugar como consecuencia de las interacciones entre actores.

tos de diseño concretos de cada instrumento influyen también en esos efectos sobre la innovación. En este apartado se discuten dichos efectos. Para ello, se ha elaborado una base de datos con los resultados de la literatura empírica sobre los efectos en la innovación (casos de estudio, modelos econométricos y simulaciones) acudiendo a las principales revistas en el ámbito de la economía ambiental, la economía de la energía y la economía de la innovación.

### Efectos sobre la innovación de los instrumentos

Un elemento fundamental que da lugar a efectos sobre la innovación es la creación de un mercado para tecnologías con diferentes niveles de madurez. La perspectiva de la existencia de un mercado para la tecnología fomenta inversiones privadas en I+D+i y favorece la existencia de efectos de aprendizaje al permitir que se difundan esas tecnologías. No son los generadores renovables los que innovan, sino los suministradores de equipo. Pero sus clientes sí son los generadores de E-FER. Son estos los que adquieren las tecnologías desarrolladas por los suministradores de equipo. La compra de esas tecnologías y, por tanto, los efectos (indirectos) sobre la innovación dependen de la existencia de un margen de beneficio para los generadores y de la existencia de un mercado en el que puedan aplicar esa tecnología.

Las primas han demostrado ser superiores a otros instrumentos en varias dimensiones de los efectos sobre la innovación, precisamente porque permiten crear un mercado para tecnologías con diferentes niveles de madurez, concediéndose diferentes niveles de apoyo a tecnologías con diferentes costes. Por el contrario, este apoyo específico a diferentes tecnologías es muy complicado de establecer en los CVNs. Aunque conceder más CVNs a las tecnologías inmaduras teóricamente permitiría esto (véase Efectos sobre la innovación de los elementos de diseño), no ha sido muy eficaz para promover tecnologías de alto coste y/o bajos niveles de madurez. Así, mientras que las primas han

creado nichos para las tecnologías solares en la UE (Markard y Truffer, 2008 y Del Río, 2008), los CVNs no han sido capaces de crearlos en EE UU (Wiser *et al.*, 2010). Este sistema de CVNs da lugar a un único precio del CVN (nivel de apoyo uniforme), que no es suficiente para apoyar tecnologías de alto coste actual, pero gran potencial de reducción de costes futuro si se permite su difusión.

Además, los niveles de incertidumbre y riesgo son mayores en los CVNs que en las primas (Comisión Europea, 2008), pues el precio futuro del CVN mismo es desconocido, ya que depende de la interacción entre oferta y demanda. Por el contrario, las primas establecen niveles de apoyo predefinidos. Las primas son por tanto más atractivas para realizar inversiones en todas las tecnologías renovables, dada la certidumbre en la inversión con este instrumento (y la alta intensidad de capital de las tecnologías renovables) y la existencia de un margen de beneficio (diferencia entre nivel de apoyo y costes de la tecnología) para los generadores con todas las tecnologías renovables que estos pueden reinvertir en la adquisición de bienes de equipo fabricados por los suministradores y que incorporan nuevas tecnologías. Las primas no solo fomentan el aprendizaje por el uso y por la práctica, sino también el aprendizaje por la interacción, dada la diversidad de tecnologías y actores que fomentan. En el apartado anterior se mencionó la importancia del aprendizaje por la interacción en la innovación, como destaca el enfoque teórico de los sistemas de innovación.

Un estudio realizado en el contexto español sobre la eficacia de las políticas públicas para fomentar la I+D+i en tecnologías bajas en carbono (no solo renovables) es el recientemente publicado por la Fundación Entorno (2011). Los resultados muestran que el 60 por 100 de los expertos consultados consideran que las primas son eficaces para fomentar la demanda tecnológica. Este es el porcentaje más alto de todas las políticas públicas nacionales de *demand-pull*, a mucha distancia de la segunda política (compra y contratación pública) y también por encima de los porcentajes mostrados por todas las políticas de *supply-push*.

