

17

INFORME ESPAÑA 2010

una interpretación
de su realidad social



Fundación Encuentro



Edita: **Fundación Encuentro**
Oquendo, 23
28006 Madrid
Tel. 91 562 44 58 - Fax 91 562 74 69
correo@fund-encuentro.org
www.fund-encuentro.org

ISBN: 978-84-89019-37-9
ISSN: 1137-6228
Depósito Legal: M-26551-2010

Fotocomposición e Impresión: Albadalejo, S.L.
Antonio Alonso Martín, s/n - Nave 10
28860 Paracuellos del Jarama (Madrid)

PARTE QUINTA: TERRITORIO**Capítulo V****SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LA
ELECTRICIDAD RENOVABLE**

281

I.	Tesis Interpretativas	283
1.	Opiniones y consensos	283
2.	Una opción razonada y razonable por las renovables	284
II.	Red de los Fenómenos	287
1.	Ámbito de análisis, objetivos y metodología	287
2.	Breve descripción de las tecnologías de generación eléctrica renovable	288
3.	Situación actual de la electricidad renovable	289
3.1	A nivel mundial	289
3.2	En la Unión Europea	292
3.3	En España	293
4.	Ventajas e inconvenientes de las tecnologías renovables	298
4.1	Valoración multicriterio	298
4.2	Emisiones de gases de efecto invernadero	304
4.3	Otros impactos ambientales	306
4.4	Diversificación y fiabilidad del suministro	309
4.5	Los costes de las tecnologías y de su promoción pública	311
4.6	Beneficios de eficiencia dinámica	318
4.7	Creación de oportunidades de desarrollo de una industria local	319
4.8	Efectos sobre el empleo	320
4.9	Efectos sobre el precio de la electricidad	323
5.	Determinantes y barreras al desarrollo y difusión de tecnologías de electricidad renovable	324
5.1	Discusión general	324
5.2	Evaluación desde una perspectiva europea y española	333
6.	El futuro de la electricidad renovable	345
6.1	En el mundo	345
6.2	En la Unión Europea	347
6.3	En España	348

Capítulo V

SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LA ELECTRICIDAD RENOVABLE

I. TESIS INTERPRETATIVAS

1. Opiniones y consensos

Como en otras cuestiones de nuestra vida social y económica, las divergencias de opinión y posición en los temas energéticos y ambientales son considerables. En la vida pública española, esas diferencias se han manifestado recientemente y han traspasado el ámbito de las discusiones académicas para formar parte de un debate social de enorme trascendencia. Obviamente, varios factores, decisiones y eventos han generado ese debate, entre los que –unos más visibles que otros– cabe apuntar las decisiones sobre la continuidad de las centrales nucleares cuando llegan al final de su vida útil o las subvenciones al carbón.

Sin embargo, existe un inusual consenso sobre la necesidad de cambiar nuestro modelo energético, que se ha manifestado como una preocupación común tanto a nivel mundial como europeo y nacional. Hay una gran inquietud por la sostenibilidad económica, social y ambiental de un sistema energético, el existente, que presenta problemas en esas tres dimensiones.

Por supuesto, algunos de esos problemas se manifestarán con especial virulencia a medio o largo plazo. No se trata sólo de que las fuentes energéticas convencionales para producir electricidad (carbón y gas) sean muy contaminantes en términos de emisión de gases de efecto invernadero, que contribuyen al cambio climático y que pueden afectar a las generaciones futuras. Tampoco se trata sólo, aunque también, de que estemos basándonos en fuentes agotables de las que difícilmente podremos disponer a costes razonables en un futuro no tan lejano.

No, el problema se está produciendo ya. La contaminación local generada por las centrales de generación eléctrica convencional contribuye a aumentar los índices de morbilidad y mortalidad a nivel mundial, pero también europeo y nacional. La volatilidad de los precios del petróleo y del gas hace vulnerables a las economías que, como la europea o la española, son muy dependientes de este recurso. A esto se une la mayor escasez relativa derivada de una creciente demanda energética por parte de países emergentes y un agotamiento gradual del recurso. Nuestra preocupación es que, en un momento dado, nos “cierren el grifo” energético. Se dice que esta situación no es probable. Pero sí es posible. Basta observar dónde están concentradas las reservas de estos combustibles.

Definitivamente, las tecnologías de generación renovable están aquí para quedarse. Se espera que su participación en la generación eléctrica

total en 2030 sea muy importante, tanto a nivel mundial y europeo como nacional. Supondrán entre el 25% y el 37% de toda la generación mundial, entre el 29% y el 38% de la generación eléctrica en la Unión Europea y entre el 16% y el 53% de la generación eléctrica en España. En nuestro país, los valores más probables se situarán entre el 30% y el 40%.

A nivel mundial, europeo y español, las tecnologías de generación eléctrica renovable que más crecerán son las que hoy tienen un peso más pequeño: las tecnologías solares. La que menos crecerá es la que tiene un peso mayor, la hidráulica, aunque su difusión en los países menos desarrollados será mayor que en los más desarrollados, dado que en estos últimos el potencial aprovechable ya ha sido explotado en gran parte. La eólica, que ya hoy tiene una significativa participación en algunos países europeos, incluida España, tendrá crecimientos medios, llegando a unos índices de penetración muy considerables en el horizonte 2030 (entre el 5% y el 9% de toda la generación mundial, entre el 12% y el 17% en la Unión Europea y entre el 20% y el 35% en España). La evolución de la biomasa dependerá de la eliminación de sus barreras no económicas, en particular de las relacionadas con la logística del recurso.

Los determinantes de esa mayor penetración de la electricidad renovable serán una mezcla de consideraciones económicas (preocupación por los efectos económicos de la (in)seguridad del suministro energético) y ambientales, traducidas en una mayor concienciación social y, por ende, en la adopción de medidas políticas para incrementar la penetración de las renovables, al menos en los países desarrollados. En particular, hay que destacar en Europa la recientemente aprobada Directiva de Energías Renovables (Directiva 2009/28/CE), que establece objetivos a nivel europeo y nacional para la penetración de energías renovables en el consumo energético.

2. Una opción razonada y razonable por las renovables

El consenso sobre la necesidad de un cambio en nuestro modelo energético suele acompañarse de un acuerdo mayoritario (aunque no consenso) sobre el papel fundamental que deben desempeñar las renovables en el mix de generación en el futuro. Las renovables tienen muchas ventajas y algunas desventajas en este sentido. Pero la clave no es renovables sí, renovables no, o todo renovables o nada renovables. Hace tiempo que los extremos dejaron de ser útiles para la toma de decisiones y para resolver estos problemas. Porque en cada extremo se pierde la perspectiva y se olvida algún criterio relevante. La cuestión es hasta dónde. Y todos los modelos económicos energético-ambientales defienden (en esto también hay consenso) que la penetración debe ser sustancial y creciente, tanto a nivel mundial como europeo y nacional, teniendo en cuenta que se parte de ín-

dices de penetración muy bajos. Sólo así se podrán resolver los problemas planteados, tanto de corto como de largo plazo y, en particular, los relativos a la seguridad del suministro energético y al cambio climático.

Incremento de renovables, sí, pero, ¿qué tecnologías? ¿Con qué instrumentos? Únicamente un análisis que descienda al nivel de las características de las tecnologías renovables y de los obstáculos para su desarrollo y difusión es capaz de contestar estas cuestiones. Se suele simplificar y meter a todas las renovables en el mismo saco. Pero, como sus características y las barreras que afrontan para su penetración son diferentes, no valen las soluciones generales. Por el contrario, son necesarios trajes a medida. Algunas renovables tienen hoy un mayor coste que otras. Unas se encuentran en un estado de inmadurez (son “bebés” tecnológicos) y otras ya han pasado a la fase de comercialización. Todas necesitan apoyos, pero unas más que otras, y el instrumento para promover una puede no ser adecuado para promover otra.

Se necesita una combinación de tecnologías y una combinación de instrumentos. Se deben promover las que son hoy opciones maduras, aunque tengan mayores costes que las convencionales porque, entre otras cosas, éstas no internalizan los costes ambientales y han tenido mucho tiempo para mejorar, reducir sus costes y crear una infraestructura tecnológica e institucional adaptada a ellas. Y hay que apoyarlas, en lo posible, con instrumentos de mercado que han demostrado ser eficientes en costes.

Pero se debe ayudar también a las inmaduras. Las que actualmente son “bebés” pueden ser mañana opciones claves para afrontar desafíos energético-ambientales a un coste moderado. Tiene sentido permitirles crecer y no tratarlas como “adultos” tecnológicos, pero no lo tiene una difusión en masa de las tecnologías más inmaduras pues son eso, inmaduras, y de mayor coste. Se tienen que fomentar simultáneamente todas las tecnologías, maduras e inmaduras, de forma inteligente. El tipo y grado de apoyo dependerá del nivel de difusión que se quiera que tengan, y esto debe estar en función de su grado de madurez.

Y, sobre todo, hay que dedicar esfuerzos a identificar cuáles son las barreras al desarrollo de distintas tecnologías y qué debemos hacer para eliminarlas. Sólo así seremos capaces de cambiar nuestro modelo energético, facilitando una sustancial penetración de renovables de forma eficaz y eficiente.

Conviene apostar por estas energías y tecnologías, que no sólo suponen beneficios desde la perspectiva de la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y seguridad del suministro, sino también de creación de industria. Es obvio que éste no puede ser el argumento principal para apoyar a las renovables. Los gobiernos no son el actor más indicado para crear industrias directamente. Pero tampoco pueden negarse los efectos que sobre la creación de una industria local muy dinámica y con un gran

potencial exportador tienen unas energías a las que sin duda debe apoyarse primordialmente por los beneficios sociales que generan para el país en términos ambientales y de diversificación del suministro energético.

España no debe perder el tren de esta dinámica industria, pues tiene una base industrial menos sólida en comparación con otros países de nuestro entorno. En todo caso, nuestras empresas se están aprovechando ya de la apuesta por las renovables en otras zonas del mundo. La creación de mercados para las renovables está siendo particularmente dinámica en Estados Unidos y China. Las mejoras tecnológicas constantes, los beneficios sociales que implican estas energías, la aceptación social generalizada, la consiguiente percepción de la importancia de apoyarlas por parte de los gobiernos y la creación de una industria ya consolidada a nivel mundial ha provocado una coalición de fuerzas entre actores socioeconómicos (gobiernos, empresas, entidades financieras, ONGs y público en general). A su vez, esto ha dado lugar, a nivel mundial, europeo y nacional, a un proceso irreversible de crecimiento y asentamiento de una industria hasta hace poco emergente, provocando la aparición de empresas especializadas en estas tecnologías y de un mercado muy dinámico. Sus perspectivas futuras de crecimiento, especialmente en un escenario con políticas ambiciosas de mitigación de gases de efecto invernadero, son muy buenas, alimentadas por la interdependencia entre la evolución tecnológica, la existencia de mercados e intereses ya creados y la implantación o continuidad de las políticas públicas de promoción de estas energías.

En efecto, las renovables ya no son tan residuales. Crecen y van dejando de ser el hermano pequeño del sistema eléctrico. De su ritmo de crecimiento futuro dependerá que se consolide el cambio hacia un modelo energético más sostenible, con indudables beneficios sociales. Deben, no obstante, ponderarse adecuadamente esos beneficios con los costes de unas energías que todavía son más caras que sus competidores convencionales. En este sentido, debe tenerse en cuenta la opinión del consumidor eléctrico, que es finalmente quien paga ese coste. No debe despreciarse el hecho de que unos crecimientos considerables de los costes del apoyo público pueden generar un rechazo social que ponga en peligro finalmente la viabilidad política de ese apoyo.

II. RED DE LOS FENÓMENOS

1. Ámbito de análisis, objetivos y metodología

El acceso a la energía en general, y a la electricidad en particular, constituye una necesidad de las sociedades modernas, tanto para los procesos de producción como para nuestros estilos de vida. Nuestra vida diaria resulta inconcebible sin acciones tan comunes como encender la luz cuando llegamos a casa. Muchos de los aparatos que forman parte de nuestra vida profesional y personal dependen del consumo de electricidad.

Se utilizan varias tecnologías para transformar los recursos energéticos en la electricidad que es consumida por los usuarios finales. Un grupo estaría formado por las tecnologías que a lo largo de este capítulo se denominan “convencionales” y que están basadas en combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural y uranio). En otro, pueden incluirse las que aprovechan los recursos renovables, como la eólica, la hidráulica, la solar y la biomasa. A escala mundial, europea y nacional, se es cada vez más consciente de la conveniencia de inducir un proceso de transición desde las primeras, dominantes en esos tres niveles, a las segundas. Esto tiene que ver con el reconocimiento en el ámbito político de algunos problemas causados por esas fuentes y tecnologías convencionales y, en particular, con los riesgos provocados en la seguridad del suministro energético y las emisiones de contaminantes, tanto locales como globales, a que dan lugar.

Existe una opinión casi unánime, al menos en el contexto europeo y nacional, acerca de la necesidad de un “cambio en el modelo energético” hacia un mayor peso de las tecnologías y fuentes renovables. A nivel europeo y nacional existen objetivos de penetración para 2020, establecidos en la recientemente aprobada Directiva de Energías Renovables¹. No obstante, las opiniones de los expertos, pero también del público en general y de los propios políticos, divergen con respecto al ritmo de crecimiento de esas energías y al nivel de participación que deben tener a medio y largo plazo. Esto se debe a la distinta percepción de los problemas y riesgos de cada fuente energética (costes de generación, problemas ambientales, seguridad del suministro...), lo que refleja, a su vez, que todas las fuentes energéticas para la generación de electricidad tienen ventajas e inconvenientes, que son valorados de diferente forma según las personas.

¹ Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.

El objetivo de este capítulo es analizar la situación actual y las perspectivas futuras de la electricidad procedente de fuentes de energía renovables (“electricidad renovable”) a nivel mundial, europeo y español. La metodología utilizada está basada en una profunda revisión de la literatura, la consulta a algunos expertos en el ámbito energético-ambiental y la utilización de estadísticas oficiales.

En primer lugar, se describen brevemente las tecnologías de generación eléctrica. Después se analiza cuál ha sido la evolución reciente de la electricidad renovable (desde 1990) y su situación actual, tanto a nivel mundial como europeo y español. A continuación se examinan las ventajas e inconvenientes de las tecnologías de generación eléctrica renovable comparándolas con otras tecnologías convencionales de generación eléctrica a partir de varios criterios relevantes, de índole económica, social y ambiental. En el siguiente epígrafe se identifican posibles determinantes y barreras al desarrollo y la difusión de las tecnologías de electricidad renovable, a través de algunas variables consideradas importantes, teniendo en cuenta también su evolución (costes, desarrollo tecnológico previsto, grados de madurez, políticas públicas existentes y esperables, etc.). Por último, se analiza la posible evolución en la difusión de estas tecnologías renovables, teniendo en cuenta los posibles determinantes y barreras ya tratados anteriormente.

2. Breve descripción de las tecnologías de generación eléctrica renovable

Las energías renovables son aquellas que no requieren de plazos muy largos para ser generadas por la naturaleza, en contraste con los combustibles fósiles. Las fuentes de energía renovables pueden utilizarse para distintos usos finales: electricidad, transporte y calor/frío. Este estudio presta atención a la generación eléctrica a partir de fuentes renovables (E-FER) o “electricidad renovable”.

La Directiva 2009/28/CE define como fuentes de energía renovables a aquellas no fósiles y, en particular, a la energía eólica, energía solar, energía geotérmica, energía del oleaje, energía mareomotriz, energía hidráulica, biomasa, gases de vertedero, aprovechamiento de gases de depuración y biogás (cuadro 1)².

² Para más detalles sobre las tecnologías de generación eléctrica renovable, véase Centro Nacional de Energías Renovables (2006): *Las energías renovables en España. Diagnóstico y perspectivas*.

Cuadro 1 – Definiciones de las energías renovables

Energía eólica:	Obtenida de la fuerza del viento, es decir, mediante la utilización de la energía cinética generada por las corrientes de aire.
Energía solar:	Aprovechamiento de la energía del Sol.
Energía solar térmica:	Aprovechamiento de la energía del Sol con o sin mediación de elementos mecánicos.
Energía solar fotovoltaica:	Genera electricidad a partir del llamado efecto fotovoltaico que se produce al incidir la luz sobre materiales semiconductores.
Energía solar termoelectrica:	Receptor solar consistente en un conjunto de espejos que reflejan la radiación sobre un intercambiador de calor o fluido.
Energía geotérmica:	Obtenida mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra y ligada a volcanes, aguas termales, fumarolas y géiseres.
Energía del oleaje:	Producida por el movimiento de las olas.
Energía mareomotriz:	Se debe a las fuerzas gravitatorias entre la Luna, la Tierra y el Sol, que originan las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa entre estos tres astros, utilizando turbinas hidráulicas que se interponen en el movimiento natural de las aguas.
Energía hidráulica:	Transforma la energía potencial de un curso de agua en energía eléctrica disponible, como consecuencia de la diferencia de nivel entre dos puntos.
Biomasa:	Conjunto de la materia orgánica, de origen vegetal o animal, que incluye específicamente los residuos procedentes de las actividades agrícolas, ganaderas y forestales, así como los subproductos de las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera.
Gases de vertedero:	Producción de energía a partir de la captación del gas producido por la deposición de materia orgánica en vertederos que es una mezcla de metano, dióxido de carbono y otros componentes.
Gases de plantas de depuración:	Producción de energía en forma de gas combustible (biogás) obtenido del propio proceso de depuración de las aguas residuales.
Biogás:	Gas que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores, en ausencia de aire.

Fuente: IDAE.

3. Situación actual de la electricidad renovable

3.1 A nivel mundial

Aunque el *boom* de las tecnologías renovables es reciente, esas tecnologías existen desde hace mucho tiempo. A partir de la década de los años setenta del siglo pasado es cuando en muchos países desarrollados se las empieza a considerar seriamente como una alternativa a las fuentes convencionales. En esa década se producen los mayores incrementos en las inversiones en investigación y desarrollo orientadas a su mejora. Y en los años noventa se introducen marcos de apoyo para incrementar su penetración en el consumo eléctrico.

La razón fundamental del auge de las inversiones en I+D en renovables estuvo impulsado por la búsqueda de la diversificación en el suministro energético, a su vez relacionado con el *shock* del petróleo de 1973 y la preocupación por la vulnerabilidad de las economías avanzadas ante crisis energéticas similares³. Posteriormente, la preocupación por los problemas ambientales, y muy en particular por el cambio climático, ha acelerado la aplicación de políticas públicas de apoyo a las renovables en los países desarrollados⁴. Hasta la última década, las renovables no hidráulicas no han experimentado un crecimiento considerable. No obstante, como partían de una implantación muy baja, siguen siendo una fuente energética minoritaria en la generación eléctrica.

Los datos sobre la evolución de las distintas fuentes de generación eléctrica mundial en el período 1990-2007 muestran crecimientos de todas las fuentes, excepto del petróleo (tabla 1). La mayor tasa de incremento se produce en el caso de la eólica, seguida de la solar y el gas. Otras renovables (hidráulica, biomasa y geotérmica) experimentan aumentos importantes, pero muy inferiores.

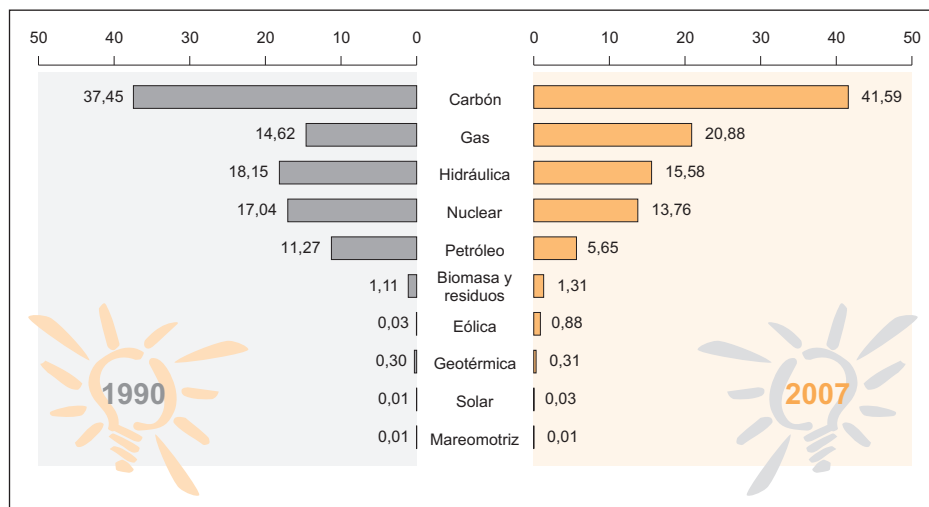
Tabla 1 – Evolución de la generación eléctrica mundial por fuente. En TWh. 1990-2007

	1990	2007	% de variación
Eólica	4	173	4.225,0
Solar	1	5	400,0
Gas	1.727	4.126	138,9
Biomasa y residuos	131	259	97,7
Carbón	4.424	8.216	85,7
Geotérmica	36	62	72,2
Hidráulica	2.144	3.078	43,6
Nuclear	2.013	2.719	35,1
Mareomotriz	1	1	0,0
Petróleo	1.332	1.117	-16,1
Total	11.814	19.756	67,2

Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Agencia Internacional de la Energía (2009): *World energy outlook 2009*. París.

³ Según datos de la Agencia Internacional de la Energía, la inversión pública mundial en investigación, desarrollo y demostración en renovables se incrementó de manera considerable desde 1973 hasta 1980, reduciéndose después hasta alcanzar un mínimo en 1989. Aunque ha aumentado desde entonces, no ha alcanzado los niveles de 1980. Véase Agencia Internacional de la Energía (2009): *World energy outlook 2009*. París, p. 291

⁴ La principal motivación en los países menos desarrollados ha sido el acceso a la energía eléctrica. Más de 1.700 millones de personas en el mundo no disponen hoy de acceso a la electricidad, lo que limita las posibilidades de desarrollo y bienestar social de la población. Véase Schmalensee, R. (2009): *Renewable Electricity Generation in the United States*. Center for Energy and Environmental Policy Research.

Gráfico 1 – Evolución de la generación eléctrica mundial por fuente. En porcentaje de participación. 1990-2007

Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Agencia Internacional de la Energía (2009): *World energy outlook 2009*. París.