Con respecto a la competencia tecnológica, esta se presupone en un instrumento «neutral» tecnológicamente como son los CVNs en el que la presión competitiva daría lugar a innovaciones que reducirían el coste de la tecnología. EC (1999) y Egenhofer y Jansen (2006), entre otros, argumentan que, como las primas no están basadas en la competencia directa entre generadores eléctricos, el incentivo a la innovación es menor que con CVNs y subastas. Sin embargo, estas afirmaciones chocan con la ausencia de evidencia empírica que apoye esa superioridad. De hecho, la presión competitiva existe con independencia del instrumento que se utilice (Haas *et al.*, 2004). Por ejemplo, las primas fomentan la competencia entre los suministradores de equipo para proporcionar tecnologías más baratas que permitan a los generadores de E-FER incrementar sus márgenes de beneficios. Bajo un sistema de primas, los suministradores tienen sobre todo un fuerte incentivo a orientar sus esfuerzos innovadores en la dirección de una mayor eficiencia en la producción (MWh/MW), para así maximizar los ingresos (primas más precio de la electricidad). Bajo un sistema de CVNs, el incentivo es sobre todo a reducir el coste por debajo del nivel del precio del CVN.

En los sistemas de subasta sin diferenciación por tecnologías ocurriría de forma parecida a un sistema de CVNs: solo las tecnologías más baratas se harían con las pujas. Esto podría mitigarse con pujas diferenciadas por tecnologías. La evidencia empírica, sin embargo, muestra que, aunque una vez que las pujas ganadoras han sido decididas en el procedimiento y suministran un incentivo estable y con un bajo riesgo para los inversores, no han sido eficaces ni en la promoción de tecnologías maduras ni de las inmaduras. Esto se ha debido a un bajo nivel de incentivo suministrado por el instrumento y otros problemas allí donde este se ha aplicado (concesión de permisos administrativos y ausencia de penalizaciones por no llevar a cabo los proyectos ganadores en las pujas).

Esta baja eficacia de las subastas ha tenido un impacto sobre la innovación por su efecto negativo en los

efectos de aprendizaje e inversión en I+D+i. Aunque, en principio cabría esperar que un sistema de subastas diera lugar a más competencia entre generadores renovables y, por ende, entre suministradores de equipo, estimulando la innovación para reducir los costes de la tecnología en un contexto de fuertes presiones competitivas, la escasa evidencia empírica existente muestra que el nivel de competencia entre los suministradores de equipos en el sistema de subastas británico (NFFO) fue menor que bajo el sistema de primas en Alemania (Butler y Neuhoff, 2008).

### **Efectos sobre la innovación de los elementos de diseño**

Los efectos sobre la innovación de las políticas de promoción no solo dependen del instrumento utilizado, sino también de los elementos de diseño de cada instrumento que han sido elegidos. Tanto la literatura empírica sobre los instrumentos de promoción de la E-FER como la de la economía de la innovación destacan la importancia de esos elementos de diseño en la innovación. Algunos de estos elementos más importantes desde una perspectiva de sus efectos sobre la innovación se describen en el Esquema 1<sup>13</sup>.

En las primas, el principal elemento de diseño para fomentar la innovación es la diferenciación de los niveles de apoyo por tecnología, pues activa los efectos de aprendizaje y fomenta la inversión privada en I+D+i con respecto a un único nivel de apoyo. Por otro lado, el mayor riesgo de la prima con respecto a la tarifa regulada (pues, en aquella, parte de los ingresos depende de la evolución desconocida del precio de la electricidad) y sus mayores costes de transacción, podrían suponer una menor participación de pequeños inversores, reduciendo la diversidad de actores, lo que tendría

<sup>13</sup> En el esquema incluimos los elementos de diseño más relevantes desde la perspectiva de sus efectos sobre la innovación. Para una discusión más detallada de estos y otros elementos de diseño, véase DEL RÍO (2010) y RAGWITZ *et al.* (2007).

## ESQUEMA 1

### PRINCIPALES ELEMENTOS DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE PROMOCIÓN

Primas	CVNs	Subastas
<ul style="list-style-type: none"> <li>— Niveles de apoyo diferentes por tecnologías vs. único nivel de apoyo.</li> <li>— Prima (adicional al precio de la electricidad) vs. tarifa regulada (remuneración por el total de la E-FER vendida).</li> <li>— Degresión (reducciones en el tiempo de los niveles de apoyo para las nuevas plantas) vs. no reducciones en el tiempo.</li> <li>— Larga duración del apoyo (20 años) vs. duración corta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Mayor número de CVNs emitidos por MWh de electricidad generado para tecnologías con mayor coste frente a la misma cantidad de CVNs emitidos para todas las tecnologías por MWh generado.</li> <li>— Larga duración del apoyo.</li> <li>— Precios máximos y mínimos de los CVNs.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Subastas diferenciadas por tecnologías vs. una única subasta para todas las tecnologías.</li> </ul>

FUENTE: Elaboración propia.

efectos negativos sobre la competencia y la innovación, como se ha mostrado anteriormente. Finalmente, la degresión aporta un incentivo para innovar y reducir el coste de las tecnologías en el tiempo, ajustándose así a unos menores ingresos en el tiempo (reducción de la prima).

Por otro lado, una mayor cantidad de CVNs por MWh de electricidad generado podría, en teoría, fomentar la difusión de las tecnologías de mayor coste y, por tanto, activar efectos de aprendizaje e inversión en I+D+i. Sin embargo, allí donde se han utilizado (Reino Unido, EE UU para la solar) no parece que su efecto haya sido el deseado (Wiser *et al.*, 2010). La existencia de un precio máximo del CVN sería perjudicial para las tecnologías cuyo coste superase ese precio máximo, es decir, para las tecnologías de mayor coste, aunque ese límite superior al precio se justificase por otras razones (mantener los costes para el consumidor en niveles razonables). En general, puede decirse que puede haber elementos de diseño que

mitiguen pero nunca eliminen la ineficacia de los CVNs para fomentar la innovación.

Finalmente, para el caso de la subasta, es muy recomendable realizar subastas diferentes por tecnologías, para asegurar la difusión de las de mayor coste.

En los tres casos es importante que el instrumento esté orientado a promover la nueva capacidad, es decir, que no se incluya a instalaciones existentes. En el caso de los CVNs, incluir instalaciones existentes es particularmente problemático para las tecnologías de mayor coste, pues el precio del CVN sería menor que si no se incluyeran (a menos que el objetivo se ajuste). Otro elemento de diseño común es una larga duración del apoyo, en el entorno de los 20 años. Por ejemplo, el sistema de CVNs sueco no fue eficaz en la promoción de las tecnologías renovables (más maduras) hasta que en 2006 se alargó el período de percepción de CVNs de 7 a 15 años (Mitchell *et al.*, 2011). Los horizontes temporales de largo plazo (20 años) también han demostrado ser importantes en el caso de las primas.

#### 4. Conclusiones

Dada la amplia utilización de los instrumentos de promoción de la E-FER a nivel mundial y europeo y la necesidad de disponer de tecnologías renovables mejoradas y a menor coste dentro de la cesta de tecnologías bajas en carbono, el análisis de los efectos de estos instrumentos sobre la innovación en tecnologías renovables es muy relevante. El análisis debe tener en cuenta la complejidad de dichos efectos, en los que existen varios factores e impactos directos y fenómenos de retroalimentación, y huir de enfoques teóricos simplistas que identifican únicamente relaciones lineales.

La conclusión fundamental es que, con respecto a los impactos sobre la innovación, las primas son, en general, superiores a otros instrumentos, aunque no en todos los aspectos considerados. Además, el efecto sobre la innovación viene determinado tanto por el instrumento específico utilizado como por los elementos de diseño de esos instrumentos.

En efecto, las primas han demostrado ser superiores a otros instrumentos en la creación de un mercado para tecnologías con diferentes niveles de madurez con un coste relativamente bajo (Comisión Europea, 2008). Además, han permitido activar las diferentes dimensiones de los efectos sobre la innovación más que otros instrumentos y, por tanto, resultan un buen complemento a las ayudas públicas a la I+D+i. En contraste, los CVNs tienen dos principales problemas desde la perspectiva de la influencia sobre la innovación: excesivo riesgo para el inversor, como consecuencia de incertidumbre sobre el nivel de precios futuros de los CVNs (y su volatilidad), e incapacidad de crear un mercado para las tecnologías inmaduras. Aplicar el instrumento de CVNs a un entorno geográfico amplio (por ejemplo, la Unión Europea) en lugar de solo a nivel nacional de países concretos mitigaría la volatilidad del precio causada por mercados estrechos o condiciones climatológicas inesperadamente desfavorables, haciendo el precio del CVN más predecible. Aplicar el instrumento por tecnología con objetivos para cada tecnología renovable permi-

tiría crear un mercado para las inmaduras y evitaría los excesivos beneficios para las maduras (ocasionados por un alto precio del CVN fijado por la tecnología marginal necesaria para cubrir la cuota y que normalmente estará muy por encima de los costes de las tecnologías maduras). Obviamente, esto no se ha intentado en la práctica y, por tanto, no existe ningún estudio empírico que haya analizado cómo ha funcionado realmente.