A pesar del importante crecimiento de las renovables en el período, éstas siguen teniendo un peso muy reducido en el mix eléctrico mundial (2,5% sin considerar la hidráulica, 18,1% si se incluye); dicha contribución era del 1,5% en 1990 (19,6% con la hidráulica). La participación relativa apenas ha aumentado e incluso se ha reducido cuando se considera la hidráulica, como se observa claramente en el gráfico 1. Seguimos viviendo en un mundo muy dependiente de los combustibles fósiles para la generación eléctrica.

Dada su relevancia mundial, China y Estados Unidos merecen un comentario aparte. Según datos de la Agencia Internacional de la Energía de 2009, la generación eléctrica en China se ha multiplicado por cinco en el período 1990-2007 y se espera que se doble hasta 2020. Esta energía se genera mayoritariamente con carbón (80,9%), y se ha incrementado desde 1990 (72,5%). La otra gran fuente energética para la generación eléctrica en China es la hidráulica (14,6%), que ha experimentado una reducción desde el 19% en 1990, aunque la generación hidráulica se ha multiplicado casi por cuatro. Las otras renovables han tenido y tienen un peso insignificante (un 0,003% de la generación eléctrica).

En el caso de Estados Unidos, el mix de generación eléctrica está algo más diversificado, con un 49% de carbón, un 21,2% de gas y un 19,5% de nuclear. Las renovables tienen un peso pequeño, que no llega al 9%. Sólo la hidráulica representa el 5,8%. El peso de las renovables se ha reducido desde 1990, cuando suponían el 11,8%. Esto se ha debido al im-

portante crecimiento de la generación eléctrica, a la reducción en términos absolutos de la hidráulica en el período y al modesto crecimiento de las renovables no hidráulicas.

3.2 En la Unión Europea

En el caso europeo, cabe hacer tres grupos de fuentes de generación eléctrica en función de sus tasas de crecimiento en el período considerado. Mientras que algunas fuentes han experimentado un gran crecimiento (fundamentalmente eólica, seguida de biomasa, gas, solar y geotérmica), otras han aumentado muy poco, pudiéndose hablar de estancamiento (nuclear e hidráulica). Finalmente, el carbón y el petróleo han sufrido un retroceso. En comparación con el contexto mundial, las renovables experimentan un mayor crecimiento en la Unión Europea, excepto en la hidráulica, con un estancamiento en el caso europeo que contrasta con el dinamismo mundial (tabla 2). Esto se debe a la relativa explotación de los potenciales del recurso en Europa en contraste con otras regiones del mundo en las que hay abundancia del recurso.

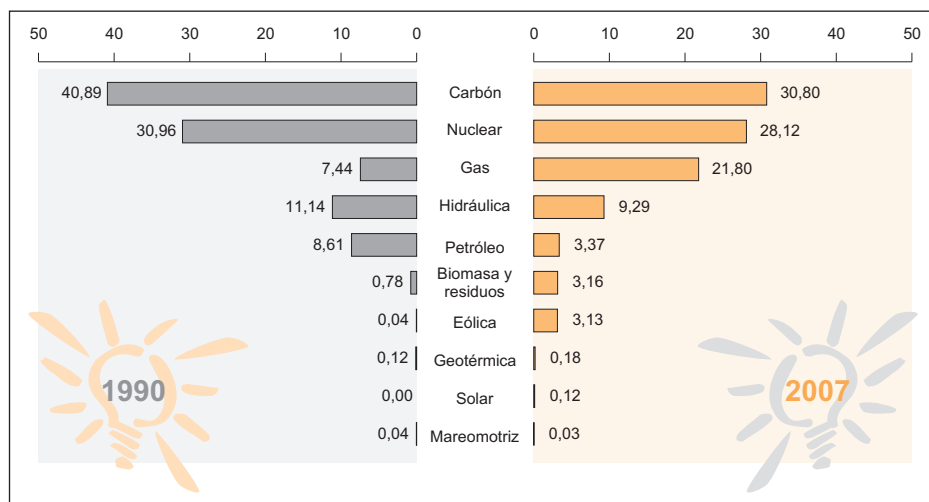
El crecimiento en el peso de las renovables no hidráulicas en este período es sustancial, desde el 1% en 1990 hasta el 6,6% en 2007 (gráfico 2). Si se incluye la hidráulica, las renovables se han incrementado del 12,1% al 15,9%. Es decir, la menor contribución de la hidráulica se ha más que compensado con una mayor participación de la biomasa y de la eólica. Si se compara con la situación mundial, el peso de las renovables no hidráulicas en Europa es superior, e inferior en el caso de la hidráulica.

Tabla 2 – Evolución de la generación eléctrica en la Unión Europea por fuente. En TWh. 1990-2007

	1990	2007	% de variación
Solar (*)	0	4	–
Eólica	1	104	10.300,0
Biomasa y residuos	20	105	425,0
Gas	191	725	279,6
Geotérmica	3	6	100,0
Nuclear	795	935	17,6
Hidráulica	286	309	8,0
Mareomotriz	1	1	0,0
Carbón	1.050	1.024	–2,5
Petróleo	221	112	–49,3
Total	2.568	3.325	29,5

(*) La generación eléctrica de origen solar se sitúa la primera por no poder calcular su porcentaje de variación.

Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Agencia Internacional de la Energía (2009): *World energy outlook 2009*. París.

Gráfico 2 – Evolución de la generación eléctrica en la Unión Europea por fuente. En porcentaje de participación. 1990-2007

Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Agencia Internacional de la Energía (2009): *World energy outlook 2009*. París.

3.3 En España

El peso de las renovables en la generación eléctrica en España no es desdeñable. Representan el 21,5% de la generación y casi el 41% de la capacidad instalada (tabla 3). No obstante, la estructura de generación eléc-

Tabla 3 – Potencia instalada y generación eléctrica según fuente de energía. Valor absoluto y porcentaje. 2009

	Potencia instalada		Generación	
	Valor absoluto (1)	%	Valor absoluto (2)	%
Nuclear	7.716	8,0	58.973	19,4
Carbón	11.869	12,4	49.647	16,4
Fuel/Gas	7.170	7,5	10.691	3,5
Ciclo combinado	23.066	24,0	95.529	31,5
No renovables (régimen especial)	7.173	7,5	23.314	7,7
Hidráulica (régimen ordinario)	16.658	17,4	21.428	7,1
Hidráulica (régimen especial)	1.979	2,1	4.417	1,5
Eólica	16.018	16,7	31.777	10,5
Otras renovables (solar y biomasa)	4.285	4,5	7.645	2,5
Total	95.934	100	303.421	100
Total renovables	38.940	40,6	65.267	21,5

(1) En Megawatios. (2) En Gigawatios hora

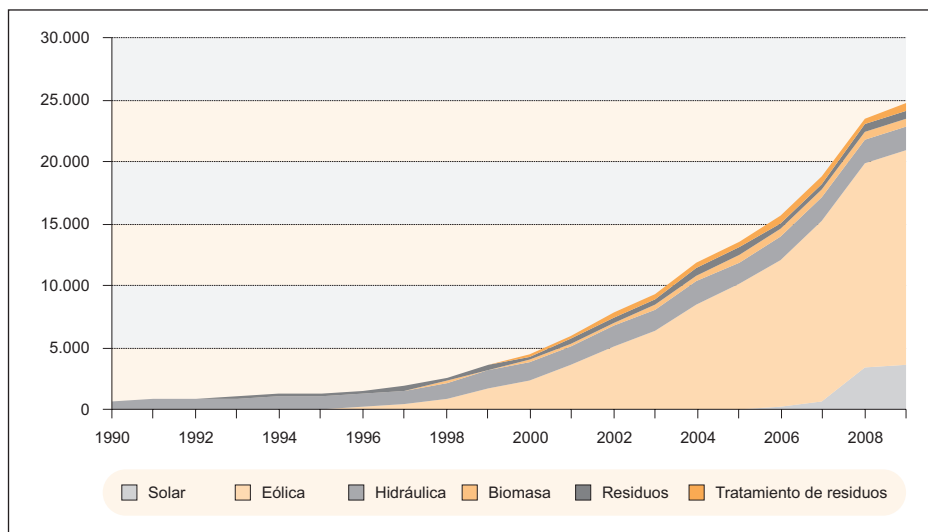
Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2009): *La energía en España 2008*.

trica en España, aunque relativamente diversificada, depende en casi una tercera parte de la generación con ciclo combinado. La energía nuclear y el carbón tienen participaciones significativas, aunque esta última se encuentra en franca regresión (33% de reducción en 2008 con respecto a 2007). La participación de las energías renovables en potencia instalada es muy superior a su participación en generación. La razón de esta diferencia está en la menor utilización de la capacidad instalada por parte de las distintas tecnologías con respecto a otras tecnologías de generación.

Según datos de la Comisión Europea, referidos a 2006, respecto a Europa, el peso de las energías renovables es superior en nuestro país, tanto en generación como en capacidad. La biomasa, la solar, la hidráulica y la geotérmica tienen un peso mayor en la UE-27, mientras que la contribución de la eólica es mucho mayor en nuestro país⁵.

Las renovables para generación eléctrica han experimentado un gran incremento en España en la última década, espoleadas por el dinamismo de la eólica y, muy recientemente, de la solar (gráficos 3 y 4). Por el contrario, la hidráulica y la biomasa han crecido de forma muy moderada en ese período. El comportamiento de la hidráulica está relacionado con los

Gráfico 3 – Evolución de la capacidad instalada para la producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables por tipo de energía. En megavatios (MW). 1990-2009

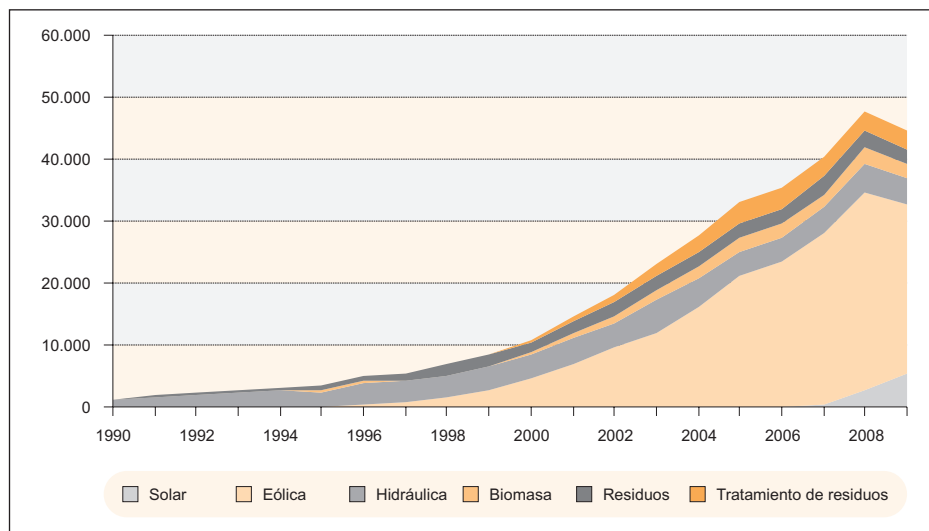


Nota: Los datos de 2009 son de enero a octubre.

Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Comisión Nacional de la Energía, *Información estadística sobre las ventas de energía del Régimen Especial*, marzo 2010.

⁵ Comisión Europea (2009): *EU Energy and Transport in figures. Statistical Pocketbook*. Bruselas. Obsérvese que los datos son de 2006, es decir, antes del *boom* solar en nuestro país.

Gráfico 4 – Evolución de la generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables por tipo de energía. En gigavatios hora (GWh). 1990-2009



Nota: Los datos de 2009 son de enero a octubre.

Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Comisión Nacional de la Energía, *Información estadística sobre las ventas de energía del Régimen Especial*, marzo 2010.

retrasos en la concesión de las autorizaciones administrativas y con un potencial adicional que, siendo significativo, es inferior al de otras tecnologías⁶. En el caso de la biomasa se debe a la existencia de barreras de tipo logístico, relativas a la ausencia de mercados que permitan asegurar la provisión del recurso con cierta continuidad, así como la competencia por el recurso para otras aplicaciones energéticas y no energéticas⁷.

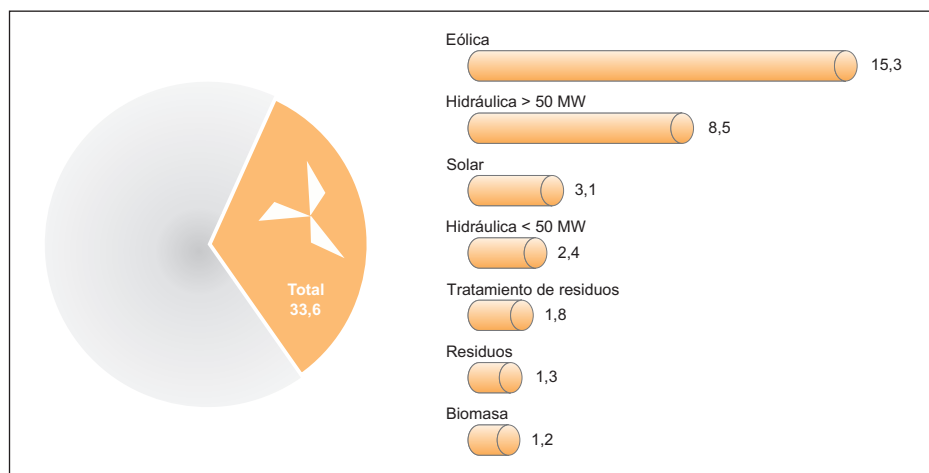
Los datos de la Comisión Nacional de la Energía muestran que la cobertura de la demanda eléctrica lograda con estas tecnologías es muy significativa, alcanzando un 33,6% en 2009 (gráfico 5). La energía eólica representa la mitad de este porcentaje (15,3%).

Pese al crecimiento experimentado, no se prevé que todas las tecnologías alcancen el mismo nivel de cumplimiento de los objetivos para 2010 del Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010. Mientras la solar fotovoltaica ya ha sobrepasado el objetivo, la hidráulica y la eólica están en una buena situación para alcanzarlo (tabla 4). El caso de las tecnologías solares merece una reflexión sobre la evolución de estas tecnologías que

⁶ Véase apartado 5.2.

⁷ Dinica, V. (2009): "Biomass power: Exploring the diffusion challenges in Spain", en *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1.551-1.559.

Gráfico 5 – Participación de las renovables en la demanda eléctrica. En porcentaje. 2009



Nota: Datos de enero a octubre.

Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Comisión Nacional de la Energía, *Información estadística sobre las ventas de energía del Régimen Especial*, marzo 2010.

implican un mayor coste de promoción total que la eólica, aunque ésta representa el 15,3% de la demanda eléctrica y las solares sólo un 3,1%. Desde el punto de vista económico, es conveniente ajustar el grado de difusión de la tecnología a sus costes. Parece que el nivel de participación de la solar y sus costes de promoción son excesivos desde el punto de vista de la racionalidad económica⁸. Por último, el comportamiento de la biomasa es muy decepcionante, por los problemas asociados a la logística del recurso.

Tabla 4 – Grado de cumplimiento de los objetivos del Plan de Energías Renovables para 2010. 2009

	Potencia instalada en 2009	Objetivos 2010	Grado de cumplimiento
Eólica	18.096	20.155	89,8
Biomasa	495	1.317	37,6
Hidráulica (menos de 10 MW)	1.391	2.400	58,0
Solar fotovoltaica	3.469	1.331	260,6
Solar termoelectrica	136	500	27,2

Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Comisión Nacional de la Energía, *Información estadística sobre las ventas de energía del Régimen Especial*, marzo 2010; y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2005): *Plan de Energías Renovables 2005-2010*.

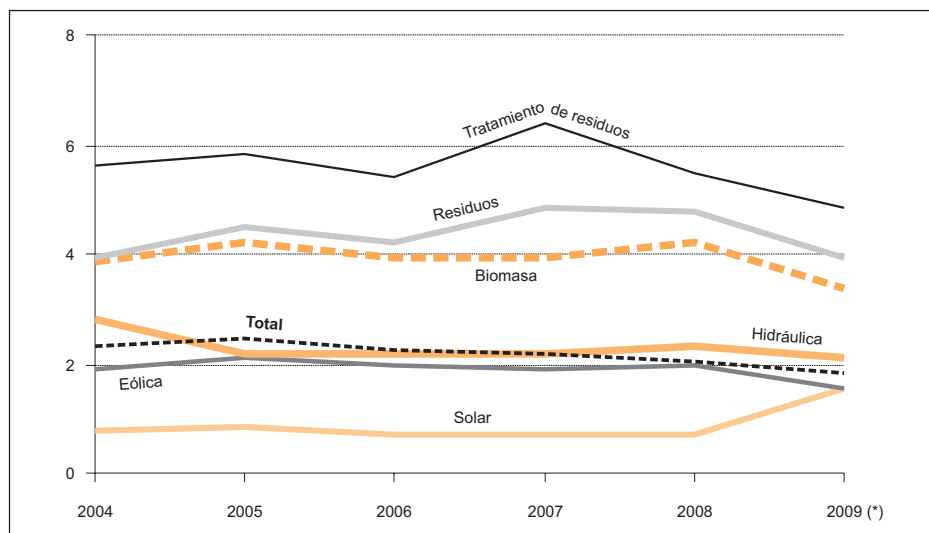
⁸ Aunque la generación eléctrica mediante tecnología fotovoltaica representó en 2009 menos de la quinta parte de la generación eólica, los costes totales del apoyo superaron los de esta tecnología.

Por otro lado, preocupa que la reducción de la demanda eléctrica como consecuencia de la crisis pueda estar generando un exceso de capacidad. Algunos defienden que la adición de capacidad de E-FER debería ralentizarse de acuerdo con las menores necesidades de capacidad.

Desde 2004, la eficiencia en la producción eólica se ha mantenido constante con cierta tendencia a la baja (gráfico 6). Esto ha ocurrido también en el resto de las tecnologías renovables, excepto en el caso de la solar. Este dato sugiere que el cambio tecnológico que da lugar a una mayor eficiencia en la conversión se ve más que compensado por el efecto negativo que sobre la eficiencia en la producción tiene el aprovechamiento de zonas con peor recurso renovable. En otras palabras, no parece que el sistema de promoción esté fomentando la implantación de la E-FER en los lugares con un mejor recurso renovable.

Al mismo tiempo, el sector no ha sido ajeno a la crisis general que ha afectado a la economía de nuestro país, como muestran los EREs que se han producido en renombradas empresas del sector. No obstante, según la Asociación Empresarial Eólica (AEE), la crisis no se refleja en los resultados macroeconómicos del sector eólico por tres razones: los proyectos de inversión tienen un período de maduración superior a los dos años, por lo que muchos de los pedidos ya se habían realizado con antelación para parques que se han instalado a lo largo de 2008 y primeros meses de 2009; la

Gráfico 6 – Evolución de la eficiencia en la producción de electricidad con fuentes de energía renovables. En GWh generados por MW de capacidad instalada. 2004-2009



(*) Datos de enero a octubre.

Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Comisión Nacional de la Energía, *Información estadística sobre las ventas de energía del Régimen Especial*, marzo 2010.

fuerte demanda de 2007 ha hecho que muchos fabricantes, además de atender sus pedidos, hayan fabricado para acopiar equipos y componentes; y, por último, el importante incremento del precio de la electricidad en el mercado mayorista, que ha sido de un 63%.

4. Ventajas e inconvenientes de las tecnologías renovables

La valoración de las diferentes opciones para generar electricidad debería tener en cuenta distintos criterios. El objetivo de este epígrafe es identificar esos criterios –que, en un contexto de sostenibilidad energética, son de índole económica, ambiental y social– y aportar una visión comparativa de las distintas tecnologías de generación renovable con respecto a las tecnologías de generación convencionales. El enfoque es cualitativo, aunque se basa en distintas fuentes de datos. Posteriormente, se analizará específicamente el caso español.

4.1 Valoración multicriterio

Bajo la perspectiva de la sostenibilidad, cualquier evaluación de las políticas energéticas debe tener en cuenta cuatro ejes fundamentales: el respeto al medio ambiente, la competitividad, la seguridad en el suministro y el criterio social⁹.

— **Respeto al medio ambiente.** Las tecnologías energéticas deben, en lo posible, ser respetuosas con la naturaleza. Se trata de fomentar fuentes energéticas que minimicen tanto las emisiones de contaminantes de efecto global (gases de efecto invernadero) y local como el impacto sobre otros problemas ambientales (ocupación del suelo, consumo de agua, impacto visual, contaminación del agua, utilización de materiales, ruido). En general, las renovables (y la eficiencia energética) puntúan alto en este criterio con respecto a las tecnologías convencionales. Las tecnologías de generación eléctrica renovable evitan la generación de esas externalidades ambientales negativas. Sin embargo, las decisiones de inversión en plantas de generación eléctrica se toman en función de los costes privados (es decir, sin tener en cuenta esas emisiones), lo que supone una ventaja para las tecnologías convencionales, más contaminantes. Sólo la aplicación de una política pública que permita internalizar esas externalidades en las deci-

⁹ Río, P. del, Labandeira, X. y Linares, P. (2010): “Energía y sostenibilidad en España”, en *Economistas* (en prensa). Hernández, F., Río, P. del, Gual, M. A. y Caparrós, A. (2004): “Energy Sustainability and Global Warming in Spain”, en *Energy Policy*, 32, p. 383-394. Ponencia de Antonio Hernández García, Director General de Política Energética y Minas, en el acto de presentación del Estudio Macroeconómico del Impacto del Sector Eólico en España. Actualización 2009. 25 de noviembre de 2009.

siones privadas de los inversores (incrementando el coste de las tecnologías más contaminantes) puede corregir la situación. Si los generadores eléctricos convencionales no tienen que pagar por el daño que causan por sus emisiones, entonces éstas serán más elevadas que las socialmente deseables y no existirá incentivo para invertir en tecnologías que las mitigan, como las renovables. Como consecuencia de este fallo de mercado no internalizado en el coste/precio de las tecnologías convencionales y renovables y del mayor coste “privado” de estas últimas se justifica la intervención pública para promover la E-FER.