Aunque son los gobiernos de los países los que aplican instrumentos de promoción de la E-FER, la relevancia de los efectos sobre la innovación excede con mucho el interés de países concretos, pues a pesar de que los costes de dicha promoción recaen en esos países, los beneficios son compartidos por otros. Los procesos de innovación se caracterizan por la existencia de efectos desbordamiento (*spillovers*) que hacen que sea difícil para el país que realiza el esfuerzo inicial apropiarse de ciertos beneficios de la innovación (reducciones de costes de las tecnologías y mitigación del cambio climático). Sin embargo, algunos beneficios de las inversiones son locales y parcialmente apropiables por dicho país (beneficios ambientales locales, diversificación del suministro energético y creación de industria).

Por tanto, si el Gobierno considera que, en efecto, existen beneficios derivados de los efectos sobre la innovación que pueden ser apropiables por el país que hace el esfuerzo, entonces debe plantearse qué tipo de instrumentos y/o elementos de diseño son más adecuados en este contexto. Es obvio que deben combinarse instrumentos de *demand-pull* y *supply-push*. Sin embargo, el peso relativo de ambos tipos de instrumentos en la mencionada combinación varía con el grado de madurez de las tecnologías, siendo crucial la I+D+i para las tecnologías emergentes o inmaduras y relativamente más importante el apoyo a la difusión para las tecnologías maduras y de bajo coste.

Teniendo en cuenta que las tecnologías evolucionan a lo largo del proceso de innovación, el apoyo debe también ir adaptándose con el paso del tiempo. En efecto, se debe invertir inicialmente en I+D+i en tecnologías emergentes con un gran potencial de desarrollo futuro e

ir combinando posteriormente dicho apoyo con ayudas a proyectos de demostración e instrumentos de difusión de esas tecnologías conforme la tecnología madura. Esta estrategia tiene considerables réditos a largo plazo, como muestran los casos españoles de la eólica y la solar termoeléctrica, en los que existe una potente industria nacional en todas las fases de la cadena de valor de la tecnología, siendo España un líder en ambas tecnologías<sup>14</sup>. Por el contrario, el caso de la solar fotovoltaica sugiere que fomentar un gran nivel de difusión (gran mercado nacional) cuando la capacidad tecnológica en las fases iniciales de la cadena de valor es relativamente débil, implica importar tecnología y, sobre todo, contribuir a la curva de aprendizaje en otros países<sup>15</sup>.

Los sistemas de promoción permiten que las tecnologías ya maduras, pero de alto coste (como en general ocurre con las tecnologías solares), puedan desarrollarse en un nicho, provocando reducciones en el coste y mejoras en la calidad de las mismas. Para aquellas de mayor coste está más justificado complementar este apoyo con ayudas a la I+D+i, reduciéndose proporcionalmente el apoyo a la I+D+i conforme la tecnología madura y su coste se reduce. El instrumento de promoción más apropiado para acompañar a las ayudas a la I+D+i, sea cual sea el grado de madurez de la tecnología, es las primas, como muestra la evidencia empírica sobre los instrumentos de promoción.

Las acciones orientadas a reforzar el posicionamiento internacional de la industria nacional deben tener en cuenta cuáles son las ventajas competitivas y comparativas del país en las diferentes fases de la cadena de valor y la especialización actual de la industria nacional. Por ejemplo, si la industria nacional está especializada

en las últimas fases de la cadena de valor, el apoyo a la I+D+i no tiene mucho sentido y sí lo tiene el apoyo a la difusión. Por el contrario, si la industria nacional está bien posicionada en las primeras fases del proceso innovador, entonces el apoyo a la I+D+i sí está justificado.