— **Seguridad del abastecimiento o acceso a la energía.** Se intenta contar con fuentes fiables de energía que garanticen un suministro estable y seguro. Esta cuestión tiene dos aspectos diferenciados. Por un lado, hay que fomentar la diversificación de las fuentes de energía, promoviendo las más seguras y reduciendo la dependencia energética del exterior, particularmente del petróleo y del gas. El suministro de estas fuentes se asocia a las tensiones en los mercados y a decisiones políticas estratégicas por parte de los países productores, así como, a largo plazo, a su disponibilidad natural (agotamiento del recurso)¹⁰. Las fluctuaciones en los precios del gas natural son particularmente preocupantes desde la perspectiva de las decisiones de inversión en generación eléctrica. En este sentido, las renovables y la eficiencia energética cumplirían esta condición. El uranio y el carbón, dadas las características de sus mercados internacionales, se consideran también fuentes suficientemente seguras, independientemente de su origen autóctono o no. Los países con una alta dependencia de combustibles importados se encuentran muy expuestos a los cambios económicos y políticos que se producen fuera de sus fronteras¹¹.

Otro aspecto de la seguridad del abastecimiento es la fiabilidad y la continuidad del suministro. Algunas renovables “no gestionables” (eólica y solar), que son las que más han crecido en nuestro país en la última década y especialmente en los últimos años, son intermitentes, pues dependen de la disponibilidad del recurso en el que se basan (de que sople el viento, de que haga sol...). En este caso, las fuentes más “seguras” serían aquellas cuyo combustible se puede almacenar y gestionar (todos los combustibles fósiles, incluida la energía nuclear, y la biomasa).

— **Competitividad.** Es necesario contar con un sistema energético con costes razonables, pues la energía es un factor de producción clave para todos los sectores económicos. Es como el aceite que engrasa toda la maquinaria económica. Apostar únicamente por las fuentes más caras implica un sobre coste que se traslada a toda la economía con repercusiones

¹⁰ La dependencia energética española es elevada (80%), incluso superior a la media comunitaria. La dependencia del petróleo alcanza el 99,5% y la del gas natural es de un 97%.

¹¹ Komor, P. y Bazilian, M. (2005): “Renewable energy policy goals, programs, and technologies”, en *Energy Policy*, 33 (14), p. 1.873-1.881.

en los procesos de inversión y producción de otros bienes y, por tanto, también en el empleo. Ese sobre coste influye negativamente en la competitividad de la economía. Una energía a precios bajos reduce los costes de producción y promueve el crecimiento económico. En este sentido, las fuentes convencionales tienen ventaja¹².

— **Criterio social.** Por un lado, se debe fomentar el acceso a la energía. Un modelo energético sólo es sostenible si permite el acceso a los recursos a toda la población, y en especial a los países en desarrollo. En estos países, el acceso a la electricidad constituye un elemento crucial para aliviar la pobreza. Por otro lado, el impacto sobre el empleo de la producción de las distintas fuentes energéticas constituye un aspecto relevante a la hora de elegir entre ellas. Finalmente, la aceptabilidad social de distintas alternativas es fundamental¹³.

Por lo tanto, es necesario aplicar políticas para lograr reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, facilitar el acceso a la energía a la población, mejorar la seguridad del abastecimiento energético y a un coste que no sea excesivo para los actores socioeconómicos que finalmente pagan la política: el consumidor o el contribuyente.

En resumen, las distintas fuentes energéticas pueden analizarse más detalladamente en función de su contribución a estos cuatro vectores¹⁴. Sin embargo, es conveniente concretar su contenido con una serie de indicadores y analizar cuál es la posición relativa de las renovables en cada uno de ellos con respecto al resto de tecnologías.

Ambiental

— **Contaminantes globales.** Las fuentes de energía renovables no producen emisiones de CO₂ en la generación de electricidad, en contraste con las fuentes convencionales.

— **Contaminantes locales.** La quema de combustibles fósiles origina emisiones (NO_x y SO₂, entre otros) que provocan problemas de conta-

¹² Esta ventaja puede ser considerada ficticia mientras no se internalicen todos los costes externos de las distintas fuentes energéticas.

¹³ Para un análisis más detallado del, hasta ahora, poco tratado criterio social, puede consultarse Gallego, D. y Mack, A. (2010): "Sustainability assessment of energy technologies via social indicators: Results of a survey among european energy experts", en *Energy Policy* (en prensa).

¹⁴ Varios trabajos plantean la necesidad de llevar a cabo análisis multicriterio de este estilo, y aportan una serie de indicadores relevantes. Véase, por ejemplo, Madlener, R. y Stagl, S. (2005): "Sustainability-guided promotion of renewable electricity generation", en *Ecological Economics*, 53, p. 147-167; Komor, P. y Bazilian, M. (2005); Río, P. del y Burguillo, M. (2008): "Assessing the impact of renewable energy deployment on local sustainability: Towards a theoretical framework", en *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(5), p. 1.325-1.344; y Verbruggen, A. (2008): "Renewable and nuclear power: A common future?", en *Energy Policy*, 36, p. 4.036-4.047.

minación atmosférica local y regional. De nuevo, las renovables suponen menores emisiones que las alternativas convencionales.

— **Sostenibilidad.** Las renovables generan impactos relativos reducidos en problemas como el consumo de agua (excepto la biomasa y la hidráulica) y la contaminación de aguas y el ruido (excepto, quizás, la eólica). Los impactos ambientales relativos a la ocupación del suelo y la utilización de materiales pueden ser considerables en el caso de la eólica y la fotovoltaica (huertos solares). Los relativos al impacto visual son sustanciales en la eólica.

Económica

— **Costes de generación a corto plazo.** Diferentes estudios muestran que los costes de generación de las renovables son, en general, superiores a los de las alternativas convencionales. Algunas de las más maduras, como la eólica terrestre, pueden ser competitivas con respecto a esas alternativas. En otras, los costes son muy superiores (solar fotovoltaica)¹⁵.

— **Costes de generación a medio y largo plazo (eficiencia dinámica).** Una de las características principales de las tecnologías de generación renovable con respecto a las convencionales es que tienen un gran potencial de reducción de costes y de mejora de su calidad en el tiempo, como consecuencia de las inversiones en I+D, las economías de escala dinámicas y los efectos de aprendizaje. Estos últimos hacen referencia a que la propia difusión de las tecnologías permite reducir el coste de las mismas, por la producción en masa y porque se producen mejoras en esa difusión sugeridas por los usuarios de las mismas o por las propias empresas que las producen. Estas reducciones de costes no se producen automáticamente, sino que dependen del apoyo público (en forma de ayudas a la I+D y a su difusión); es decir, implican a su vez un coste¹⁶.

Es importante contar con tecnologías baratas hoy, pero también en el futuro, cuando sea necesario cumplir con objetivos de producción de energía renovable o de mitigación de los gases de efecto invernadero a costes razonables. Por ello, apoyar hoy tecnologías caras pero con un gran potencial de reducción de costes está justificado. No obstante, se debe tener en cuenta que el grado en el que el país que apoya públicamente a estas tecnologías puede apropiarse de esas reducciones de costes es limitado y otros países que no han realizado ese esfuerzo pueden aprovecharse también de la misma. La eficiencia a largo plazo se refiere al potencial de re-

¹⁵ Río, P. del (2009): "Power and Heat Sector", en AA.VV: *How can each sector contribute to 2C?*, en www.pikpotsdam.de

¹⁶ Para un análisis de la evolución esperada de los costes, véase Río, P. del (2009); Agencia Internacional de la Energía (2008b): *Energy Technology Perspectives*. París; Agencia Internacional de la Energía (2008c): *Deploying renewables. Principles for effective policies*. París.

ducción de costes de las tecnologías de forma que en un horizonte de medio y largo plazo (2020, 2030 o 2050) puedan ser competitivas con las de menor coste. En este sentido, se espera que las renovables en general experimenten considerables reducciones de costes (diferentes en función del grado de madurez de las tecnologías). Unas serán competitivas a corto plazo (eólica terrestre en 2010), otras a medio plazo (eólica marina en 2020), otras a largo plazo (fotovoltaica en 2030) y otras a muy largo plazo (oceánicas en 2050).

— **Creación de industria.** No es menos cierto que los pioneros en el apoyo pueden (aunque no necesariamente) crear una industria local y posicionarse en mercados con un gran potencial de crecimiento a largo plazo. Éste no puede ser el argumento principal para apoyar a las renovables. Los gobiernos no son el actor más indicado para crear industrias directamente. Pero tampoco pueden negarse los efectos que sobre la creación de una industria local muy dinámica y con un gran potencial exportador tienen unas energías a las que debe apoyarse primordialmente por los beneficios sociales que generan para el país en términos ambientales y de diversificación del suministro energético.

— **Impacto en la balanza de pagos.** Muchos países, entre los que se encuentra España, no cuentan con fuentes energéticas convencionales autóctonas (excepto el carbón). Esto, aparte de suponer un riesgo evidente para la seguridad del suministro, implica una salida de divisas importante. En contraste, los recursos renovables son, por sus propias características, autóctonos, aunque las tecnologías para transformar el recurso en energía pueden no serlo.

Social

— **Impacto sobre el empleo.** A pesar de ser tecnologías intensivas en capital, la mayoría de los estudios muestran que las renovables generan un mayor nivel de empleo por unidad energética producida que las tecnologías convencionales, aunque puede variar en función de las tecnologías renovables (en el caso de la biomasa es mayor)¹⁷. Los empleos se generan en la fase de producción de las tecnologías de transformación y en el propio proceso de producción. Además, en el caso de la biomasa, se producen en la preparación del recurso (cultivo o recogida).

Seguridad del suministro/acceso a la energía

— **Diversificación del suministro energético.** Por una serie de motivos (posibilidad de escasez sobrevenida de recursos, volatilidad de los precios de las distintas energías, etc.) es importante contar con un mix de generación diversificado, una cesta de tecnologías. Como las tecnologías

¹⁷ Véase apartado 4.8.

convencionales son dominantes, la penetración de renovables contribuye a esa necesaria diversificación. Además, debe tenerse en cuenta que las fuentes convencionales son agotables y su precio está sujeto a una considerable volatilidad en los mercados internacionales. La estabilidad de los precios de la energía es un aspecto muy importante en las decisiones de inversión sobre nueva capacidad.

— **Continuidad/fiabilidad del suministro.** La intermitencia de algunos recursos renovables (en la generación eólica y solar, sobre todo) y las dificultades técnicas o los grandes costes económicos de almacenarlos resultan preocupantes en comparación con las tecnologías convencionales, pues significa que puede que no haya recurso energético cuando se necesite para cubrir la demanda. Aunque puede mitigarse con el apoyo de las tecnologías convencionales (es decir, con “generación de respaldo”) o con la mezcla de distintas tecnologías renovables (“hibridación”), también tiene sus costes.

El cuadro 2 trata de reflejar y resumir la valoración multicriterio realizada. Es importante matizar algunas de las afirmaciones realizadas,

Cuadro 2 – Resumen de la valoración de las tecnologías de generación eléctrica según los criterios considerados

	Ambiental			Económica				Social	Seg. Suministro	
	C. global	C. local	Sosten.	Costes c/p	Costes l/p	Industria local	BP	Empleo	Div.	Fiabilidad
Carbón										
Petróleo										
Gas (CCGN)										
Nuclear				(variables)						
				(fijos)						
Eólica terrestre										
Eólica marina										
Biomasa primaria										
Biomasa secundaria										
Gran hidráulica										
Minihidráulica										
Solar fotovoltaica										
Solar termoeléctrica										
Geotérmica										
Oleaje										
Mareomotriz										
Biogás										

Nota: 5 (blanco) indica muy buena puntuación y 1 (naranja) indica muy baja puntuación.

Fuente: Elaboración Fundación Encuentro.

así como el propio enfoque empleado. Primero, algunos de esos impactos dependen de las condiciones locales (por ejemplo, la abundancia de combustibles fósiles y los potenciales renovables). Este cuadro se refiere fundamentalmente al caso español. En segundo lugar, los criterios están interrelacionados. Algunos indicadores, e incluso algún criterio, pueden pertenecer a dos categorías. Por ejemplo, los dos subcriterios de la seguridad del suministro afectan a aspectos económicos (costes del aprovisionamiento energético) y sociales (acceso a la energía por parte de la población). En tercer lugar, las categorías tecnológicas consideradas no dejan de ser una simplificación, en tanto en cuanto existen varias tecnologías y bandas tecnológicas dentro de cada una de dichas categorías. Finalmente, las puntuaciones dadas no dejan de ser subjetivas, aunque son ilustrativas de la posición relativa de cada tecnología eléctrica con respecto a los indicadores considerados y al resto de tecnologías de generación. Por tanto, el cuadro trata de destacar esta comparación.

Se observa que, cuando se tienen en cuenta varios criterios relevantes desde el punto de vista de la sostenibilidad energética, no existe una opción superior a otras en todos los criterios. Ninguna tecnología puntúa alto en todos los criterios mencionados. Las renovables son superiores en un mayor número de criterios, pero también tienen ciertas desventajas que es preciso tener en cuenta. Esto apela a la necesidad de actuar; en primer lugar, sobre la demanda de energía, es decir, aplicar instrumentos que permitan reducir el consumo de electricidad con un nivel de servicio similar. Esto puede lograrse promoviendo la eficiencia energética, tanto en el uso final de la electricidad como en la propia generación de la electricidad. En segundo lugar, es preciso combinar diferentes tecnologías de generación eléctrica (incluidas las renovables), en particular donde es más viable hacerlo en el sector eléctrico¹⁸. A continuación se aportan algunos datos sobre los aspectos anteriores referidos a la electricidad renovable para el caso español.

4.2 Emisiones de gases de efecto invernadero

Frecuentemente se ha destacado la amplia distancia entre las emisiones de GEI españolas y nuestro objetivo de Kioto. Aunque la crisis económica ha truncado coyunturalmente la trayectoria creciente de dichas emisiones, nuestro país se encuentra todavía muy alejado de dicho objetivo: las emisiones en 2008 crecieron un 37% con respecto al año base (1990), frente a nuestro objetivo de aumento del 15%. El Gobierno espera que las

¹⁸ Río, P. del, Labandeira, X. y Linares, P. (2010).

emisiones se incrementen en un 37% en 2008-2012 con respecto a 1990. Esto supone un 22% más con respecto al objetivo de Kioto, que se cubriría en un 20% con Reducciones Certificadas de Emisiones (RCEs) procedentes de proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y el 2% restante con proyectos de sumidero¹⁹.

Los dos pilares fundamentales para mitigar esas emisiones son las políticas dirigidas a la eficiencia energética y la promoción de la E-FER. En este sentido, conviene distinguir entre aquellos sectores que están incluidos en el Sistema Europeo de Comercio de Emisiones (SECE) y el resto de sectores (denominados “difusos”). La generación de electricidad y varios sectores industriales están incluidos en el SECE, es decir, tienen que tener una cantidad de derechos de emisión determinada al final de cada año y, en caso de que no sea así, comprarlos en el mercado de derechos a otras empresas²⁰.

Además, para cumplir tanto con el Protocolo de Kioto como con el objetivo europeo de reducción del 20% de las emisiones para 2020 deberá hacerse un esfuerzo considerable en los sectores difusos (transporte y residencial-comercial), no sujetos al SECE, en los que se espera que las emisiones crezcan un 65%²¹. La sustitución de los combustibles fósiles por las renovables en la generación eléctrica facilitará el cumplimiento con el SECE por parte de las empresas eléctricas. Reducir las emisiones a través de la E-FER es importante para España, teniendo en cuenta las dificultades para cumplir con el objetivo de Kioto y la participación del sector de generación eléctrica en esas emisiones²².

Si se cumplen los objetivos del Plan de Energías Renovables (PER), la generación de E-FER reduciría las emisiones en 18,6 millones de toneladas de CO₂ (MtCO₂) en 2010, y en 53 MtCO₂ en el período 2005-2010²³. Las distintas tecnologías de E-FER contribuirían de la siguiente manera a esa reducción: hidráulica (4,4%), biomasa (32,6%, incluyendo co-combus-

¹⁹ EL MDL es un mecanismo flexible de Kioto que permite a las empresas y países llevar a cabo proyectos de reducción de las emisiones en otros países no pertenecientes al Anexo I (los más desarrollados) y utilizar las reducciones obtenidas (RCEs) para cumplir los compromisos del Protocolo. Los proyectos de sumidero son proyectos forestales. Como es sabido, los bosques realizan una función fundamental de absorción del CO₂.

²⁰ La cantidad que deberán adquirir dependerá de los derechos que les hayan sido asignados inicialmente y de sus emisiones.

²¹ Ministerio de Medio Ambiente (2007): *Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia. Horizonte 2007-2012-2020*.

²² Las emisiones de CO₂ del sector de generación eléctrica representan el 25% del total de estas emisiones y el 50% de las emisiones de los sectores incluidos en el SECE.

²³ La comparación se hace con respecto a las emisiones asociadas a una moderna central de ciclo combinado de gas natural, con un rendimiento del 54%. Véase Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2005): *Plan de Energías Renovables en España 2005-2010*.

tión), eólica (59%), solar fotovoltaica (0,9%), biogás (1,1%) y solar termoeléctrica (2%).

Un análisis más reciente²⁴ defiende que la E-FER ha evitado en 2008 la emisión de 23,6 MtCO₂ (un 5,7% de las emisiones de CO₂ totales de España). En el período 2005-2008, el acumulado de emisiones evitadas fue superior a 84 MtCO₂ equivalentes. Si se considera un precio medio de la tonelada de CO₂ de 21,1 euros, el ahorro en derechos de emisión fue de 499 millones de euros.

Hay que destacar que las reducciones de emisiones de GEI provocadas por las renovables no son baratas, ni en relación con los precios de los permisos de emisión actuales y esperables a corto o medio plazo ni con respecto a otras alternativas de menor coste (la eficiencia energética o el cambio de combustible). Según el PER, las inversiones públicas en E-FER por tonelada de CO₂ reducida en España en 2005-2010 tendrán un coste medio de 357 euros por tonelada de CO₂ reducida en un rango que va desde los 44 euros para la co-combustión a los 4.031 para la solar fotovoltaica²⁵. Este rango está por encima de los precios esperados de los derechos de emisión en el SECE²⁶. Por tanto, desde una perspectiva estrecha en la que sólo se considerase la reducción a corto plazo de las emisiones de CO₂, sería más barato adquirir derechos de emisión en los mercados internacionales que fomentar la E-FER en nuestro país. Pero, el cambio en el modelo energético con gran presencia de la E-FER tiene varios beneficios, no sólo el de reducción de esas emisiones.

4.3 Otros impactos ambientales

Las tecnologías de generación eléctrica dan lugar a otros impactos ambientales, incluidos las emisiones de contaminantes atmosféricos locales (NO_x y SO₂, entre otros) derivados de la quema de los combustibles fósiles y otros impactos. Los estudios muestran que las energías renovables suelen tener un menor impacto en este sentido, aunque la biomasa puede tener efectos moderados en las emisiones de NO_x (tabla 5).

²⁴ Asociación de Productores de Energías Renovables (2009): *Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España*. Barcelona.

²⁵ Para el resto de tecnologías de generación renovable, los datos son: hidráulica (entre 465 y 302 euros), biomasa (257), eólica (374), biogás (201) y solar termoeléctrica (2.017). Véase Río, P. del (2009).

²⁶ Según la más reciente y mayor encuesta sobre el mercado del carbono (llevada a cabo entre 3.319 expertos procedentes de diferentes ámbitos públicos y privados), los encuestados esperan mayoritariamente un precio del CO₂ que oscile entre 15 y 20 euros en 2010 (mercado europeo) y entre 30 y 50 euros en 2020 (mercado mundial). El precio medio esperado en 2020 es de 35 euros. Véase Point Carbon (2009): "Carbon 2009 - Emission trading coming home", Tvinnereim, E., Røine, K. y Heimdal, C. (eds.).

Tabla 5 – Tasas de emisión de la generación eléctrica en todo el ciclo de vida. En gramos por kWh

	CO ₂	SO ₂	NO _x
Carbón	955	11,8	4,3
Petróleo	818	14,2	4,0
Gas (Ciclo combinado)	430		0,5
Biomasa (Cosechas energéticas)	15-27	0,06-0,16	0,35-2,5
Eólica	7-9	0,02-0,09	0,02-0,06

Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Agencia Internacional de la Energía (2003): *Renewable Energy... into the Mainstream*, en www.iea.org

El proyecto ExternE²⁷, un estudio ya clásico, ha tratado de valorar esos impactos en muchos países europeos y traducirlos a términos monetarios, teniendo en cuenta los impactos negativos en el ruido, la salud (mortalidad, morbilidad y accidentes), las infraestructuras, las cosechas y el cambio climático (efectos en las costas, la agricultura, la demanda energética y el aumento del nivel del mar). La tabla 6 muestra que las renovables tienen en general impactos muy inferiores a las tecnologías convencionales. Otros estudios realizados en el contexto americano ofrecen resultados muy similares²⁸.

Dada la dificultad de trasladar esos costes a términos monetarios, algunos estudios han tratado de analizar los impactos con una metodología cualitativa. En nuestro país, merece la pena destacar el trabajo del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE), que estudió el ciclo de vida de ocho alternativas de generación eléctrica (gas natural, hulla-antracita, lignito, petróleo, nuclear, eólica, hidroeléctrica y solar fotovoltaica), teniendo en cuenta doce categorías de impacto ambiental (calentamiento global, disminución de la capa de ozono, acidificación, eutrofización, emisión de metales pesados, sustancias cancerígenas, niebla de invierno, niebla fotoquímica, radiaciones ionizantes, generación de residuos, residuos radiactivos y agotamiento de recursos energéticos)²⁹. Los resultados muestran que los impactos (medidos en ecopuntos, no en términos monetarios) son en general mayores en las cinco tecnologías convencionales consideradas que en las tres renovables. Dentro de estas últimas, la minihidráulica

²⁷ Comisión Europea (2003): *External costs. Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport*. Luxemburgo; CIEMAT (1997): *ExternE National Implementation Spain. Final Report*.

²⁸ Véase Harmon, R. y Cowan, K. (2009): "A multiple perspectives view of the market case for green energy", en *Technological Forecasting and Social Change*, 76(1), p. 204-213.

²⁹ IDAE (2000): *Impactos ambientales de la producción eléctrica. Análisis de ciclo combinado de vida de ocho tecnologías de generación eléctrica*; Azqueta, D. (2002): *Introducción a la economía ambiental*. Madrid: Mc Graw-Hill.

Tabla 6 – Costes externos de la producción de energía eléctrica según la tecnología utilizada en varios países europeos. En céntimos de euro por kWh (1)

	Carbón y lignito	Turba	Petróleo	Gas	Nuclear	Biomasa	Hidroeléctrica	Solar fotovoltaica	Eólica
Austria				1-3		2-3	0,1		
Bélgica	4-15			1-2	0,5				
Alemania	3-6		5-8	1-2	0,2	3		0,6	0-0,5
Dinamarca	4-7			2-3		1			0,1
España (2)	5-8			1-2		3-5			0,2
Finlandia	2-4	2-5				1			
Francia	7-10		8-11	2-4	0,3	1	1		
Grecia	5-8		3-5	1		0-0,8	1		0,25
Irlanda	6-8	3-4							
Italia			3-6	2-3			0,3		
Holanda	3-4			1-2	0,7	0,5			
Noruega				1-2		0,2	0,2		0-0,25
Portugal	4-7			1-2		1-2	0-0,3		
Suecia	2-4					0,3	0-0,7		
Reino Unido	4-7		3-5	1-2	0,25	1			0,15

(1) Subtotal de costes externos cuantificables (calentamiento global, salud pública, salud laboral o daños materiales). (2) El dato de la biomasa corresponde a la combustión conjunta de biomasa y lignito.

Fuente: Comisión Europea (2003): *External costs. Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport*. Luxemburgo.

sería la tecnología con el menor impacto en todas las categorías (excepto en residuos, en la que la eólica está mejor posicionada), seguida de la eólica. La solar fotovoltaica tiene impactos negativos nada desdeñables (y, en muchos casos, superiores a las tecnologías convencionales). Como afirma Azqueta³⁰, el elevado número de ecopuntos asociado a esta energía es producto de la gran cantidad de energía que se consume en la fabricación de las placas.

Finalmente, un estudio reciente³¹ ha estimado las emisiones evitadas de NO_x y SO₂ en España en 2008 como consecuencia de la sustitución de generación convencional por renovable: 18,6 miles de toneladas y 34,3 miles de toneladas en 2008, respectivamente. La evaluación realizada sugiere que dicha sustitución supuso para España evitar perder 887.000 días de vida de seres humanos (2.430 años) y ahorros en asistencia sanitaria por valor de 132 millones de euros.

4.4 Diversificación y fiabilidad del suministro

Aunque el mix de generación eléctrica español se encuentra relativamente diversificado, el peso de las fuentes de energía convencionales para la generación eléctrica es aún elevado. En particular, crece la participación del gas natural de manera significativa, mientras que el petróleo reduce la suya, ya exigua. El carbón, en parte importado, mantiene una participación significativa aunque con tendencia a la reducción; y casi lo mismo se puede decir de la energía nuclear.

La ausencia de combustibles fósiles autóctonos (excepto una parte del carbón utilizado) provoca que casi todo se tenga que importar, dando lugar a una elevada dependencia energética del exterior³². La práctica totalidad de los aprovisionamientos de gas natural se realizan a través de importaciones. Destaca Argelia, país de origen de 160.499 GWh del gas introducido en el sistema español en 2008, que supone un 35% de la aportación total. Le sigue Nigeria, con un 18,9% de los aprovisionamientos totales, el Golfo Pérsico (13,1%), Egipto (12,4%), Trinidad y Tobago (11,2%) y Noruega (7%)³³. Además, el consumo de gas natural se incrementó en un 10,5% en 2008 con respecto al año anterior.

³⁰ Ibídem, p. 302.

³¹ Asociación de Productores de Energías Renovables (2009).

³² Según la Comisión Europea, la dependencia de las importaciones energéticas españolas en 2006 alcanzó el 81,4%, frente al 53,8% de la UE-27. La dependencia en combustibles sólidos es del 75,6%, y de prácticamente el 100% en petróleo y gas. Comisión Europea (2009).

³³ Comisión Nacional de la Energía (2009): *Información básica de los sectores de la energía 2009*. Madrid.

Esta fuerte dependencia expone a nuestro país a los riesgos de la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles en los mercados internacionales y, eventualmente, a riesgos en el suministro. En este sentido, no todas las renovables tienen la misma capacidad de incrementar la seguridad del suministro. La eólica es la mejor situada, por su elevada participación en el mix eléctrico y por ser una tecnología ya madura con un coste moderado y con perspectivas de crecimiento. Por el contrario, la solar fotovoltaica, que tiene un peso pequeño (aunque su incremento en los últimos dos años haya sido espectacular), no debería desempeñar ese papel a corto plazo, por su todavía elevado coste. El potencial adicional de la hidráulica es relativamente bajo. La biomasa sí podría tener un importante papel, más teniendo en cuenta que es una fuente no intermitente y segura, pero deben resolverse los problemas asociados a su aprovisionamiento (logística del recurso).

Según datos del Plan de Energías Renovables, se espera que la electricidad procedente de fuentes de energía renovables reduzca las importaciones energéticas en 7,6 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) en el período 2005-2010, con un ahorro de 2.500 millones de euros³⁴. El estudio de la Asociación de Productores de Energías Renovables de 2009 estima que la E-FER evitó que se importasen más de 10 millones de toneladas equivalentes de petróleo en 2008, lo que supuso un ahorro en importaciones de combustibles fósiles de 2.725 millones de euros, aproximadamente un 0,25% del PIB en ese año.

Respecto a la fiabilidad del suministro, es importante destacar la creciente preocupación por la mayor participación de la energía eólica, que es intermitente y, por tanto, relativamente impredecible, y por sus posibles efectos en la red eléctrica, teniendo en cuenta nuestra característica de isla eléctrica³⁵. La respuesta ha sido mejorar las herramientas de predicción eólica y estrechar la cooperación entre los actores implicados (el gestor de la red, las Administraciones Públicas y los generadores)³⁶. También se suele apelar a la necesidad de unos mayores niveles de interconexión eléctrica con los países de nuestro entorno. Algunos plantean que dicha preocupación debe llevar a fijar unos límites en la participación de esta tecnología no gestionable. Red Eléctrica defendía un 30% en el pasado, y Komor y Bazilian un 40% para Irlanda en 2006. Puede acudir a tecnologías con-

³⁴ Se supone un precio de 50 euros por barril de petróleo y una tasa de cambio euro-dólar de 1. Río, P. del (2009); Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2005).

³⁵ Según Red Eléctrica, el saldo (exportador) de los intercambios internacionales físicos de electricidad alcanzó los 8.398 GWh en 2009, un 3,2% de la demanda eléctrica en ese año.

³⁶ Río, P. del (2008): "Ten years of renewable electricity policies in Spain: an analysis of successive feed-in tariff reforms", en *Energy Policy* (en prensa).

vencionales de apoyo (generación de respaldo), pero también tiene sus costes. Algunos estudios muestran que los costes de la integración se incrementan exponencialmente con el nivel de penetración. Por ejemplo, en un estudio realizado para Estados Unidos³⁷ se afirma que los costes de la integración son significativos con un nivel de penetración del 10% y prohibitivos con un 40%.

4.5 Los costes de las tecnologías y de su promoción pública

Si el objetivo es obtener una energía a bajo precio, entonces las renovables no tendrían que tener actualmente un peso significativo en el mix de generación. Sus costes son superiores a las tecnologías convencionales. Sin embargo, dados sus indudables beneficios sociales con respecto a las tecnologías más convencionales, pero su mayor coste privado, está justificado apoyarlas públicamente³⁸. El instrumento utilizado en nuestro país, regulado por el Real Decreto 661/2007 y el Real Decreto 1578/2008 (para la solar fotovoltaica)³⁹ es uno de primas, en virtud del cual los generadores renovables reciben una ayuda adicional a la del precio de la electricidad en el mercado mayorista (opción de precio más prima) o una cantidad total por la electricidad que venden (tarifa regulada). El cuadro 3 muestra las primas y tarifas reguladas para las distintas tecnologías de generación renovable en España.

La Comisión Nacional de la Energía aporta datos sobre la evolución de la retribución anual total recibida por los productores de E-FER en España (gráfico 7) en los últimos seis años, desagregada por tecnología. Puede observarse que el coste total del apoyo se multiplica por más de tres en el período, a causa de la eólica y la solar. Sin embargo, el comportamiento de la eólica en estos dos últimos años ha sido bastante ejemplar, con reducciones en la retribución anual total a pesar de una mayor generación.

Los datos sobre el precio medio de la retribución total (tabla 7) y sobre la prima equivalente (tabla 8) confirman ese buen comportamiento de la eólica y el preocupante de la solar; tanto por el montante total y su crecimiento exponencial en los últimos años como por el hecho de que la re-

³⁷ Caldwell, J. (2003): American Wind Energy Association (AWEA), *A Review of Wind/Utility Integration Studies*, Presentation at Platts Conference, Boulder, Colorado.

³⁸ Para una justificación del apoyo público a las renovables, véase el apartado 4.1.

³⁹ Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial; Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología.

Cuadro 3 – Niveles de apoyo para la E-FER

Grupo	Subgrupo	Potencia	Plazo	Tarifa regulada c€/kWh	Prima de referencia c€/kWh	Límite superior c€/kWh	Límite inferior c€/kWh
B.1 Solar (1)	B.1.1 Solar fotovoltaica (Techo)	≤ 20 kW	25 años	32,0000			
	Techo	> 20 kW	25 años	34,0000			
	Suelo		25 años	32,0000			
B.2 Solar	B.1.2 Solar termoelectrica		Primeros 25 años	26,9375	25,4000	34,3976	25,4038
			A partir de entonces	21,5498	20,3200		
B.2 Eólica	B.2.1 Eólica terrestre		Primeros 20 años	7,3228	2,9291	8,4944	7,1275
			A partir de entonces	6,1200	0,0000		
B.3 Geotérmica, olas, mareas, rocas, oceanotérmica y corrientes marinas			Primeros 20 años	6,8900	3,8444		
			A partir de entonces	6,5100	3,0600		
B.4 Hidroeléctrica		<10MW	Primeros 25 años	7,8000	2,5044	8,5200	6,5200
			A partir de entonces	7,0200	1,3444		
B.5 Hidroeléctrica		>10MW y <50MW	Primeros 25 años	(2)	2,1044	8,0000	6,1200
			A partir de entonces	(3)	1,3444		
B.6.1 Cultivos ecológicos		P ≤ 2 MW	Primeros 15 años	15,8890	11,5294	16,6300	15,4100
			A partir de entonces	11,7931	0,0000		
		2 MW ≤ P	Primeros 15 años	14,6590	10,0964	15,0900	14,2700
			A partir de entonces	12,3470	0,0000		
B.6 Biomasa	B.6.2 Residuos agrícolas	P ≤ 2 MW	Primeros 15 años	12,5710	8,2114	13,3100	12,0900
			A partir de entonces	8,4752	0,0000		
		2 MW ≤ P	Primeros 15 años	10,7540	6,1914	11,1900	10,3790
			A partir de entonces	8,0660	0,0000		
B.6.3 Residuos forestales		P ≤ 2 MW	Primeros 15 años	12,5710	8,2114	13,3100	12,0900
			A partir de entonces	8,4752	0,0000		
		2 MW ≤ P	Primeros 15 años	11,8294	7,2674	12,2600	11,4400
			A partir de entonces	8,0660	0,0000		

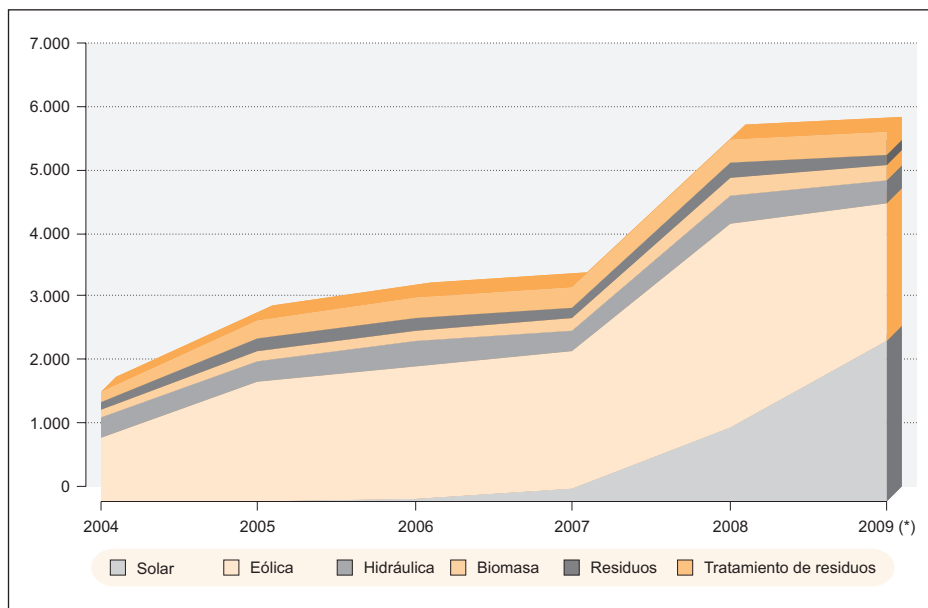
Sigue Cuadro 3 – Niveles de apoyo para la E-FER

Grupo	Subgrupo	Potencia	Plazo	Tarifa regulada c€/kWh	Prima de referencia c€/kWh	Límite superior c€/kWh	Límite inferior c€/kWh
B.7 Biogás	B.7.1 Biogás de vertederos		Primeros 15 años	7,9920	3,7784	8,9600	7,4400
			A partir de entonces	6,5100	0,0000		
	B.7.2 Biogás a partir de residuos biodegradables industriales, lodos de depuradora de aguas urbanas o industriales, residuos sólidos urbanos y residuos ganaderos y agrícolas	P ≤ 500 kW	Primeros 15 años	13,0690	9,7696	15,3300	12,3500
			A partir de entonces	6,5100	0,0000		
		500 kW ≤ P	Primeros 15 años	9,6800	5,7774	11,0300	9,5500
			A partir de entonces	6,5100	0,0000		
	B.7.3 Instalaciones que empleen como combustible principal estiércoles mediante combustión y biocombustibles líquidos		Primeros 15 años	5,3600	3,0844	8,3300	5,1000
			A partir de entonces	5,3600	0,0000		
		P ≤ 2 MW	Primeros 15 años	12,5710	8,2114	13,3100	12,0900
			A partir de entonces	8,4752	0,0000		
B.8 Biomasa procedente de instalaciones industriales	B.8.1 Instalaciones industriales del sector agrícola	2 MW ≤ P	Primeros 15 años	10,7540	6,1914	11,1900	10,3790
			A partir de entonces	8,0660	0,0000		
		P ≤ 2 MW	Primeros 15 años	9,2800	4,9214	10,0200	8,7900
			A partir de entonces	6,5100	0,0000		
	B.8.2 Instalaciones industriales del sector forestal	2 MW ≤ P	Primeros 15 años	6,5080	1,9454	6,9400	6,1200
			A partir de entonces	6,5080	0,0000		
		P ≤ 2 MW	Primeros 15 años	9,2800	5,1696	10,0200	8,7900
			A partir de entonces	6,5100	0,0000		
	B.8.3 Licores negros de la industria papelera	2 MW ≤ P	Primeros 15 años	8,0000	3,2199	9,0000	7,5000
			A partir de entonces	6,5080	0,0000		

(1) El Real Decreto 1578/2008 se aplica a las instalaciones de tecnología fotovoltaica que obtengan su inscripción definitiva en el Registro administrativo de instalaciones de producción en régimen especial dependiente de la Dirección General de Política Energética y Minas con posterioridad al 29 de septiembre de 2008. (2) La cuantía de la tarifa regulada para las instalaciones del grupo B.5 para los primeros veinticinco años desde la puesta en marcha será: $6,60 + 1,20 \times [(50 - P) / 40]$, siendo P la potencia de la instalación. (3) La cuantía de la tarifa regulada para las instalaciones del grupo B.5 para el vigésimo sexto año y sucesivos desde la puesta en marcha será: $5,94 + 1,080 \times [(50 - P) / 40]$, siendo P la potencia de la instalación.

Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Real Decreto 661/2007 y Real Decreto 1578/2008.

Gráfico 7 – Evolución de la retribución anual recibida por los productores de E-FER. En millones de euros. 2004-2009



(*) Datos de enero a octubre.

Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Comisión Nacional de la Energía, *Información estadística sobre las ventas de energía del Régimen Especial*, marzo 2010.

tribución unitaria se incrementa, cuando lo que debería hacer es bajar, siguiendo la tendencia (teórica) de su curva de aprendizaje⁴⁰.

Los niveles de la retribución de la E-FER para el año 2009 superan ampliamente el precio de la electricidad en el mercado mayorista (3,697 cent€/kWh)⁴¹. Obviamente, esa diferencia es mayor en el caso de la solar fotovoltaica y menor en el caso de los residuos y la eólica.

El incremento en el apoyo a todas las tecnologías en el período considerado podría sugerir un coste superior al necesario, teniendo en cuenta los efectos de aprendizaje que, al menos teóricamente, provocan una re-

⁴⁰ La prima equivalente se ha calculado como retribución total menos la energía multiplicada por el precio medio anual del mercado de todas las instalaciones del régimen especial que han optado por la opción de mercado o que han optado por la opción de tarifa vendiendo su energía a través de un representante distinto de la distribuidora. Véase Comisión Nacional de la Energía (2010): *Informe de Ventas del Régimen Especial*, en <http://www.cne.es>

⁴¹ Como precio del mercado mayorista se ha tomado el precio medio del mercado diario. Se ha calculado la media de los precios mensuales aportados por el operador del mercado eléctrico (OMEL), lo que da lugar al precio para 2009.

Tabla 7 – Evolución del precio medio de la retribución total de la E-FER. En céntimos de euro por kWh. 2004-2009

	2004	2005	2006	2007	2008	2009 (*)
Solar	36,74	39,91	42,75	43,39	45,32	46,72
Eólica	6,30	8,76	9,08	7,81	10,04	7,99
Hidráulica	6,66	8,80	8,95	7,74	9,61	8,06
Biomasa	6,54	8,66	8,86	8,85	11,65	11,06
Residuos	5,30	6,79	7,01	6,17	8,76	6,80
Tratamiento de residuos	6,15	8,81	9,85	9,33	11,13	12,48
Total	6,30	8,65	9,08	8,31	11,97	13,12

(*) Datos de enero a octubre.

Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Comisión Nacional de la Energía, *Información estadística sobre las ventas de energía del Régimen Especial*, marzo 2010.

Tabla 8 – Evolución de la prima equivalente para la E-FER. En miles de euros. 2004-2009

	2004	2005	2006	2007	2008	2009 (*)
Solar	6.146	13.996	39.889	194.183	989.953	2.330.248
Eólica	451.667	612.785	865.815	1.003.767	1.155.674	1.143.747
Hidráulica	150.753	111.955	149.567	146.936	146.964	178.437
Biomasa	54.932	59.094	75.132	101.514	129.529	158.232
Residuos	41.900	24.200	40.717	54.068	63.301	69.823
Tratamiento de residuos	70.791	93.309	153.131	175.879	147.145	274.687
Total	776.190	915.339	1.324.251	1.676.346	2.632.566	4.155.173

(*) Datos de enero a octubre.

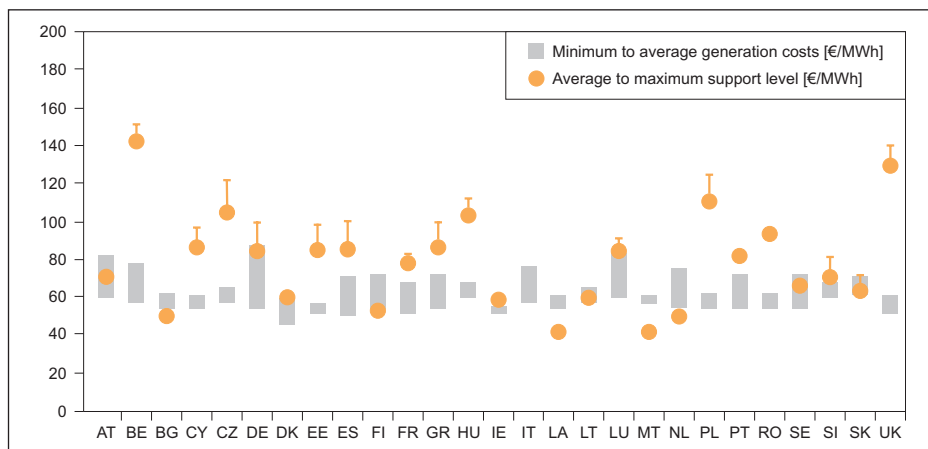
Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Comisión Nacional de la Energía, *Información estadística sobre las ventas de energía del Régimen Especial*, marzo 2010.

ducción en el coste de las tecnologías⁴². De hecho, frecuentemente, la prensa económica fundamentalmente afirma que estos costes son excesivos. Sin embargo, según la teoría económica, sería difícil saber si esa remuneración total es o no excesiva pues requeriría:

1) Un análisis de los costes reales de las tecnologías (coste real de la generación renovable en España). Así, se podría comparar el nivel del apoyo con esos costes, identificando si se han ajustado a los mismos o si, por el contrario, les superan mucho, lo que sería injustificado. Los datos sobre

⁴² No obstante, es importante destacar que un componente esencial del coste de las tecnologías, el coste de los materiales, puede incrementarse, compensando los efectos de aprendizaje y de escala dinámicos y presionando al alza el coste de las tecnologías. Esto puede haber ocurrido en España con la eólica (costes del acero) y la solar fotovoltaica (costes del silicio).

Gráfico 8 – Niveles de apoyo (en naranja) y costes de la eólica terrestre (en gris) en la Unión Europea. 2005



Fuente: Comisión Europea (2008): *The support of electricity from renewable energy sources*. Bruselas.

esos costes son escasos, un problema clásico en los análisis de políticas de promoción pública en Europa⁴³. Una excepción es el estudio de la Comisión Europea, donde se comparan los costes de generación de la eólica terrestre con el nivel de apoyo público en la UE-15. El gráfico 8 muestra que el nivel de apoyo en España está relativamente ajustado al coste de generación, desde luego en comparación con otros países de nuestro entorno. Para el resto de las tecnologías, la diferencia entre los niveles de apoyo y los costes de generación a largo plazo en España es de nivel medio/bajo para la minihidráulica, muy alta en biomasa y muy baja en solar fotovoltaica. Sin embargo, ese nivel de apoyo se refiere a 2005, es decir, cuando la remuneración en vigor era la del Real Decreto 436/2004, no la del Real Decreto 661/2007, que incrementó significativamente los niveles de apoyo⁴⁴.