La innovación en tecnologías renovables representa sin duda una oportunidad para un país relativamente bien posicionado en el sector como España, contribuyendo a la emergencia de nuevos sectores de «economía verde» con gran potencial exportador. La mezcla de lo público y lo privado, del ámbito energético e industrial requiere la definición de una estrategia integral con objetivos y la participación de actores públicos y privados en la que se coordinen adecuadamente los apoyos a la difusión (con instrumentos de promoción) con el apoyo a la creación de industria y a la I+D+i.

En todo caso, este tema no está cerrado y se requiere más investigación en varios frentes. Por ejemplo, es necesario analizar la complementariedad de la inversión pública y privada en I+D+i en tecnologías renovables. Por otro lado, debe prestarse más atención empírica a los factores que fomentan las fases del proceso innovador anteriores a la fase de difusión, y las barreras a la misma en tecnologías renovables concretas. De ello pueden extraerse implicaciones de política pública orientadas a promover la innovación. Finalmente, debe llevarse a cabo un estudio internacional riguroso que identifique cuál ha sido el impacto sobre la innovación de los distintos instrumentos de promoción de las renovables.

## Referencias bibliográficas

- [1] AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA (AIE) 2008: *Energy Technology Perspectives*. Paris.
- [2] AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA (AIE) 2009: *World Energy Outlook*. Paris.
- [3] AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA (AIE) 2010: *Energy Technology Perspectives*. Paris.
- [4] ASIF (2011): *Hacia el crecimiento sostenido de la fotovoltaica en España*. Informe anual. Madrid. [www.asif.org](http://www.asif.org).
- [5] ASOCIACIÓN EMPRESARIAL EÓLICA (AEE) (2011): *Anuario Eólica 11*. [www.aeeolica.org](http://www.aeeolica.org).

<sup>14</sup> Véase, por ejemplo, que los datos demuestran una importante presencia de la industria española en toda la cadena de valor de esas tecnologías, desde la fase de I+D+i hasta la provisión de servicios asociados con su difusión (véase IDAE, 2010; IDAE, 2011; AEE, 2011; ASIF, 2011 y ENERGÍAS RENOVABLES, 2011).

<sup>15</sup> En contraste con la eólica y la solar termoeléctrica, en las que España es un exportador neto de equipos, servicios y tecnología ligados a esta industria, en solar somos importadores (véase IDAE, 2011).