2) Una alternativa sería comparar esos costes totales con los beneficios totales de la promoción. Sin embargo, esto también resulta complicado, pues algunos de los beneficios derivados de la penetración de E-FER son difícilmente traducibles a términos monetarios (calidad del empleo, por ejemplo)⁴⁵.

⁴³ Verbruggen, A. (2008).

⁴⁴ Véase Río, P. del (2008).

⁴⁵ P. del Río y M. A. Gual llevan a cabo un ejercicio de este tipo para el período 1999-2003, de acuerdo con los niveles de apoyo concedidos en el Real Decreto 2818/1998, sustituido por el Real Decreto 436/2004 y posteriormente por el Real Decreto 661/2007. Los autores muestran que las externalidades evitadas de la biomasa, minihidráulica y eólica superan los costes pagados por los consumidores. Sin embargo, los elevados costes de promoción de la fotovoltaica están por encima de los costes externos evitados por esta tecnología. No obstante, en este caso el apoyo puede justificarse a partir de otros argumentos, incluidos los de eficiencia dinámica. Véase Río, P. del y Gual, M. A. (2007): "An integrated assessment of the feed-in tariff system in Spain", en *Energy Policy*, 35, p. 994-1.012.

3) Algunos defenderían que el apoyo a la E-FER (a partir de los datos de la retribución media) supera el precio medio de mercado de la electricidad. Sin embargo, este argumento ignora la justificación de la promoción de estas energías con un coste privado superior, básicamente relacionado con las externalidades ambientales negativas que evitan y las tecnológicas que inducen. Estas energías seguirán siendo más caras que las convencionales durante algún tiempo (mayor o menor dependiendo de la tecnología, de su grado de madurez y de su recorrido a lo largo de la curva de aprendizaje). El apoyo (sobrecoste) está justificado, lo que no implica que todo valga; es decir, que cualquier nivel de apoyo sea justificable. Pero, la comparación con el precio de la electricidad no es el único criterio, pues siempre estas tecnologías tendrán un coste superior a ese precio. Si no fuera así, el apoyo no estaría justificado.

4) Finalmente, otra posibilidad sería comparar el precio medio de la retribución total de la E-FER en España con la concedida en otros países de nuestro entorno. Esto se ha llevado a cabo en un estudio comparativo a nivel europeo, elaborado para la Comisión Europea en 2008⁴⁶, utilizando la metodología del proyecto OPTRES⁴⁷. En este análisis se comparan los beneficios para los inversores (eje horizontal) con el indicador de eficacia (eje vertical). El gráfico 9 muestra el caso de la eólica terrestre. Esta comparación indica si el éxito de una determinada política se basa en los elevados incentivos financieros o si otros aspectos, tales como estabilidad, menores riesgos para el inversor o el acceso al mercado, tienen un impacto crucial en la difusión de la E-FER.

Los datos para España muestran mayores tasas de crecimiento en el indicador de eficacia, con unos niveles de rentabilidad relativamente bajos. Los datos también reflejan que los países con sistemas de primas (puntos naranjas) son en general más eficaces a niveles de apoyo moderados. Por el contrario, los sistemas de cuotas (puntos grises) tienen una baja eficacia con márgenes de beneficio más altos⁴⁸.

Los resultados para España muestran que, al menos para la energía eólica, la promoción pública ha sido relativamente eficaz con costes moderados. Los datos disponibles corresponden a 2006 y, por tanto, pueden haberse producido variaciones.

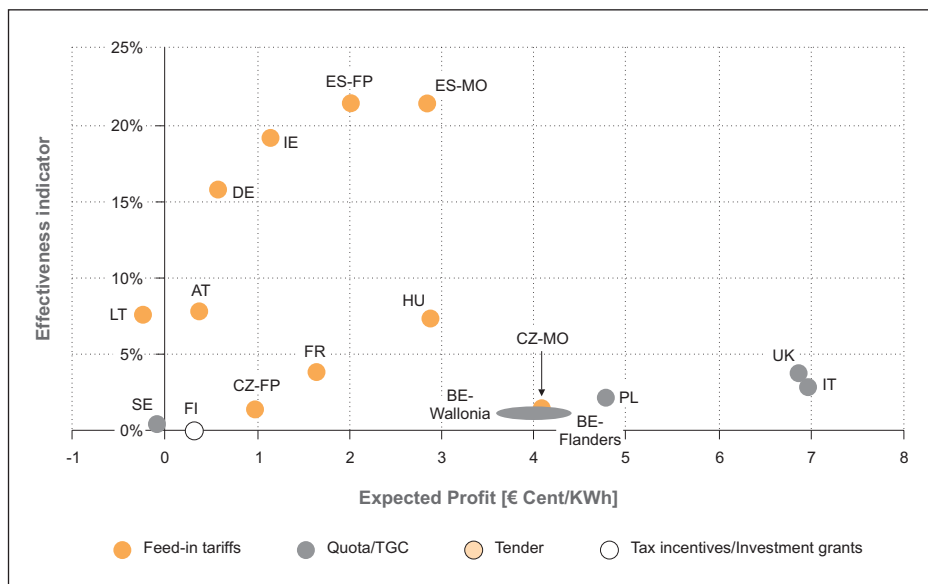
En todo caso, más que el nivel de apoyo, lo que sí resulta preocupante desde un punto de vista económico es la evolución de la retribución total, especialmente la de la energía solar.

⁴⁶ Comisión Europea (2008): *The support of electricity from renewable energy sources*. [COM(2008) 19]. Bruselas.

⁴⁷ Ragwitz, M. et al. (2007): *OPTRES – Assessment and optimisation of renewable energy support schemes in the European electricity market*. Bruselas.

⁴⁸ Véase la discusión sobre los instrumentos de promoción en el apartado 5.2.

Gráfico 9 – Relación entre el indicador de eficacia y el beneficio esperado para la energía eólica terrestre. 2006



Fuente: Comisión Europea (2008): *The support of electricity from renewable energy sources*. Bruselas.

4.6 Beneficios de eficiencia dinámica

Anteriormente se mencionaba que uno de los beneficios del apoyo público a la E-FER es que impulsa su difusión y, por tanto, fomenta la reducción de costes de estas tecnologías. Es probable que, en el pasado, la promoción de la E-FER en España haya inducido mejoras significativas y reducciones de costes en las tecnologías renovables, aunque éstas son sólo en parte el resultado del apoyo de nuestras administraciones. Por ejemplo, los costes de la eólica se redujeron desde los 1.700 euros por kW instalado en 1986 hasta los 864 euros por kW en 1999⁴⁹. Las reducciones fueron inferiores en otros países: por ejemplo, en Dinamarca, desde los 2.000 €/kW en 1981 a los 950 €/kW en 2000; o en Suecia, desde 1.200 €/kW en 1994 a 980 en 2000⁵⁰.

No obstante, es complicado identificar los efectos beneficiosos del sistema español de promoción pública de E-FER en la eficiencia dinámica. ¿Qué parte de las reducciones de costes son atribuibles a dicho sistema y qué parte a los sistemas de otros países? ¿Se deben a las economías de

⁴⁹ Río, P. del y Gual, M. A. (2007).

⁵⁰ Neij, L. et al. (2003): *Experience Curves: A Tool for Energy Policy Assessment*.

escala y a los efectos de aprendizaje derivados de la difusión facilitada por el apoyo o son más bien el resultado de las inversiones en I+D o incluso de otros factores?

En todo caso, este beneficio no es enteramente apropiable por el país, pues la reducción de costes es aprovechada por otros países y empresas.

4.7 Creación de oportunidades de desarrollo de una industria local

El gasto realizado en tecnologías de generación puede tener lugar en la adquisición de tecnología, en el ensamblaje y construcción, en las operaciones de mantenimiento y en la compra de combustible. El combustible es gratuito en las renovables (excepto en la biomasa, aunque de provisión local) y en el caso de las energías convencionales va a los países de los que se importa. Los beneficios se derivan fundamentalmente de la sustitución de los gastos en importaciones de carbón y gas por gastos locales en tecnologías renovables. En el caso de las actividades de mantenimiento, es similar en ambos tipos de tecnologías. Los impactos en la construcción y ensamblaje son locales, significativos, pero limitados en el tiempo⁵¹.

Además, se trata de una actividad con una elevada intensidad en I+D, hecho positivo en el contexto de nuestra economía, con una de las tasas de inversión en I+D más bajas de la OCDE. Según la Asociación de Productores de Energías Renovables, las empresas del sector dedicaron de media el 1,4% de su facturación a actividades de I+D en 2008 (314,7 millones de euros). Esto representa el 6,6% del PIB sectorial, mientras que en España fue del 1,3% en 2007.

En el caso de las tecnologías y los equipos de producción, España es un país con empresas punteras a nivel mundial en la fabricación de estos equipos. Existe una importante base industrial en nuestro país dedicada a la producción de equipos y componentes renovables. El renovable es un sector industrial muy dinámico que produce bienes de alto valor añadido, con elevada intensidad en I+D y un gran potencial exportador. Ya en 2005 existían más de 550 empresas en el sector eólico dedicadas a la producción, instalación y venta de equipos, servicios financieros, asistencia técnica y servicios de mantenimiento que suministraban casi un quinto de todos los aerogeneradores instalados en el mundo⁵². No obstante, el crecimiento de Estados Unidos y China ha sido muy superior al español y al europeo.

⁵¹ Río, P. del y Burguillo, M. (2008).

⁵² Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2005).

En 2008, la contribución directa del sector de las energías renovables supuso el 0,44% del total del PIB de la economía española. Añadiendo el impacto inducido (efectos de arrastre a lo largo de toda la cadena productiva), la contribución total al PIB del sector fue de 7.315,5 millones de euros (0,67% del PIB)⁵³.

Como se ha mencionado anteriormente, aunque utilizar dinero público para crear una industria local no es recomendable –porque es improbable que esto suponga una asignación óptima de los recursos escasos en una economía–, tampoco pueden obviarse los efectos secundarios positivos en términos de creación de una industria local que se derivan de apoyar a las tecnologías renovables, apoyo justificado por otras razones ya mencionadas.

Por otro lado, no debe despreciarse la contribución que la creación de un potente sector industrial exportador como es el de las renovables tiene para la internacionalización de la economía española. Esa contribución ya estaba prevista en el PER⁵⁴. En 2008, las exportaciones fueron de 3.683 millones de euros (1.227 millones de euros de exportaciones netas). Hay grandes empresas españolas de renovables con actividad en el extranjero y que poseen 27.000 millones de euros en activos fuera de España⁵⁵.

4.8 Efectos sobre el empleo

Uno de los beneficios locales más mencionados de las renovables es la creación de empleo. Casi todos los estudios muestran que la ratio de empleo por unidad de energía generada con tecnologías renovables es superior a las convencionales, aunque varía sustancialmente entre las distintas tecnologías, siendo superior en la biomasa⁵⁶.

Varios trabajos han tratado de identificar la contribución de las renovables al empleo en España utilizando metodologías diversas (cuadro 4).

Según el Plan de Energías Renovables 2005-2010, los empleos netos creados en las áreas eléctricas en el período 1999-2004 habrían ascendido

⁵³ Asociación de Productores de Energías Renovables (2009).

⁵⁴ Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2005).

⁵⁵ Existen 102 empresas españolas del sector de las energías renovables con presencia de negocio relevante en el extranjero. Exportan principalmente equipos de generación, componentes de dichos equipos y servicios de consultoría e ingeniería, actividades en las que han aparecido potentes sectores industriales. Asociación de Productores de Energías Renovables (2009).

⁵⁶ Una excepción es el estudio dirigido por G. Calzada, que defiende que por cada empleo que se crea en energías renovables se pierden 2,2 empleos en la economía y que el coste de cada uno de ellos es de 571.000 euros. Calzada, G. *et al.* (2009): *Study of the effects on employment of public aid to renewables energy sources*. Madrid: Universidad Rey Juan Carlos.

Cuadro 4 – Empleo en energías renovables en España

ESTUDIO	RESULTADOS
Blanco, I., Rodríguez, G. (2009): "Direct employment in the wind energy sector: An EU study", en <i>Energy Policy</i> , 37.	Empleos directos en eólica: 20.500.
Asociación Empresarial Eólica (2008): <i>Estudio Macroeconómico del Impacto del Sector Eólico en España</i> .	Empleos en el sector eólico: 20.781 (directos) + 16.949 (indirectos). De los directos, el 32% en producción de turbinas y componentes, el 31% en la provisión de servicios especializados.
Asociación de Productores de Energías Renovables (2009): <i>Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España</i> .	Empleos en el sector renovable: 75.466 (directos) + 45.257 (efectos arrastre: proveedores de equipos y servicios). Además, las renovables generan más empleo por unidad de PIB y los trabajadores en este sector son un 31% más productivos que el conjunto de la economía española.
MITRE (2001): <i>Country Report Spain</i> .	67.000 empleos a tiempo completo en renovables (todas las áreas, no sólo las eléctricas) en 2010 y 104.000 en 2020 en España (ambos escenarios más conservadores).
Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (2008): <i>Energías renovables y empleo en España, presente y futuro</i> . 2007.	Empleo directo en renovables: 89.000 personas, de las cuales 67.374 se originaron en la construcción, fabricación, instalación, operación y mantenimiento y el resto en administración, comercialización y proyectos/ingeniería. 99.000 empleos indirectos. La eólica representa el 37% de los empleos directos y la solar fotovoltaica el 30%.
Ragwitz et al. (2009): <i>The impact of renewable energy policy on economic growth and employment in the European Union</i> .	El empleo en renovables en España es de aproximadamente 110.000 personas, un 0,6% del empleo total. Se espera que alcance las 135.000 personas en 2020.

Fuente: Elaboración Fundación Encuentro.

a 130.582, esperándose cerca de 70.000 más en el siguiente período (2005-2010) si se cumplen sus objetivos (tabla 9). No obstante, el propio estudio aconseja tomar estos datos con prudencia por la dificultad de estimar esta variable⁵⁷.

En realidad, estimar los efectos sobre el empleo es bastante complicado. Uno de los problemas es que se suelen considerar únicamente los impactos en el estrecho ámbito de la industria de las energías renovables, sin tener en cuenta efectos inducidos en otros sectores. Existen efectos fácilmente mensurables, como el número de personas que trabajan directa-

⁵⁷ El PER aporta datos del apoyo público por empleo generado para el período 2005-2010: solar termoelectrica (48.602 €/empleo neto), solar fotovoltaica (59.010 €/empleo neto), eólica (68.766 €/empleo neto), biomasa eléctrica (85.584 €/empleo neto), hidroeléctrica (141.522 €/empleo neto), co-combustión (145.197 €/empleo neto), biogás (159.526 €/empleo neto).

Tabla 9 – Generación neta de empleo en el sector de las energías renovables. 1999-2010

	Empleo creado entre 1999 y 2004			Empleo que se espera crear entre 2005 y 2010		
	Diseño y construcción	Operación y mantenimiento	Total	Diseño y construcción	Operación y mantenimiento	Total
Eólica	95.160	1.464	96.624	34.680	3.113	37.793
Minihidráulica	2.603	56	2.659	729	607	1.336
Solar termoelectrónica (*)	2.895	289	3.184	11.175	465	11.640
Solar fotovoltaica	2.366	6	2.372	9.075	111	9.186
Biomasa eléctrica	16.060	8.994	25.054	389	8.687	9.076
Biogás	639	50	689	239	71	310
Total	119.723	10.859	130.582	56.287	13.054	69.341

(*) Entre 1999 y 2004 incluye solar térmica.

Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (2005): *Plan de Energías Renovables 2005-2010*.

mente en el sector renovable y su variación en el tiempo. Pero, si nos alejamos de este impacto directo, el cálculo se complica. El efecto neto sobre el empleo del apoyo a las renovables depende de la suma de los efectos directos sobre el sector industrial de las renovables, los efectos indirectos (en empresas auxiliares) y los efectos inducidos o de arrastre sobre el resto de la cadena de producción. De éstos habrá que sustraer los efectos negativos del apoyo a las renovables, que incluyen efectos directos sobre competidoras de las renovables (es decir, el empleo que se destruye en el sector de la electricidad convencional como consecuencia de su sustitución por renovables), efectos inducidos (arrastre) derivados de una pérdida de negocio en el sector convencional que se trasmite a lo largo de toda la cadena de producción y los propios efectos negativos sobre el empleo del apoyo público, derivados del coste de oportunidad de utilizar esos fondos para apoyar a las renovables en lugar de utilizarlos en otras actividades (eventualmente) más productivas.

Parece claro que el efecto directo comparado (lo que se gana en el sector renovable menos lo que se pierde en el sector convencional) es favorable a la creación de empleo. Los estudios suelen coincidir en este punto⁵⁸. Pero el cálculo de los otros efectos se enfrenta a dificultades metodológicas y de disponibilidad de datos⁵⁹.

⁵⁸ Véase ALTENER Programme (2003): *The impact of renewables on employment and economic growth*, en www.eufors.org/Employment.htm

⁵⁹ Una notable excepción es el reciente estudio de Ragwitz, M. et al. (2009): *The Impact of Renewable Energy Policy on Economic Growth and Employment in the European Union*, en el que los impactos que se consideran van más allá de los efectos directos. El estudio concluye que lograr el objetivo del 20% de penetración de renovables en 2020 daría lugar a la creación de 410.000 empleos netos en toda la Unión Europea.

Aunque la creación de empleo no debe ser el objetivo principal de una política de promoción de las renovables, tampoco debe obviarse el impacto positivo que se produce en este sentido, de forma conjunta con los otros beneficios sociales.

Aparte de estos efectos cuantitativos deben mencionarse los impactos cualitativos sobre el empleo. Un aspecto importante es que la dispersión de estas fuentes redundará en una distribución más equitativa de los empleos generados, afectando frecuentemente a zonas geográficas deprimidas⁶⁰. El sector renovable ocupa a más trabajadores con contratación indefinida y un alto nivel de cualificación profesional (el 81% de los contratos son indefinidos, frente al 69% en toda la economía). El 50% de los trabajadores en el sector renovable tienen un título universitario⁶¹.

4.9 Efectos sobre el precio de la electricidad

A corto plazo, la E-FER puede dar lugar a un menor precio marginal de la electricidad en el mercado diario, al sustituir a unidades de generación convencional con mayores costes variables, que tendrían como resultado a precios marginales más elevados⁶².

Varios estudios han tratado de cuantificar este ahorro en España. Según la Asociación de Productores de Energías Renovables, éste ascendió a 4.919 millones de euros en 2008. En este año, ese menor precio fue del 12,7% con respecto al que se hubiese establecido en el mercado mayorista si no se tuviese en consideración la E-FER.

En un estudio⁶³ se estima que la generación eólica ha reducido el precio mayorista de la electricidad en 7,08 €/MWh en 2005, en 4,75 €/MWh en 2006 y en 12,44 €/MWh entre el 1 de enero y el 31 de mayo de 2007 (es decir, un 11,7%, un 8,6% y un 25,1%, respectivamente). El análisis que en-

⁶⁰ Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2005).

⁶¹ Nieto, J. (2008): *Empleo en energías renovables en España 2007*. Madrid: Centro ISTAS de Energías Renovables y Empleo.

⁶² La fijación de los precios en el mercado eléctrico es el resultado de la interacción de la oferta y la demanda, como en cualquier otro mercado. El último kWh de oferta de electricidad que es necesario para cubrir la demanda fija dicho precio. Este último kWh suele ser suministrado por fuentes convencionales de alto coste de combustible (fuel o gas). Por el contrario, las renovables no tienen coste de combustible (coste variable bajo), por lo que si aquellas fuentes se sustituyen por éstas para satisfacer la demanda eléctrica se generaría (a corto plazo) cierta presión a la baja sobre el precio de la electricidad. Asociación de Productores de Energías Renovables (2009).

⁶³ Sáenz de Miera, G., Río, P. del y Vizcaíno, I. (2008): "Analysing the impact of renewable electricity support schemes on power prices. The case of wind electricity in Spain", en *Energy Policy*, 36(9), p. 3.345-3.359.

cabeza L. Gelabert⁶⁴ calcula que un incremento marginal de 1 GWh de la E-FER provoca una reducción de 2,5 euros en el precio de la electricidad (alrededor del 5%).

5. Determinantes y barreras al desarrollo y difusión de tecnologías de electricidad renovable

En este apartado se analizan los principales factores que afectan al crecimiento de la E-FER, primero de forma general y, posteriormente, a nivel europeo y, sobre todo, nacional.

5.1 Discusión general

Factores tecnoeconómicos

La evolución tecnológica es un aspecto fundamental en el crecimiento de la E-FER. Este sector ha demostrado un dinamismo tecnológico espectacular, que se ha traducido en mejoras constantes que han incrementado la eficiencia en la transformación del recurso y han reducido significativamente los costes de las tecnologías⁶⁵.

Las tecnologías limpias en general y las tecnologías renovables en particular sufren un problema de “doble externalidad”⁶⁶:

1) **La externalidad ambiental.** Las empresas no tienen que pagar por los daños causados por las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que, a su vez, provoca demasiadas emisiones y un bajo incentivo para la innovación en tecnologías bajas en carbono.

⁶⁴ Gelabert, L., Labandeira, X. y Linares, P. (2008): *Renewable Energy and Electricity Prices in Spain. Working paper* de la Asociación Española para la Economía Energética.

⁶⁵ En el caso de la eólica, el tamaño de los aerogeneradores no ha dejado de evolucionar en los últimos veinte años, desde los 15 metros de diámetro del rotor de los primeros aerogeneradores (1980) hasta los 126 en 2005, permitiendo incrementar la producción por euro invertido. Gómez, E. (2009): “Energía eólica: situación actual y perspectivas”, en Comisión Nacional de la Energía: *La energía: mercados eficientes, suministro seguro y protección de los consumidores*. Madrid.

⁶⁶ Rennings, K. (2000): “Redefining innovation-eco-innovation research and the contribution from Ecological Economics”, en *Ecological Economics*, 32, p. 319-332; Río, P. del (2004): “Public policy and clean technology promotion. The synergy between environmental economics and evolutionary economics of technological change”, en *International Journal of Sustainable Development*, 7(2), p. 200-216; Jaffe, A. et al. (2005): “A tale of two market failures: Technology and environmental policy”, en *Ecological Economics*, 54(2-3), p. 164-174; Newell, R. (2008): *A U.S. Innovation Strategy for Climate Change Mitigation*.

2) **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.

Por otro lado, los ciclos de capital afectan a la posibilidad de que una determinada tecnología sea sustituida por otra más limpia. Si el *stock* de capital existente (maquinaria) no se ha depreciado, retirarlo daría lugar a elevados costes, lo que desincentiva la sustitución. La vida útil de las centrales de generación eléctrica es de al menos cuarenta años. Esto supone un obstáculo para la sustitución de las centrales convencionales por instalaciones de E-FER.

Además, el enfoque evolutivo ha destacado la importancia de las barreras “sistémicas” a las nuevas tecnologías⁶⁷. Esta perspectiva subraya que el “bloqueo tecnológico” en tecnologías intensivas en carbono es el resultado de sistemas políticos, regulatorios y sociales que apoyan a las tecnologías existentes y actúan como una gran barrera para la introducción de tecnologías bajas en emisiones, como las renovables.

Por otro lado, desde un punto de vista dinámico, los costes de las tecnologías pueden reducirse a través de inversiones en I+D, economías de escala y efectos de aprendizaje⁶⁸. El grado de estas reducciones depende de dos factores interrelacionados: la madurez de las tecnologías y su nivel de difusión. Las tecnologías inmaduras se benefician mucho de la existencia de significativos efectos de aprendizaje e inversiones en I+D, que pueden dar lugar a sustanciales reducciones en sus costes. Sin embargo, en ausencia de políticas de apoyo, es probable que se produzca un círculo vicioso⁶⁹: las tecnologías no se difunden porque sus costes son elevados, y son elevados porque no se han beneficiado de los efectos de aprendizaje y de las economías de escala dinámica que se producen con la difusión de las tecnologías, al menos en pequeños nichos, y con las inversiones en I+D. Por tanto, las políticas de apoyo a la I+D y a la difusión de estas tecnologías tienen una considerable influencia en esos costes.

Una ventaja fundamental de la E-FER es que tiene costes variables generalmente bajos, que incluyen los de operación y mantenimiento, los del combustible y los de CO₂. Los costes de CO₂ son cero para estas tec-

⁶⁷ Véase, entre otros, Unruh, G. C. (2000): “Understanding carbon lock-in”, en *Energy Policy*, 28(12), p. 817-830; Río, P. del y Unruh, G. (2007): “Overcoming the lock-out of renewable energy technologies in Spain: the cases of wind and solar electricity”, en *Renewable and Sustainable Energy Review*, 11(7), p. 1.498-1.513; Río, P. del (2008). Marechal, K. (2007): “The Economics of climate change and the change for climate in Economics”, en *Energy Policy*, 35(10), p. 5.181-5.194.

⁶⁸ Véase el apartado 4.1.

⁶⁹ Río, P. del (2004).

nologías⁷⁰. Aunque los costes de operación y mantenimiento varían según la tecnología renovable, representan en general una pequeña fracción de los totales y son normalmente bajos, aunque no más que para las tecnologías convencionales⁷¹.

El coste del combustible es cero para la E-FER, excepto para la biomasa. En contraste, las tecnologías convencionales (petróleo, gas, carbón y nuclear) incurren en considerables costes de combustible. La evolución de sus precios presenta problemas para las economías dependientes de estos recursos (todas) y que además no tienen recursos propios (la gran mayoría de las europeas), por su volatilidad y tendencia alcista. Además, existe una seria y creciente preocupación por la seguridad en el suministro de esos combustibles fósiles. Su progresiva escasez y las preocupaciones por la seguridad del suministro energético constituyen un factor impulsor de las energías renovables.

Aunque es difícil predecir la evolución del precio del carbón, del gas o del uranio⁷², es probable que aumente en el futuro, tal y como ha ocurrido en la última década. Existe un cierto acuerdo (que no consenso) acerca de que se trata de combustibles con una oferta limitada. Esto, unido al considerable crecimiento esperado en la demanda mundial de energía en las próximas décadas, generará una presión al alza sobre su precio⁷³.

Por otro lado, aunque el recurso para la E-FER es gratis, su disponibilidad y calidad, que influye en la cantidad de electricidad producida, depende de su localización. Por tanto, el análisis de los potenciales de

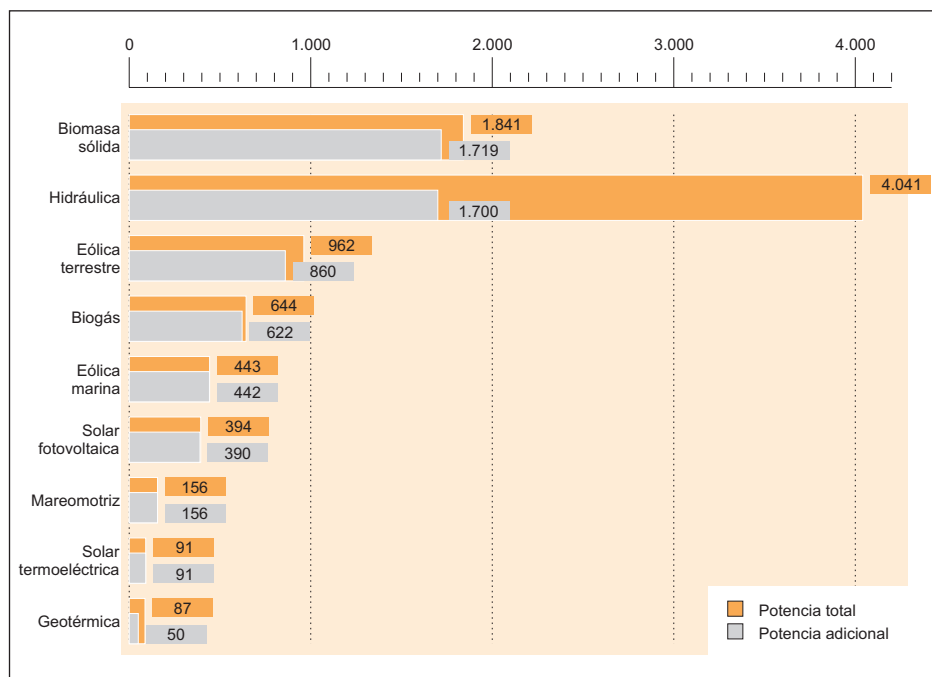
⁷⁰ Los costes del CO₂ hacen referencia a la existencia de una política ambiental que dé lugar a la internalización de las externalidades provocadas por las emisiones de CO₂, en la forma de impuestos sobre el contenido de carbono de los combustibles utilizados para la generación eléctrica o de sistemas de permisos de emisión de CO₂. En ambos casos, la electricidad convencional tendría un coste añadido con respecto a las fuentes renovables que no emiten CO₂ y, por tanto, no tienen que realizar ningún pago por ese concepto.

⁷¹ Iglesias, G., Río, P. del y Dopico, J. (2010): *Policy analysis of authorisation procedures for renewable electricity plants: the case of wind energy in Spain* (mimeo).

⁷² Teniendo en cuenta que los combustibles relevantes para la generación eléctrica son el gas, el carbón y el uranio, la utilización del petróleo para producir electricidad es muy reducida, tanto en Europa como en España, y está en franca recesión. No obstante, el precio del petróleo tiene una relación indirecta en este contexto, en tanto que el precio del gas evoluciona en paralelo a éste.

⁷³ El reputado informe de la Agencia Internacional de la Energía supone que el precio del petróleo en 2030 será de 122 dólares/barril (dólares de 2007), comparado con un precio de 100 dólares/barril en 2008. Se espera que los precios del gas se incrementen en la misma proporción. Por otro lado, el precio del carbón ha aumentado en los últimos años desde 42 dólares por tonelada en 2003 hasta 73 en 2007 y 100 en la primera mitad de 2008. Se piensa que subirán hasta los 110 dólares en 2030. Agencia Internacional de la Energía (2008a): *World energy outlook 2008*. París.

Gráfico 10 – Potencial total y potencial adicional en tecnologías de generación renovable en la OCDE, Brasil, China, India, Rusia y Sudáfrica. En TWh. 2005



Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de OCDE (2008): *Deploying renewables. Principles for effective policies*. París.

E-FER de cada país y región resulta crucial⁷⁴. En el gráfico 10 se aportan datos de los potenciales totales mundiales por tecnologías de generación renovable y los potenciales “adicionales”, es decir, los que quedan por explotar⁷⁵. Puede observarse que existe potencial considerable en muchas tecnologías, sobre todo en hidráulica, biomasa sólida y eólica. Aunque la hidráulica tiene un potencial total muy superior al resto de las tecnologías, gran parte de éste ya ha sido explotado, especialmente en los países desarrollados. No obstante, el potencial adicional, por explotar, sigue siendo significativo.

Finalmente, algunas tecnologías de generación renovable (eólica, solar, mareomotriz o minihidráulica) comparten una característica que las distingue de las centrales de generación convencional: su producción varía en el tiempo en función de la disponibilidad del recurso. Algo que debe te-

⁷⁴ Resch, G. *et al.* (2008): “Potentials and prospects for renewable energies at global scale”, en *Energy Policy*, 36, p. 4.048-4.056.

⁷⁵ Los potenciales “adicionales” son el resultado de restar la generación actual (potenciales ya explotados) del potencial teórico total.

nerse en cuenta a la hora de considerar la seguridad del suministro. Con niveles elevados de penetración, supone un desafío para la estabilidad y operación de las redes eléctricas⁷⁶. Estos problemas pueden gestionarse, con opciones como la capacidad de respaldo o el almacenamiento de la electricidad, pero tienen un coste⁷⁷.

Niveles de madurez tecnológica

Las tecnologías renovables pueden clasificarse en función de su madurez, desde las más inmaduras, en la fase de invención o desarrollo inicial hasta las más maduras, ya comercializadas. La Agencia Internacional de la Energía⁷⁸ establece tres fases fundamentales: desarrollo (prototipos y demostración, como algunas variedades de geotérmica), nichos de mercado (tecnologías con elevado coste diferencial con respecto a las convencionales, como la solar fotovoltaica) y mercados en masa (tecnologías maduras, como la hidráulica). Entre la segunda y la tercera etapa están las tecnologías de bajo coste diferencial, como la eólica terrestre. Una etapa crítica es la denominada “valle de los muertos”⁷⁹, término con el que se quiere destacar la idea de que resulta difícil para algunas tecnologías alcanzar la comercialización como consecuencia de sus elevados costes.

Costes actuales

Existen numerosas y muy diversas estimaciones sobre los costes de las tecnologías renovables⁸⁰, aunque se pueden extraer aspectos comunes:

1) En comparación con sus competidoras convencionales, las tecnologías renovables suelen tener costes totales más elevados, que incluyen los de inversión, operación y mantenimiento y combustible.

2) La intensidad de capital de estas tecnologías determina sus mayores costes totales, a pesar de la no existencia de costes de combustible. Las tecnologías renovables son en general más intensivas en capital con respecto a sus competidores fósiles.

⁷⁶ Agencia Internacional de la Energía (2008d): *Empowering Variable Renewables Options for Flexible Electricity Systems*. París.

⁷⁷ Esta variabilidad debe considerarse en el contexto de la flexibilidad de los sistemas eléctricos (interconexiones, almacenamiento o gestión de cargas). Meibom, P. *et al.* (2006): *WILMAR: Wind Power Integration in Liberalised Electricity*; Agencia Internacional de la Energía (2007): *World energy outlook 2007*. París.

⁷⁸ Agencia Internacional de la Energía (2008c).

⁷⁹ Taylor, M. (2008): “Beyond technology-push and demand-pull: Lessons from California's solar policy”, en *Energy Economics*, 30, p. 2.829-2.854; Agencia Internacional de la Energía (2008c).

⁸⁰ Para una revisión detallada de la literatura sobre los costes de inversión y costes de operación y mantenimiento, véase Río, P. del (2009); Anderson, D. (2006): *Costs and Finance of Abating Carbon Emissions in the Energy Sector. Prepared for the Stern Review*.

3) Dentro de las renovables, existen apreciables diferencias. La hidráulica, el biogás y la eólica terrestre están en la parte más baja del espectro de costes, mientras que las tecnologías solares son relativamente caras.

4) Dentro de una categoría o banda tecnológica, existen variaciones significativas, dependiendo de los diferentes potenciales en las distintas localizaciones de la planta de E-FER.

5) El potencial de reducción de costes de las tecnologías renovables es considerable, y en todo caso superior al de sus competidoras fósiles, lo que da lugar a su posible competitividad en horizontes de medio y largo plazo, dependiendo del grado de madurez y de sus costes actuales⁸¹. Estas reducciones dependen a su vez de la promoción pública (apoyo a la I+D y a la difusión de otras tecnologías) que les permita mejorar en el tiempo.

Precio de los combustibles

La tabla 10 ilustra el impacto que tendrían unos elevados precios de los combustibles en los costes de generación y en la competitividad de las

Tabla 10 – Costes de generación comparativos de las tecnologías de generación eléctrica en función de distintos precios del gas y del petróleo

Fuente energética	Tecnología de generación eléctrica	Costes de generación de electricidad (€/2006/MWh)		
		2007 (estado actual)	Proyección 2030 (precio bajo del combustible)	Proyección 2030 (precio alto del combustible)
Gas natural	Turbina de gas	65-75	90-100	160-165
	Ciclo combinado	50-60	70-80	115-125
Petróleo	Motor de combustión interna de diésel	100-125	140-160	230-250
	Ciclo combinado	95-105	125-135	200-205
Carbón	Pulverizado	40-50	65-80	85-100
	Lecho fluido circulante	45-55	75-85	95-100
	Ciclo combinado de gasificación integrada	45-55	70-80	85-95
Nuclear	Fisión	50-85	45-80	55-85
Biomasa	Biomasa sólida	80-195	85-205	95-220
	Biogás	55-215	50-190	50-190
Eólica	Terrestre	75-110	50-85	50-85
	Marina	85-140	50-95	50-85
Hidráulica	Grande	35-145	30-130	30-130
	Pequeña	60-185	50-145	50-145
Solar	Fotovoltaica	520-880	170-300	170-300
	De concentración	170-250	100-140	120-160

Nota: Precio del petróleo: 2007 (54,5\$ el barril), precio bajo del combustible en 2030 (63\$ el barril) y precio alto del combustible (119\$ el barril). Precios de los combustibles en dólares de 2005.

Fuente: Comisión Europea (2008): *European energy and transport trends to 2030 - Update 2007*. Bruselas.

⁸¹ Véase tasas de aprendizaje después.

tecnologías de generación eléctrica. Esta situación influiría positivamente y mejoraría la posición relativa de algunas renovables, en particular la de las tecnologías maduras cuyos niveles de costes están más cerca de los de las tecnologías convencionales (eólica). Sin embargo, unos precios más altos de los combustibles no provocarían que las renovables más caras (por ejemplo, la solar fotovoltaica) fueran competitivas respecto a las tecnologías convencionales.

Tendencias tecnológicas y costes esperados (tasas de aprendizaje)

Es de esperar que la inversión en I+D y una mayor difusión de las tecnologías de generación renovable den lugar a una reducción de sus costes de inversión. La tabla 11 muestra las tasas de aprendizaje esperadas de las tecnologías de generación eléctrica renovable. Su potencial de reducción de costes es significativo, y los acercaría a los de sus competidores convencionales⁸². Por lo tanto, el avance tecnológico y la disminución de costes constituyen un factor impulsor esencial de la E-FER, aunque para algunas tecnologías ese factor es más importante que para otras. Del Río⁸³ realiza una comparativa de varios estudios sobre la evolución esperada de esos costes hasta 2030. La conclusión fundamental y común que se deriva de esos análisis es que se espera que los costes de inversión de las tecnologías renovables se reduzcan significativamente en el futuro, aun-

Tabla 11 – Tasas de aprendizaje esperadas. En porcentaje. 2008

Tecnología	Tasa de aprendizaje (AIE)	Tasa de aprendizaje (CE)
Eólica terrestre	7,0	8,0
Eólica marina	9,0	8,0
Solar fotovoltaica	18,0	23,0
Solar termoelectrica (de concentración).	10,0	10,0
Biomasa (gasificación integrada/ciclo combinado)	5,0	12,0
Biogás	NA	12,5
Gran hidráulica	NA	-0,5% al año
Pequeña hidráulica	NA	-1,2% al año

Nota: Las tasas de aprendizaje indican las reducciones de costes que se pueden producir cuando la producción de esa tecnología se multiplica por dos.

Fuente: Agencia Internacional de la Energía (2008): *Energy Technology Perspectives*. París; y Comisión Europea (2008): *European energy and transport trends to 2030 - Update 2007*. Bruselas.

⁸² Varias fuentes muestran que en el pasado se han producido considerables reducciones en las tecnologías renovables. Véase Agencia Internacional de la Energía (2000): *Experience Curves for Technology Policy*. París.

⁸³ Río, P. del (2009).

que permanecerán por encima de los de sus competidores convencionales⁸⁴.

Barreras legales y administrativas

A menudo, los proyectos de E-FER, y los parques eólicos en particular, se enfrentan a barreras relacionadas con la concesión de autorizaciones administrativas o procedimientos de acceso a la red. En países con una estructura descentralizada pueden existir distintos niveles administrativos y la coordinación entre ellos puede no ser óptima. Esto da lugar a tiempos muertos y retrasos para los inversores⁸⁵.

Factores relativos a las políticas públicas

Dado el mencionado problema de la doble externalidad, la E-FER necesita instrumentos de apoyo. En la Unión Europea, éste adopta distintas formas: el Sistema Europeo de Comercio de Emisiones (SECE), sistemas de apoyo a la E-FER o el fomento de la I+D en tecnologías renovables. La evolución de estas políticas en el futuro afectará a la penetración de la E-FER. Su eficacia dependerá de que se dirijan a todas las fases del proceso de cambio tecnológico y tengan en cuenta los distintos niveles de madurez de las tecnologías (inmadura, precomercial y comercial)⁸⁶. Además, las inversiones en E-FER dependen de que haya un clima de bajo riesgo para los inversores. La continuidad y estabilidad de los sistemas de apoyo son un elemento clave que contribuye a la seguridad para los inversores en E-FER.

Aceptabilidad social

La aceptación social de una tecnología contribuye positivamente a su penetración. Los factores que influyen en la aceptabilidad social dependen de: características específicas de las nuevas tecnologías; características

⁸⁴ No obstante, pueden producirse incrementos puntuales o continuados en los costes y precios de los materiales utilizados en la fabricación de esas tecnologías que generen aumentos absolutos en sus costes. Casos recientes, como la escasez de silicio (para la solar fotovoltaica) y las subidas en los precios del acero (para la eólica) son paradigmáticos en este sentido.

⁸⁵ El proyecto ADMIRE REBUS analizó estos tiempos muertos en las inversiones en energía renovable. Véase Uytendinck, M. A. *et al.* (2003): *ADMIRE-REBUS, Assessment and Dissemination of Major Investment Opportunities for Renewable Electricity in Europe Using the REBUS Tool. Final Report*.

⁸⁶ Agencia Internacional de la Energía (2008c); Río, P. del (2009); Resch, G. *et al.* (2009): *20% RES by 2020-an assessment of the new EU RES policy framework*.

particulares del contexto nacional; y procedimientos para la participación de los distintos actores implicados⁸⁷.

De hecho, el rechazo social puede ser un obstáculo para la E-FER. Éste puede adoptar dos formas: una actitud negativa general contra la E-FER o un rechazo concreto y localizado a un determinado proyecto de E-FER. La oposición puede agravarse en el caso de tecnologías con elevadas tasas de crecimiento, tales como la eólica, aunque puede mitigarse a través de una mayor implicación de las comunidades locales en la implantación del proyecto⁸⁸.

Otros factores

Otras variables pueden actuar como un factor impulsor o como una barrera, incluidas las subvenciones a los combustibles fósiles, la falta de información, los factores relativos al capital humano (habilidades técnicas) y el papel de los pioneros.

La falta de información sobre las nuevas tecnologías es un poderoso inhibidor de su adopción. Las nuevas alternativas tecnológicas no son bien conocidas y sus características y rendimiento se comparan con las tecnologías convencionales, que no requieren cambios en el comportamiento del adoptante. La existencia de personal entrenado y bien formado es muy importante para la difusión de estas tecnologías. Por ejemplo, la falta de instaladores con conocimiento sobre la tecnología pudo haber sido un problema en la primera fase de las instalaciones de solar fotovoltaica en España.

Finalmente, el deseo de implicarse en una nueva tecnología, es decir, desarrollarla o implantarla por primera vez, facilita la adopción en pequeños nichos y, por tanto, iniciar sus reducciones de costes. Lógicamente, esta implicación depende de la aversión al riesgo de los individuos y países. Algunos actúan como pioneros en este sentido⁸⁹.

El desarrollo de las renovables en los países avanzados antes de 1990 tiene que ver con las cuestiones de seguridad del suministro energético relacionada con la diversificación⁹⁰. Posteriormente, la perspectiva ambiental ha ido ganando peso y, en particular, la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Por tanto, los determinantes de la mayor penetra-

⁸⁷ Heiskanen, E. *et al.* (2008): *Factors influencing the societal acceptance of new energy technologies: Meta-analysis of recent European projects*, en www.createacceptance.net; Río, P. del y Burguillo, M. (2008).

⁸⁸ Véase Río, P. del y Burguillo, M. (2008).

⁸⁹ Véase, para el caso de la eólica en Dinamarca, Beise, M. y Rennings, K. (2005): "Lead Markets and Regulation: A Framework for Analyzing the International Diffusion of Environmental Innovation", en *Ecological Economics*, 52(1), p. 5-17.

⁹⁰ Véase, por ejemplo, Schmalensee, R. (2009).

ción de renovables son una mezcla de consideraciones económicas (preocupación por los efectos económicos de la (in)seguridad del suministro energético) y ambientales, traducidas en una mayor concienciación social y, por ende, en la adopción de medidas políticas de apoyo a estas energías, al menos en los países desarrollados. En los países menos desarrollados, la principal motivación ha sido el acceso a la energía eléctrica. Más de 1.700 millones de personas no disponen hoy de acceso a la electricidad en el mundo, lo que limita las posibilidades de desarrollo y bienestar social de la población.