- [6] ASTRAND, K. y NEIJ, L. (2006): «An Assessment of Governmental Wind Power Programmes in Sweden—Using a Systems approach». *Energy Policy* 34, 277-296.
- [7] BERGEK, A.; JACOBSSON, S.; CARLSSON, B.; LINDMARK, S. y RICKNE, A. (2008): «Analyzing the Functional Dynamics of Technological Innovation Systems-A Scheme of Analysis». *Research Policy*, 37(3): 407-429.
- [8] BUTLER, L. y NEUHOFF, K. (2008): «Comparison of Feed-in Tariff, Quota and Auction Mechanisms to Support Wind Power Development». *Renewable Energy*, 33: 1854-1867.
- [9] COMISIÓN EUROPEA (1999): *Electricity from Renewable Energy Sources and the Internal Electricity Market*. Commission Working Document. 13.04.1999. SEC (1999) 470 final.
- [10] COMISIÓN EUROPEA (2008): The Support of Electricity from Renewable Energy Sources Commission Staff Working Document. Accompanying Document to the Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources {COM(2008) 19}. SEC(2008) 57. Brussels.
- [11] COMISIÓN EUROPEA (2011): *Accompanying Document to the Roadmap for Moving to a Competitive low Carbon Economy in 2050*. Impact assessment. Brussels, 8.3.2011 SEC(2011) 288 final.
- [12] CRIQUI, P.; KLAASEN, G. y SCHRATTENHOLZER, L. (2000): *The Efficiency of Energy R&D Expenditures. Workshop on Economic Modelling of Environmental Policy and Endogenous Technological Change*. November 16-17. Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences. Amsterdam.
- [13] DEL RÍO, P. (2008): «Ten Years of Renewable Electricity Policies in Spain: an Analysis of Successive Feed-in Tariff Reforms». *Energy Policy* 36(8), 2917-2929.
- [14] DEL RÍO, P. (2009): «La promoción de la electricidad renovable en España en el contexto europeo». *Información Comercial Española. Revista de Economía*, número 847, marzo-abril, 59-74, Madrid.
- [15] DEL RÍO, P. (2010): «Analysing the Interactions between Renewable Energy Promotion and Energy Efficiency Support Schemes: The Impact of Different Instruments and Design Elements». *Energy Policy* 38(9), 4978-4989.
- [16] DEL RÍO, P. y GUAL, M. A. (2004): «The Promotion of Green Electricity in Europe: Present and Future». *European Environment Journal*, 14: 219-234.
- [17] DEL RÍO, P. y UNRUH, G. (2007): «Overcoming the Lock-out of Renewable Energy Technologies in Spain: the Cases of Wind and Solar Electricity». *Renewable and Sustainable Energy Review*, 11(7): 1498-1513.
- [18] EDENHOFER, O. *et al.* (2009): *The Economics of Decarbonization*. Report of the RECIPE Project. Potsdam (Germany): Potsdam-Institute for Climate Impact Research, <http://www.pik-potsdam.de/recipe>.
- [19] EGENHOFER, C. y JANSEN, J. (2006): «A Timetable for Harmonisation of Support Schemes for Renewable Electricity in the EU». *European Review of Energy Markets*, 1(2): 1-28.
- [20] EKK, K. y SODERHOLM, P. (2010): «Technology Learning in the Presence of Public R&D: The Case of European Wind Power». *Energy Policy* (en prensa).
- [21] ENERGÍAS RENOVABLES (2011): «La termosolar es “made in Spain” en un 75 por 100». *Energías Renovables*, 5 de septiembre de 2011.
- [22] EURELECTRIC (2010): «Power Choices. Pathways to Carbon-neutral Electricity in Europe by 2050», Full report.
- [23] FARREL, J. (2009): *Feed-in Tariffs in America*. Heinrich Böll Foundation North America. Washington D.C.
- [24] FISCHER C. y NEWELL, R. (2008): «Environmental and Technology Policies for Climate Mitigation». *J. Environ. Econ. Manage.* 55 (2), 142-62.
- [25] FOXON, T.; GROSS, R.; CHASE, A.; HOWES, J.; ARNALL, A. y ANDERSON, D. (2005): «U.K. Innovation Systems for new and Renewable Energy Technologies: Drivers, Barriers and Systems Failures». *Energy Policy* 33, 2123-2137.
- [26] FUNDACIÓN ENTORNO (2011): *Cómo aprovechar la capacidad tecnológica de la empresa española*. Madrid.
- [27] GREENPEACE AND THE EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL (2010): *Energy (R)evolution. Towards a Fully Renewable Energy Supply in the EU 27*.
- [28] HAAS, R. *et al.* (2004): «How to Promote Renewable Energy Systems Successfully and Effectively». *Energy Policy* 32, 833-839.
- [29] HUBER, C. *et al.* (2004): *Green-X: Deriving Optimal Promotion Strategies for Increasing the Share of RES-E in a Dynamic European Electricity Market*, Vienna University of Technology Energy Economics Group, Vienna.
- [30] IDAE (2010): *Renovables made in Spain*. Energías renovables en España.
- [31] IDAE (2011): *Impacto económico de las energías renovables en el sistema productivo español*. Estudio Técnico PER 2011-2020.
- [32] INTERGOVERNMENT PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2007): *Fourth Assessment Report*. Working Group III. Ginebra.
- [33] JACOBSSON, S. y BERGEK, A. (2004): *Transforming the Energy Sector: the Evolution of Technology Systems in Renewable Energy Technology*. Industrial and Corporate Change, 13(5): 815-849.
- [34] JAFFE, A.; NEWELL, R. y STAVINS, R. (2005): «A Tale of two Market Failures: Technology and Environmental Policy». *Ecological Economics*, 54(2-3): 164-174.
- [35] JOHNSTONE, N.; HASCIC, I. y POPP, D. (2010): «Renewable Energy Policies and Technological Innovation: Evidence Based on Patent Counts». *Environmental and Resource Economics*, 45(1): 133-155.