5.2 Evaluación desde una perspectiva europea y española

Aunque algunos de los factores mencionados son generales y, por tanto, afectan a las tecnologías de generación renovable en todo el mundo, otros son diferentes en función del territorio considerado. Se pueden concretar algunos de ellos para el caso europeo y nacional, utilizando datos de diversas fuentes. Es necesario tener en cuenta que el caso español presenta algunas singularidades con respecto al ámbito de la electricidad⁹¹, como la elevada dependencia energética exterior (84% en 2008) y las características de isla desde el punto de vista eléctrico, con interconexiones eléctricas muy débiles con la Unión Europea.

Potenciales de recursos renovables

Algunos estudios sugieren que, aunque una fracción del potencial renovable ya se ha explotado en Europa –sobre todo con respecto a la hidráulica y, en menor medida, a la eólica terrestre–, todavía existe un margen significativo de aprovechamiento en todas las tecnologías de generación renovable, excepto en la hidráulica⁹². La Agencia Internacional de la Energía estima que el potencial adicional de E-FER en la Unión Europea alcanza los 1.294 TWh (aproximadamente dos veces y media la generación de E-FER en 2007). Cuatro países concentran el 60% de este potencial (Francia, Reino Unido, Alemania y España).

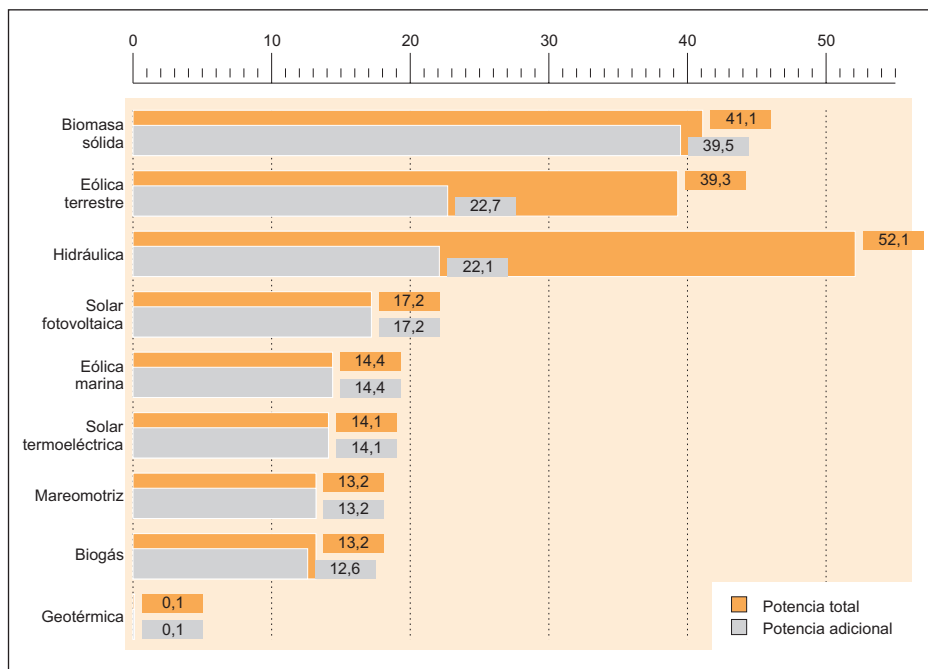
También en España se han realizado evaluaciones de los potenciales físicos, geográficos y técnicos⁹³. La Agencia Internacional de la Energía

⁹¹ Gómez, E. (2009).

⁹² Véase Uytterlinde, M. A. *et al.* (2003); Huber, C. *et al.* (2004): *Green-X. Deriving optimal promotion strategies for increasing the share of RES-E in a dynamic European electricity market. Final report of the project GREEN-X*; Resch, G. *et al.* (2008); y Agencia Internacional de la Energía (2008c).

⁹³ Agencia Internacional de la Energía (2008c); Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (1999); Dopazo, C. y Fueyo, N. (2008): *Estimación del potencial técnico y costes de las energías renovables en España*. Universidad de Zaragoza.

Gráfico 11 – Potencial total y potencial adicional en tecnologías de generación renovable en España. En TWh. 2005



Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de OCDE (2008): *Deploying renewables. Principles for effective policies*. París.

muestra que los potenciales totales son muy elevados en hidráulica, biomasa sólida y eólica. En biomasa, el potencial es en general significativo pero limitado. En hidráulica, el gran potencial que había se encuentra ya muy explotado⁹⁴. El gráfico 11 aporta datos del potencial total y el adicional en España. Los potenciales totales en las tecnologías solares, la eólica marina, mareas y biogás son significativos. El potencial adicional, es decir, el que queda por explotar, es elevado en todas las tecnologías, sobre todo en biomasa sólida. En hidráulica, una gran parte del potencial total ya ha sido explotado, pero, no obstante, el potencial adicional sigue siendo considerable.

Antigüedad de las plantas (ciclo de capital)

Varios estudios confirman la antigüedad del *stock* de plantas de generación convencional y, en particular, las de carbón en la Unión Europea.

⁹⁴ Greenpeace (2007): *Renovables 100%. Un sistema eléctrico renovable para la España peninsular y su viabilidad económica*.

Esto sugiere la necesidad de invertir en nuevas plantas de generación eléctrica en las próximas décadas, lo que ofrece una oportunidad para nuevas centrales más limpias, incluidas las renovables. Por ejemplo, el estudio de la Agencia Internacional de la Energía⁹⁵ muestra que, en los países de la OCDE+ (incluye los países de la OCDE y los de la Unión Europea que no forman parte de la OCDE), el 40% de las plantas de generación tienen más de treinta años y la mitad de las plantas de carbón también tiene más de 30 años.

Integración en red

La integración en la red, la intermitencia y la fiabilidad suponen desafíos adicionales para la E-FER en la Unión Europea⁹⁶. En particular, se ha señalado que el acceso a la red en algunos países es una barrera clave para el desarrollo de la E-FER⁹⁷.

La integración de las renovables en el sistema eléctrico ha sido una cuestión particularmente debatida en España, conforme los porcentajes de penetración de la eólica aumentaban. En este sentido, hay que tener en cuenta que su intermitencia, unida a la ausencia de interconexiones, hace necesario una generación de respaldo para asegurar que no se producen cortes en el suministro eléctrico⁹⁸. Es justo reconocer que los distintos actores del sistema eléctrico español han hecho en los últimos años un gran esfuerzo para integrar de forma adecuada la electricidad renovable en la red eléctrica a través de: la elaboración de procedimientos operativos, la adaptación de los aerogeneradores a los nuevos requerimientos técnicos, la mejora en los sistemas de predicción eólica y la creación del Centro de Control del Régimen Especial (CECRE), un centro pionero a escala mundial para la gestión de la integración en la red de la electricidad procedente de fuentes renovables y de cogeneración⁹⁹. Serán necesarias inversiones

⁹⁵ Agencia Internacional de la Energía (2008a).

⁹⁶ Wakker, A. (2006): "Trends on Renewable Energy technological development", en *EU meets LAC on renewable energy*.

⁹⁷ Véase para un análisis comparativo de Alemania, España y Reino Unido, por ejemplo, Klessmann, C. *et al.* (2008): "Pros and cons of exposing renewables to electricity market risks. A comparison of the market integration approaches in Germany, Spain and the UK", en *Energy Policy*, 36, p. 3.646-3.661.

⁹⁸ La elevada variabilidad de la energía eólica ha originado situaciones extremas, como la producida el 8 de noviembre (3:59 horas), en la que el 53,7% de la demanda fue cubierta por esta energía; por el contrario, el 27 de agosto, a las 9:49 horas, apenas cubrió el 1% del consumo total. Red Eléctrica Española (2009b): *El sistema eléctrico español 2009. Avance del informe*.

⁹⁹ Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2010): *Informe en relación con la cumplimiento del artículo 4.3 de la Directiva 2009/28/CE, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables*.

considerables en las redes de transporte y distribución, el fomento de las denominadas “redes inteligentes” y favorecer una mayor interconexión eléctrica con otros países, lo que permitiría absorber los excedentes de la eólica o corregir sus déficits.

Promoción pública de la E-FER

— **Objetivos europeo y español de renovables.** El denominado Paquete de energía y cambio climático establece los objetivos que quiere lograr la Unión Europea para 2020. Las emisiones deberán reducirse un 20% con respecto a los niveles de 1990; las renovables deberán contribuir en un 20% al consumo bruto de energía; el consumo energético deberá reducirse un 20% en 2020 con respecto a las proyecciones para 2020; y la participación de los biocombustibles en el transporte deberá ser del 10% del consumo de energía en ese sector. El porcentaje del 20% de penetración de renovables incluye los sectores de electricidad, transporte y calor. Como dicha penetración es más fácil en electricidad, se espera que el porcentaje sea superior al 20% para este sector (según algunas fuentes¹⁰⁰ debería alcanzar el 35%) para lograr el objetivo general del 20% al menor coste posible.

Una política clave para lograr la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que afecta también a la electricidad renovable es el Sistema Europeo de Comercio de Emisiones (SECE)¹⁰¹. Además, la nueva Directiva europea de fuentes renovables (28/2009/CE) ha sustituido a la anterior Directiva de electricidad renovable (77/2001/CE), aunque sigue sin establecerse un instrumento de apoyo único a estas tecnologías, armonizado a nivel de la Unión Europea. La decisión de qué instrumento aplicar se deja en manos de los Estados miembros.

El objetivo del 20% de penetración de renovables se ha distribuido entre los distintos Estados miembros. A España le ha correspondido el 20%. Como se intenta llegar al 10% de penetración de renovables en el transporte, se deberá hacer un mayor esfuerzo en el sector eléctrico. Se estima que en España debería ser del 40%¹⁰². Además, la directiva establece una trayectoria a lo largo del período, con objetivos bianuales indicativos, para monitorizar el cumplimiento¹⁰³. Los Estados miembros deberán comunicar a la Comisión Europea un plan de acción nacional antes del 30 de junio de 2010.

¹⁰⁰ Resch, G. *et al.* (2009).

¹⁰¹ Véase el apartado 4.2.

¹⁰² Véase Resch, G. *et al.* (2009) y sección 6.3 de este trabajo.

¹⁰³ La electricidad renovable puede utilizarse para cumplir con el mencionado objetivo del 10% en el sector del transporte.

— **Instrumentos de apoyo a la E-FER en Europa y España.** Actualmente se aplica un amplio abanico de instrumentos para promover la E-FER en los Estados miembros. La promoción se ha basado en tres instrumentos principales: primas, cuotas con certificados verdes negociables (CVNs) y sistemas de subasta. Éstos se han complementado con otros mecanismos, como subvenciones a la inversión, créditos blandos y medidas fiscales (rebajas y exenciones de impuestos). Los países aplican normalmente uno de los instrumentos en el primer grupo y alguno o algunos de los del segundo grupo. Las primas han sido el instrumento dominante (cuadro 5)¹⁰⁴. Su financiación corre a cargo de los consumidores eléctricos (lo más frecuente) o del presupuesto público.

Las *primas* son ayudas a la producción (es decir, por kWh generado), pagadas como una cantidad total (tarifa) o como una cantidad añadida al precio mayorista de la electricidad (prima). Frecuentemente está asociada a una obligación de compra por parte de los distribuidores de electricidad.

En los sistemas de subasta, el Gobierno invita a los generadores renovables a competir bien por un determinado montante de dinero o por una determinada capacidad de E-FER. Dentro de cada banda tecnológica, la subvención se concede a las pujas más baratas por kWh. La política se financia a través de la factura eléctrica.

En las cuotas con certificados verdes negociables (CVNs), la demanda de CVNs se genera por la obligación impuesta a los distribuidores de electricidad de que, al final del año, una determinada cantidad de CVNs corresponda a un porcentaje estipulado de sus ventas de electricidad (la cuota). Si estas empresas no cumplen con su obligación, tendrán que pagar una penalización. La oferta de CVNs viene dada por el hecho de que cada MWh de E-FER crea automáticamente un CVN que es asignado al generador correspondiente y que éste puede vender a los distribuidores. Por tanto, estos generadores se benefician de dos flujos de ingresos procedentes de dos mercados diferentes: 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.

Las subvenciones a la inversión suelen concederse como porcentaje de la capacidad instalada. Los créditos blandos implican la posibilidad de acceder a préstamos con bajos tipos de interés; es decir, existe una subvención implícita de los intereses. Los incentivos fiscales funcionan a tra-

¹⁰⁴ Además del nivel europeo y del nacional, están el regional y el local. Éstos son particularmente relevantes en España, pues pueden aplicar políticas de fomento de la E-FER adicionales. No obstante, no existe ningún análisis (que sepamos) sobre el apoyo a este nivel en España.

Cuadro 5 – Sistemas de promoción de la E-FER en los países de la Unión Europea

	Primas	Sistemas de cuota	Subasta	Subvenciones a la inversión, créditos blandos	Rebajas y exenciones de impuestos
Alemania	X			X	
Bélgica		X		X	
Bulgaria	X			X	
Chipre	X			X	
Dinamarca	X			X	
Eslovenia	X			X	
Eslovaquia	X			X	X
España	X			X	
Estonia	X				
Finlandia	X				X
Francia	X				
Grecia	X			X	X
Holanda	X				X
Hungría	X				
Irlanda	X				
Italia	X (fotovoltaica)	X(excepto fotovoltaica)			
Letonia	X				
Lituania	X				
Luxemburgo	X			X	
Malta	X			X	
Polonia		X			X
Portugal	X			X	X
República Checa	X			X	
Rumania		X			
Suecia		X			
Reino Unido		X		X	X

Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Comisión Europea (2008): *The support of electricity from renewable energy sources*. Bruselas; Resch *et al.* (2009): *20% RES by 2020... an assessment of the new EU RES policy framework*. 10th IAAE European Conference. Viena; y Strohstein, J. y Ragwitz, M. (2009). "Renewable Energies", en Neuhoﬀ, K. (coord.), *Translating model results to economic policies*. RECIPE project. Potsdam Institute for Climate Research (PIK): Potsdam.

vés del sistema impositivo y pueden ser exenciones o rebajas en impuestos (energéticos, de sociedades o sobre la renta)¹⁰⁵.

En teoría, las primas pueden ser un instrumento relativamente eficaz. Sin embargo, si se fijan a un nivel elevado, pueden ser caras. Al establecer una cuota y permitir el intercambio de CVNs, se podría esperar que este instrumento permitiese lograr un determinado nivel de penetración de

¹⁰⁵ Para más detalles sobre todos estos instrumentos, véase Río, P. del y Gual, M. A. (2004): "The promotion of green electricity in Europe: Present and future", en *European Environment Journal*, 14, p. 219-234; y Ragwitz, M. *et al.* (2007).

E-FER al menor coste posible (eficiencia en costes). Finalmente, al introducir competencia entre los generadores, las subastas promoverían la E-FER a bajos costes. Sin embargo, en la práctica, las primas se han demostrado eficaces a costes relativamente bajos con respecto a otros instrumentos, al menos para la promoción de la eólica¹⁰⁶. Se debe a los menores riesgos para los inversores del sistema de primas, pues saben con antelación la remuneración que recibirán, en contraste con los CVNs, en los que sus inciertos y volátiles precios implican una prima de riesgo que incrementa el coste de financiación de los proyectos de E-FER. Por otro lado, las subastas han demostrado ser ineficaces.

El éxito de los sistemas de apoyo a la E-FER probablemente dependa más de sus elementos de diseño que del instrumento elegido. Una prima, subasta o cuota con CVNs puede funcionar bien o mal dependiendo de su diseño. En la práctica, cada instrumento ha sido aplicado con características diferentes en los Estados miembros¹⁰⁷. En nuestro país se ha utilizado un sistema de primas¹⁰⁸, cuyos principales elementos de diseño son¹⁰⁹:

1) Los generadores de E-FER pueden elegir entre dos alternativas de remuneración: verter electricidad a la red de transporte o distribución, percibiendo una tarifa única; o vender la electricidad en el mercado diario. En este caso, el generador renovable percibe el precio de la electricidad en el mercado y una prima.

2) Para las instalaciones que participan en el mercado se establece un sistema de suelo y techo. Si la suma del precio de la electricidad más la prima está por encima del techo, entonces los generadores de E-FER sólo recibirán el nivel de apoyo del techo. Si está por debajo del suelo, entonces recibirán el nivel de apoyo correspondiente a éste. Este sistema permite limitar los costes para los consumidores (techo) y, a la vez, que se establece una seguridad para el inversor, por la existencia de un nivel mínimo de apoyo y rentabilidad (suelo).

3) El apoyo perdura durante toda la vida de la instalación, pero se va reduciendo después de su puesta en marcha. Las actualizaciones son anuales y vinculadas al IPC (−0,25% hasta el 31 de diciembre de 2012 y −0,5% después) y las revisiones se producen cada cuatro años desde 2010.

¹⁰⁶ Véase Comisión Europea (2008); y Ragwitz, M. *et al.* (2007).

¹⁰⁷ Véase Ragwitz, M. *et al.* (2007).

¹⁰⁸ El Plan de Energías Renovables 2005-2010 es el marco de desarrollo de los recursos energéticos renovables en nuestro país. Para lograr los objetivos establecidos en el PER, el Gobierno aprobó el Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

¹⁰⁹ Para un análisis de los detalles de todas las regulaciones que han influido en la promoción de E-FER, así como de su evolución, véase Río, P. del (2008); y Comisión Nacional de la Energía (2010).

La Comisión Europea ha alabado la eficacia del sistema español de promoción y sus relativamente bajos costes con respecto a otros países¹¹⁰, en particular con respecto a la promoción de la eólica. Los beneficios para los productores de E-FER han sido mayores para aquellos países que han utilizado CVNs y, sin embargo, las primas han sido más eficaces. Esto se debe a los menores riesgos y a la continuidad del instrumento¹¹¹.

El sistema de promoción ha funcionado razonablemente bien para la eólica, pero ha sido ineficaz para la biomasa y la minihidráulica, probablemente por cuestiones ajenas al instrumento utilizado y relacionadas con otras barreras no económicas. En el caso de la solar, el sistema ha sido recientemente demasiado exitoso con respecto al criterio de eficacia, señal de que el incentivo económico era excesivamente alto. Los costes del sistema en este caso han sido totalmente desproporcionados¹¹².

En efecto, el espectacular crecimiento de esta tecnología provocó que el Gobierno aprobara en 2008 el Real Decreto 1578/2008 de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica, en el que se reducía la tarifa regulada a 32 o 34 c€/kWh, según el tipo de instalación. También se establecía un mecanismo de asignación de retribución, mediante la inscripción en un registro, al inicio del proyecto. Se constituyeron cupos trimestrales de potencia. Una vez que se alcanza el cupo, las tarifas disminuyen gradualmente en las siguientes convocatorias, pudiendo llegar la reducción hasta un 10% anual. Con el mismo fin de garantizar la sostenibilidad del crecimiento del resto de las energías renovables, el Gobierno aprobó en 2009 el Real Decreto-ley 6/2009. Es necesario estar registrado en el registro de preasignación para obtener la retribución con el objetivo principal de asegurar un crecimiento sostenido para las diferentes tecnologías¹¹³.

¿Cómo se espera que evolucionen estos instrumentos a escala europea y nacional en el futuro? Los tres tipos de instrumentos más relevantes para la E-FER (SECE, apoyo a la I+D y a la implantación de E-FER) seguirán siendo aplicados en la Unión Europea, con diferentes grados de relevancia para las distintas tecnologías, en función de su madurez y sus costes.

¹¹⁰ Comisión Europea (2008).

¹¹¹ Río, P. del (2008).

¹¹² Por otro lado, el desarrollo de las actividades de I+D+i en el sector energético es relevante para las energías renovables. El Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011 incluye la Acción Estratégica de Energía y Cambio Climático, que es un instrumento mediante el cual el Gobierno articula un conjunto de Subprogramas Nacionales con objeto de favorecer un modelo energético sostenible que fomente el uso de las fuentes de energías renovables, entre otras actuaciones. Véase Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2009): *La energía en España 2008*.

¹¹³ Hernández, A. (2009).

El SECE continuará afectando a las renovables más maduras. Las empresas eléctricas afrontan y continuarán haciéndolo el coste de las emisiones de CO₂, que es un coste como cualquier otro. Sin embargo, al menos a corto plazo, y dada su diferencia de costes con respecto a la electricidad convencional (incluso con la internalización de los costes del CO₂ en los costes de generación), los instrumentos de apoyo a las renovables continuarán aplicándose. La razón es que el precio del CO₂ no es suficiente para fomentar el desarrollo y difusión de estas tecnologías, especialmente de las más inmaduras. Una vez que éstas hayan reducido sus costes como consecuencia de la aplicación de otros instrumentos, puede llegar a ocurrir que estas tecnologías no necesiten el apoyo de los sistemas de promoción y el SECE sea suficiente para incrementar su penetración. Esto sugiere la necesidad de seguir aplicando una combinación de instrumentos: SECE, apoyos a la I+D y a la difusión de las tecnologías. Además, deben eliminarse otras barreras no económicas al desarrollo y difusión de estas tecnologías, como los retrasos producidos en la concesión de los permisos administrativos o las posibles dificultades de conexión a la red.

No es probable que se aplique un sistema de apoyo armonizado a la E-FER en la Unión Europea ni a corto, ni a medio, ni a largo plazo. Se producirá, y se está produciendo, cierta convergencia entre los elementos de diseño utilizados en los sistemas de primas y CVNs en los países europeos. Tampoco se espera que haya cambios a corto o medio plazo en el sistema de apoyo que utiliza actualmente cada país. Puede que se produzcan ajustes puntuales para hacerlos más eficaces o eficientes. El hecho de que no haya cambios en esos sistemas tiene un valor en sí mismo, pues su continuidad reduce los riesgos para el inversor y, por tanto, el coste de financiación de los proyectos de E-FER. Una política estable es clave para la eficacia y la eficiencia de la promoción de E-FER. Al establecer objetivos para 2020, la directiva de renovables es un paso en la dirección adecuada. Se espera que una futura directiva establezca objetivos para 2030 o 2050.

No obstante, parece claro que estamos en una etapa de transición en la historia del apoyo a la E-FER en España, lo que sugiere la necesidad de cambios en el sistema de apoyo. La prima tal y como está hoy diseñada ha funcionado relativamente bien en una primera fase de despegue de la E-FER y cuando ésta tenía una participación relativamente pequeña en la generación eléctrica total. Pero ya no es así. El sector es ahora maduro y tiene fuertes implicaciones para la economía. En particular, existe cierta preocupación por el incremento de los costes del sistema. Es de esperar que la próxima ley de eficiencia energética y energías renovables y el nuevo plan de energías renovables para 2011-2020 (actualmente en elaboración) aportarán un marco regulatorio estable que permita un crecimiento ordenado del sector con costes razonables.

Procedimientos administrativos

Los procedimientos administrativos son otra barrera clave para el desarrollo de la E-FER en algunos Estados miembros y para ciertas tecnologías. Recientemente, la Comisión Europea ha criticado que en la mayoría de los países se hayan hecho pocos progresos con respecto a la eliminación de las barreras administrativas y que esto esté afectando a la eficacia de los sistemas de promoción de la E-FER¹¹⁴. La nueva directiva de energías renovables también exige a los Estados miembros que tomen medidas adecuadas para lograr los objetivos nacionales, incluida una mayor cooperación entre las autoridades nacionales, regionales y locales (artículo 4), y establece reglas para los procedimientos administrativos (artículo 13).

El proyecto ADMIRE-REBUS¹¹⁵ comparó los tiempos muertos (retrasos) en la instalación de tecnologías renovables (eólica fundamentalmente) causados por los procedimientos administrativos en varios Estados, que pueden llegar a ser considerables para algunas tecnologías y países, como Grecia. El citado estudio muestra que los tiempos muertos medios para la fase de planificación de parques eólicos en España (3 años) eran ligeramente superiores a la media del resto de los países europeos analizados (2,6 años) en 2003.

A pesar de las mejoras, todavía existen en España considerables barreras administrativas¹¹⁶, cuestión que puede afectar no sólo a la eficacia de la promoción sino también a su eficiencia. Por ejemplo, G. Iglesias y otros autores¹¹⁷ han analizado los procedimientos administrativos para la localización de parques eólicos en las distintas regiones españolas, y han llegado a la conclusión de que la falta de coordinación entre los distintos niveles administrativos puede crear ineficiencias en la localización de los parques. Dados los beneficios locales de la eólica, los gobiernos autonómicos se suelen mostrar favorables a conceder permisos para que los parques eólicos se instalen en sus regiones. Esto ha dado lugar a la concesión de permisos administrativos para una capacidad renovable que supera los objetivos nacionales, dando lugar a dos problemas: crecientes (y poco controlables) costes para los consumidores eléctricos; y problemas en la integración de una progresiva cantidad de electricidad intermitente en la red. Además, el análisis revela que los procedimientos son altamente discrecionales y poco transparentes.

¹¹⁴ Comisión Europea (2008), p. 16.

¹¹⁵ Véase Uytterlinde, M. A. *et al.* (2003).

¹¹⁶ Labriet, M. *et al.* (2010): "The implementation of the EU renewable directive in Spain. Strategies and challenges", en *Energy Policy* (en prensa).

¹¹⁷ Iglesias, G., Río, P. del y Dopico, J. (2010).

Aceptación pública

La aceptación pública puede ser también una barrera o un factor impulsor de la E-FER. Este factor puede interpretarse de dos formas. Por un lado, se trata de la actitud general de la población hacia la E-FER. La última edición del Eurobarómetro¹¹⁸ muestra que el 80% y el 71%, respectivamente, de los ciudadanos europeos estaban a favor del uso de la energía solar y de la eólica en su país. La hidráulica era apoyada por el 65%, la oceánica por el 60% y la biomasa por el 55%. Para las convencionales, los porcentajes se situaban en: gas (42%), petróleo (27%), carbón (26%) y nuclear (20%). Un análisis más detallado de la aceptación social de proyectos de E-FER recientes medida según encuestas de opinión, muestra un apoyo generalizado hacia las renovables¹¹⁹.

Pero la aceptación social está también relacionada con los impactos locales de la implantación de la E-FER y el denominado “síndrome NIMBY” (“no en mi patio trasero”). En este caso, algunos autores afirman que hay cierto rechazo local a la localización de parques eólicos en Reino Unido y Francia¹²⁰ como consecuencia de los impactos ambientales negativos (visuales, de ocupación del suelo y ruido). El incremento en el nivel de penetración de la eólica y la concentración de los parques eólicos en localizaciones específicas puede reducir la aceptación social (hoy elevada) hacia esta tecnología en el futuro.

El proyecto europeo EURENDEL ya mostró hace tiempo que la aceptación pública es una de las barreras para determinadas renovables (eólica o biomasa) con respecto a cuestiones de cambio en el uso de la tierra, impacto visual, menor confort y desconfianza hacia tecnologías desconocidas¹²¹.

En España, la aceptación social de las energías renovables es bastante alta según algunas encuestas realizadas entre la población¹²². El Eurobarómetro 2006 muestra grandes índices de apoyo a las renovables en nuestro país, aunque ligeramente por debajo de la media europea: solar (76%), eólica (67%), hidráulica (60%) y oceánica (57%). La excepción es la biomasa, con sólo el 38%. Es importante mencionar que la aceptación social de los combustibles fósiles en España se encuentra también ligera-

¹¹⁸ Comisión Europea (2006): *Energy Technologies. Knowledge, Perception, Measures*. Luxemburgo.

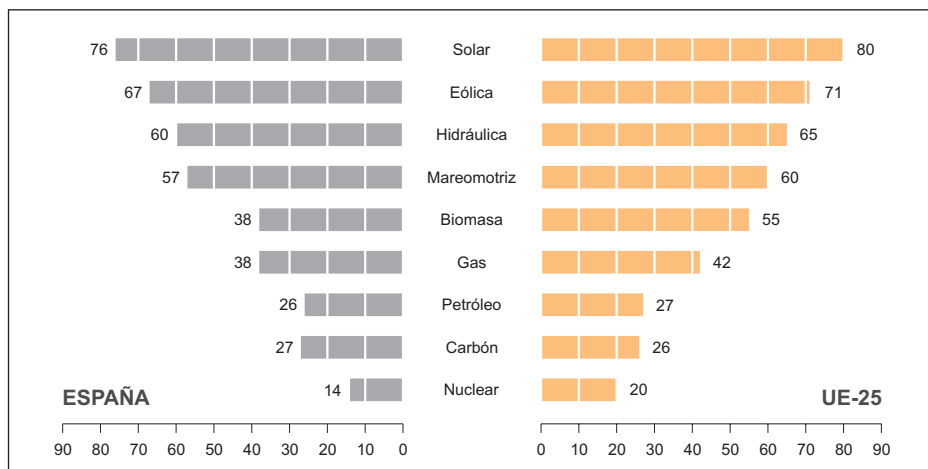
¹¹⁹ Véase Heiskanen, E. *et al.* (2008).

¹²⁰ Véase Bergmann, A. *et al.* (2006): “Valuing the attributes of renewable energy investments”, en *Energy Policy*, 34(9), p. 1.004-1.014; y Heiskanen, E. *et al.* (2008).

¹²¹ Wehnert, T. (2004): *EurEnDel. Technology and Social Visions for Europe's Energy Future. A Europe wide Delphi Study*.

¹²² Pérez-Díaz, V. y Rodríguez, J. C. (2008): *Energía y Sociedad: actitudes de los españoles ante los problemas de la energía y del medio ambiente*. Madrid: Club de la Energía; y Comisión Europea (2006).

Gráfico 12 – Aceptación de las diferentes fuentes de energía en la Unión Europea y España. En porcentaje de los que se declaran a favor. 2006



Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Comisión Europea (2006): *Energy Technologies. Knowledge, Perception, Measures*. Luxemburgo.

mente por debajo de la media europea, excepto en el caso del carbón (gráfico 12).

Cualificación y formación

Algunos estudios destacan que las habilidades técnicas exigidas en el sector de la E-FER son elevadas¹²³. Aparecerán nuevos empleos en el área de ingeniería e I+D, aunque también se demandarán trabajos con menor cualificación. De hecho, el sector tiene capacidad para atraer candidatos jóvenes y bien formados. Una gran penetración de la E-FER exigirá el reciclaje formativo del personal existente, pero también reclutar nuevos tipos de empleados. Si bien la necesidad de habilidades técnicas puede haber sido una barrera en el pasado (caso de la solar fotovoltaica en España¹²⁴), es improbable que lo sea en el futuro. La masa crítica lograda por el sector en Europa ha estado acompañada de un importante sector servicios con personal altamente cualificado¹²⁵.

¹²³ Por ejemplo, en el estudio de J. Faulin sobre el sector eólico en Navarra se muestra que los trabajadores no cualificados representan el 9% del total en dicho sector, frente a un 39% de trabajadores no cualificados en las empresas implicadas en actividades ambientales. Véase Faulin, J. *et al.* (2006): "The outlook for renewable energy in Navarre: An economic profile", en *Energy Policy*, 34, p. 2.201-2.216; y Nieto, J. (2008).

¹²⁴ Véase Río, P. del y Unruh, G. (2007).

¹²⁵ European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions (2008): *Trends and drivers of change in the EU energy sector: Scenarios*.

En el caso de España, en el estudio dirigido por J. Faulin¹²⁶ se detectó que la principal limitación para el crecimiento del sector renovable en Navarra era la insuficiencia de trabajadores cualificados. El 42% de sus empresas fueron incapaces de cubrir las vacantes debido a la falta de empleados cualificados, especialmente de aquellos trabajos que exigían habilidades técnicas. Este estudio sugiere que el futuro del sector en Navarra podría verse negativamente afectado por esta escasez y señala también que las políticas futuras deberían incluir medidas para adaptar e incrementar la formación de los trabajadores para ajustarse a las nuevas necesidades de las empresas.

No obstante, este problema puede no serlo en el futuro, pues las actividades de formación en ahorro energético y energías renovables (cursos y másteres) ofrecidas por universidades y otras instituciones han tenido un crecimiento continuo en los últimos cinco años¹²⁷.

6. El futuro de la electricidad renovable

6.1 En el mundo

Existen varios modelos que han tratado de simular la evolución de las distintas fuentes energéticas, tanto renovables como no renovables, para la generación eléctrica, normalmente para el año 2030. Quizás el ejercicio de prospectiva más mencionado sea el de la Agencia Internacional de la Energía, *Perspectivas Energéticas Mundiales*. Se consideran dos escenarios para 2030: el escenario de referencia y el escenario compatible con una concentración de CO₂ de 450 ppm, que es a su vez compatible con el aumento de dos grados centígrados en las temperaturas mundiales, límite que los científicos consideran “seguro” para evitar una catástrofe climática¹²⁸. La tabla 12 muestra los crecimientos esperados de la generación renovable en el mundo en los dos escenarios en 2030.

Tanto en el escenario de referencia como en el de 450 ppm, la generación eléctrica mundial estará basada en los combustibles fósiles, tanto carbón como gas. Las renovables experimentarán un importante crecimiento en general, que dará lugar a un incremento de su participación en ambos escenarios desde el 18,1% en 2007 (2,5%, sin incluir la hidráulica) hasta el

¹²⁶ Faulin, J. *et al.* (2006).

¹²⁷ Asociación de Productores de Energías Renovables (2009).

¹²⁸ En el escenario de referencia se supone una continuación de las políticas existentes.

Tabla 12 – Evolución esperada de la generación eléctrica mundial. Valor absoluto en TWh y porcentaje. 2007-2030

	Valor absoluto			Porcentaje			Porcentaje de variación	
	2007	2030 Escenario de referencia	2030 Escenario 450 ppm	2007	2030 Escenario de referencia	2030 Escenario 450 ppm	2030 Escenario de referencia	2030 Escenario 450 ppm
Carbón	8.216	15.259	7.260	41,59	44,50	24,25	85,7	-11,6
Petróleo	1.117	665	459	5,65	1,94	1,53	-40,5	-58,9
Gas	4.126	7.058	5.688	20,88	20,58	19,00	71,1	37,9
Nuclear	2.719	3.667	5.470	13,76	10,69	18,27	34,9	101,2
Hidráulica	3.078	4.680	5.659	15,58	13,65	18,90	52,0	83,9
Biomasa y residuos	259	839	1.448	1,31	2,45	4,84	223,9	459,1
Eólica	173	1.535	2.779	0,88	4,48	9,28	787,3	1.506,4
Geotérmica	62	173	292	0,31	0,50	0,98	179,0	371,0
Solar	5	402	850	0,03	1,17	2,84	7.940,0	16.900,0
Mareomotriz	1	13	34	0,01	0,04	0,11	1.200,0	3.300,0
Total	19.756	34.291	29.939	100	100	100	73,6	51,5

Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Agencia Internacional de la Energía (2009): *World energy outlook 2009*. París.

22,3% en 2030 en el escenario de referencia (8,6%, sin incluir la hidráulica) y el 37% en el escenario de 450 ppm (18,1%, sin incluir la hidráulica). Esto será consecuencia de los menores costes de unas tecnologías, las renovables, que irán madurando, los mayores precios de los combustibles fósiles y las políticas de apoyo.

Precisamente, crecerá menos la hidráulica, fuente de generación renovable que tiene hoy una mayor participación. Esta energía pierde peso en el escenario de referencia, aunque lo gana en el escenario de 450 ppm. En todo caso, ese peso es y será muy significativo.

Con respecto al resto de las renovables, los mayores crecimientos se producirán en tecnologías con menor contribución actual al mix de generación, como la solar y la mareomotriz. A pesar de ese considerable incremento, su peso seguirá siendo muy pequeño en 2030 a nivel mundial en cualquiera de los escenarios considerados. En una situación intermedia, entre la hidráulica (elevada participación y tasas de crecimiento modestas) y la solar (baja contribución, pero gran crecimiento), se encuentran la eólica y la biomasa. La primera puede llegar a representar el 9,3% de la generación eléctrica mundial en 2030.

En este contexto, merece la pena identificar posibles tendencias en dos de los países con mayor generación eléctrica del mundo, China y Estados Unidos. Según la Agencia Internacional de la Energía, China, que

depende hoy en un 80,1% del carbón para su generación, mantendrá ese peso en un 75% en 2030 en el escenario de referencia, aunque se reduciría drásticamente al 50,1% en el escenario de 450 ppm. El crecimiento de las renovables se espera que sea considerable en términos absolutos, incluso en el escenario de referencia. Pasarían a representar el 16% de la generación eléctrica en 2030 en el escenario de referencia y el 33,1% en el escenario de 450 ppm, siendo en ambos escenarios la hidráulica la fuente principal, seguida de la eólica. En el caso de Estados Unidos, la participación de las renovables será del 17% en 2030 en el escenario de referencia (hoy suponen el 9%) y el 25,7% en el escenario de 450 ppm. La fuente principal será la eólica, seguida de la hidráulica y de las otras renovables.

6.2 En la Unión Europea

La Agencia Internacional de la Energía espera un gran incremento de la generación eléctrica con renovables en Europa en 2030 en el escenario de referencia y, más aún, en el escenario de 450 ppm (tabla 13). La hidráulica tendrá un crecimiento modesto mientras que éste será considerable en la eólica y en la categoría de “otras renovables” (que incluye biomasa, solar, geotérmica y mareomotriz)¹²⁹. Los resultados muestran que, con res-

Tabla 13 – Evolución esperada de la generación eléctrica en la Unión Europea. Valor absoluto en TWh y porcentaje. 2007-2030

	Valor absoluto			Porcentaje			Porcentaje de variación	
	2007	2030 Escenario de referencia	2030 Escenario 450 ppm	2007	2030 Escenario de referencia	2030 Escenario 450 ppm	2030 Escenario de referencia	2030 Escenario 450 ppm
Carbón	1.024	862	297	30,81	21,73	7,77	-15,8	-71,0
Petróleo	112	43	20	3,37	1,08	0,52	-61,6	-82,1
Gas	725	995	688	21,81	25,09	18,00	37,2	-5,1
Nuclear	935	736	1.140	28,13	18,56	29,83	-21,3	21,9
Hidráulica	309	408	430	9,30	10,29	11,25	32,0	39,2
Eólica	104	581	770	3,13	14,65	20,15	458,7	640,4
Otras renovables	115	341	477	3,46	8,60	12,48	196,5	314,8
Total	3.324	3.966	3.822	100	100	100	19,3	15,0

Fuente: Elaboración Fundación Encuentro a partir de Agencia Internacional de la Energía (2009): *World energy outlook 2009*. París.

¹²⁹ La Agencia Internacional de la Energía no aporta datos desagregados sobre los crecimientos y participación de las distintas renovables en la categoría de “otras renovables” en 2009. Según una versión anterior (2007) del informe *Perspectivas Energéticas Mundiales*, los crecimientos serían muy elevados en solar y mareomotriz y más modestos en el caso de la biomasa y la geotérmica.

pecto al escenario de referencia, una política de cambio climático ambiciosa fomentaría la penetración de las renovables y desincentivaría las inversiones en otras tecnologías (carbón).

Puede observarse que dichos crecimientos darían lugar a una considerable participación de la electricidad renovable en la generación eléctrica total, que oscilaría entre el 33,5% y el 43,9%, partiendo desde un 15,7% actual. Sólo la eólica podría llegar a representar el 20% de la generación eléctrica europea.

Como consecuencia de esos crecimientos, el sector energético europeo experimenta una gran descarbonización. Si sus emisiones representaban el 37% del total de emisiones de la Unión Europea en 2007, ese porcentaje disminuiría al 20% en el escenario de 450 ppm (35% en el escenario de referencia). Las emisiones del sector caerían desde los 1,48 GtCO₂ en 2007 a los 0,46 en 2030 en el escenario de 450 ppm (1,22 en el escenario de referencia). La inversión acumulada entre 2010 y 2030 en el escenario de 450 ppm en tecnologías bajas en carbono sería de 1,3 billones de dólares. El 77% de esta cifra corresponde a las renovables, el 16% a la nuclear y el 7% a tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CCS).

Si se compara con la generación mundial, en el caso europeo hay una menor participación del carbón y un mayor peso de la generación nuclear. Con respecto a las renovables, la hidráulica contribuye menos a la generación total en Europa. El peso de la eólica y la biomasa es mayor y el de la solar y la geotérmica es similar. Todas las fuentes renovables aumentan ligeramente por debajo del crecimiento mundial en ambos escenarios.

6.3 En España

En el informe sobre el cumplimiento del artículo 4.3 de la Directiva de Energías Renovables (Directiva 2009/28/CE), elaborado por el IDAE, se estima una aportación de las energías renovables al consumo final bruto de energía del 22,7% en 2020 (frente a un objetivo para España del 20% en 2020 y una aportación del 10,5% en 2008)¹³⁰.

El mayor potencial de desarrollo de las fuentes renovables en España corresponde precisamente a las áreas de generación eléctrica, con una contribución de dichas fuentes a la generación bruta de electricidad del 42,3% en el año 2020. Esto supone casi triplicar el consumo final de energías renovables para la generación eléctrica desde los 5.342 ktep en 2008 a los 13.495 ktep en 2020. El informe destaca que “teniendo en cuenta que

¹³⁰ Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2010).

alrededor de dos tercios de la generación eléctrica renovable en 2020 será de carácter no gestionable, para alcanzar esta cuota de electricidad de origen renovable resulta imprescindible aumentar la capacidad de dos elementos básicos: el bombeo y las interconexiones con el sistema eléctrico europeo por encima de lo actualmente previsto”.

Recientemente se han publicado varios estudios que analizan el futuro de la E-FER en España. En todos se espera una gran participación de las renovables en generación eléctrica. En uno de ellos¹³¹ se consideran varios escenarios de penetración de la E-FER para 2020. Los resultados indican que esa penetración sería del 16% en el escenario de no intervención y del 53% en el escenario más ambicioso (incluye la gran hidráulica). G. Resch¹³² ha calculado que en 2020 la penetración de E-FER debería alcanzar el 40% del consumo eléctrico en España (la mayoría eólica, gran hidráulica y biomasa) para cumplir a un coste económicamente razonable con los objetivos de la Unión Europea en ese año. En el documento *Planificación de los sectores del gas y la electricidad 2008-2016*, aprobado por el Gobierno, se incluía un objetivo indicativo nacional para la generación de E-FER del 32% en el total de producción eléctrica en 2016 (126.472 GWh). Sólo la eólica pasaría a representar el 19%. En ese documento se prevé que la potencia eólica instalada alcance en 2016 los 29.000 MW, 4.500 MW la de solar, 2.450 MW la de minihidráulica, 2.770 MW la de biomasa y 960 MW la de residuos. La hidráulica convencional se quedaría en 2016 en los 13.930 MW que ya tenía en 2006.

En el análisis de M. Labriet¹³³ se espera entre 130 y 140 TWh de E-FER en 2020. La eólica representa la mayor parte de esta contribución (alrededor de 90 TWh), seguida por la hidráulica (alrededor de 30 TWh). La participación de la biomasa y la solar es muy marginal (no llega a los 5 TWh en el caso de la biomasa ni a los 2 TWh en el caso de la solar de concentración), excepto en un escenario agresivo de reducción de las emisiones a escala europea del 30% en 2020, en cuyo caso la solar (fundamentalmente solar termoelectrica de concentración) puede llegar a alcanzar los 10 TWh. En un estudio de UNESA¹³⁴, la participación de las energías renovables se mantiene en el 35% de la producción durante la década 2020-2030, salvo en el escenario de máxima penetración de renovables que alcanza el 51% en 2030. En ambos escenarios, la eólica es la renovable más importante, representando entre el 20% y el 35% de la generación total en

¹³¹ Linares, P. *et al.* (2008): “Scenarios for the evolution of the Spanish electricity sector: Is it on the right path towards sustainability?”, en *Energy Policy*, 36, p. 4.058-4.068.

¹³² Resch, G. *et al.* (2009).

¹³³ Labriet, M. *et al.* (2010).

¹³⁴ UNESA (2007): *Prospectiva de generación eléctrica 2030*. Madrid.

2030. La hidráulica es la segunda fuente renovable, con el 7,5% y el 8,5% de la generación. Para Eurelectric, la participación de las renovables en la generación eléctrica en 2020 y 2030 en España es, respectivamente, del 29% y del 32%, siendo la eólica la fuente principal, seguida de la hidráulica¹³⁵.

¹³⁵ Cálculos propios realizados a partir de la información de Eurelectric (2009): *Statistics and prospects for the European electricity sector (EURPROG 2008)*. Bruselas.