- [36] JUNGINGER, M.; FAAIJ, A. y TURKENBURG, W. (2005): «Global Experience Curves for Wind Farms». *Energy Policy* 33, 133-150.
- [37] KERR, S. (2010): «Do We Have the Energy for the Next Transition?», *Science*, 13 August: 780-781.
- [38] LEE, B.; LLIEV, L. y PRESTON, F. (2009): *Who Owns our Low Carbon Future? Intellectual Property and Energy Technologies*, Chatham House Report, London.
- [39] LUND, H. (2010): «The Implementation of Renewable Energy Systems. Lessons learned from the Danish case», *Energy*, 35(10), 4003-4009.
- [40] MARECHAL, K. (2007): «The Economics of Climate Change and the Change for Climate in Economics», *Energy Policy*, 35(10): 5181-5194.
- [41] MARKARD, J. y TRUFFER, B. (2008): «Technological Innovation Systems and the Multi-level Perspective: Towards an Integrated Framework», *Research Policy*, 37: 596-615.
- [42] MENANTEAU, P.; FINON, D. y LAMY, M. (2003): «Prices versus Quantities: Choosing Policies for Promoting the Development of Renewable Energy», *Energy Policy*, 31, 799-812.
- [43] MITCHELL *et al.* (2011): *Policy, Financing and Implementation. En IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, Cambridge University Press, Cambridge.
- [44] MCKINSEY (2009): *Pathways to a Low-carbon Economy*. McKinsey & Company.
- [45] NEUHOFF, K. *et al.* (2009): *Translating Model Results into Economic Policies* RECIPE Working Paper. Potsdam (Germany): PIK. Available online at [www.pik-potsdam.de/recipe](http://www.pik-potsdam.de/recipe).
- [46] NEWELL, R. (2008): *A U.S. Innovation Strategy for Climate Change Mitigation*. Discussion Paper 2008-15. Hamilton Project, Brookings Institution, Washington, DC.
- [47] OCDE (2011): *Fostering Innovation and Green Growth*. DSTI/IND/STP/ICCP(21)4. Paris.
- [48] POPP, D. (2010): *Innovation and Climate Policy*. NBER working paper 15673, Cambridge, MA, <http://www.nber.org/papers/w15673>.
- [49] RAGWITZ, M. *et al.* (2007): *Assessment and Optimisation of Renewable Energy Support Schemes in the European Electricity Market*, Final Report of the project OPTRES. Supported by the European Commission, Bruselas.
- [50] RICKERSON, W.; SAWIN, J. y GRACE, R. C. (2007): «If the Shoe Fits: Using Feed-in Tariffs to Meet US Renewable Electricity Targets», *The Electricity Journal*, 20(4), 73-86.
- [51] SCHAEFFER, G. J.; BOOTS, M.; ANDERSON, T.; MITCHELL, C.; TIMPE, C. y CAMES, M. (2000): *Options for Design of Tradable Green Certificate Systems*. ECN-C--00-032. ECN, Pettern. The Netherlands.
- [52] SIJM, J. (2002): *The performance of Feed-in Tariffs to Promote Renewable Electricity in European Countries*. ECN-C—083. Pettern. The Netherlands.
- [53] STERN, N. (2006): *Stern Review on the economics of climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [54] UNRUH, G. C. (2000): «Understanding carbon lock-in», *Energy Policy*, 28(12), 817-830.
- [55] VAN DEN BERG, J. y KEMP, R. (2008): «Transition Lessons from Economics». In: VAN DEN BERG, J. y BRUINSMA, F. (eds.): *Managing the Transition to Renewable Energy*, Edward Elgar, Cheltenham, 81-128.
- [56] WATANABE, C.; WAKABAYASHI, K. y MIYAZAWA, T. (2000): «Industrial Dynamism and the Creation of a Virtuous Cycle between R&D, Market growth and Price Reduction. The case of Photovoltaic Power Generation (PV) development in Japan», *Technovation* 20(6), 299-312.
- [57] WISER, R.; BARBOSE, G. y HOLT, E. (2010): «Supporting Solar Power in Renewables Portfolio Standards: Experience from the United States», *Energy Policy*.
- [58] WOOLTHUIS, R.; LANKHUIZEN, M. y GILSING, V. (2005): «A System Failure Framework for Innovation Policy Design», *Technovation*, 25: 609-619.