

Propuestas de investigación y desarrollo tecnológico en energías renovables

Emilio Menéndez Pérez

Documento de trabajo 49/2004



Emilio Menéndez Pérez

Es Doctor Ingeniero de Minas. Comenzó su actividad profesional en 1970 en minas de arcilla y fabricación de refractarios. Posteriormente trabajó en INITEC, empresa de ingeniería, en el desarrollo de proyectos de industria básica en España y otros países. Desde 1984 lo hace en el área de investigación de ENDESA, con actividades en tecnologías de uso limpio del carbón, uso eficiente de la energía y extensión de las energías renovables; fue subdirector de I+D y representó a la empresa en diferentes foros tecnológicos españoles, de la Unión Europea y latinoamericanos.

En la actualidad está prejubilado y colabora con los sindicatos CC OO y UGT, y con organizaciones ecologistas, en el análisis de diferentes temas de energía, medio ambiente y empleo. Es profesor honorífico en las Universidades Politécnica y Autónoma de Madrid coordina, en esta última, la asignatura en red Grandes retos Ambientales del Siglo XXI. Ha publicado los libros: Energías renovables. Sustentabilidad y creación de empleo (2001), Factor crítico en la sostenibilidad (2004). Escribe con frecuencia artículos relativos a energía y medio ambiente, estructura energética, problemas relacionados con la dependencia energética y desarrollo de tecnologías.

Ninguna parte ni la totalidad de este documento puede ser reproducida, grabada o transmitida en forma alguna ni por cualquier procedimiento, ya sea electrónico, mecánico, reprográfico, magnético o cualquier otro, sin autorización previa y por escrito de la Fundación Alternativas

© Fundación Alternativas

© Emilio Menéndez Pérez

ISBN: 84-96204-49-9

Depósito Legal: M-24292-2004

Contenido

Resumen ejecutivo	5
1 Energías renovables y esquema energético español	7
1.1 Energías renovables en el esquema de futuro	7
1.2 Energías Renovables. Aspectos técnicos	11
1.3 Compromisos a favor de las energías renovables. Escenarios energéticos	17
1.4 Situación energética española	19
1.5 Desarrollo de las energías renovables en España	19
1.6 Papel de la Administración Española. El IDAE	24
1.7 Tecnología e industria española	26
1.8 Objetivos españoles en energías renovables	28
2 Energía eólica	31
2.1 Evolución energética y tecnológica	31
2.2 Parques eólicos. Economía y sociedad	33
2.3 Potencial eólico en España y posibilidades de exportación	35
2.4 Industria y tecnología española	37
2.5 Expectativas de futuro	40
3 Biocombustibles líquidos	43
3.1 Alcoholes y aceites	43
3.2 Aspectos económicos	45
3.3 Agricultura energética en España	45
3.4 Otras materias primas	46
3.5 Mercado internacional de semillas y de biocombustibles	47
3.6 Tecnología e industria	48
4 Energía solar termoelectrica	50
4.1 Objetivos y posibilidades energéticas	50
4.2 Industria y tecnología españolas	51
5 Energía fotovoltaica	53
5.1 Aspectos generales	53
5.2 Industria española	55
5.3 Tecnología e I+D en España	56

6	Otras opciones en energías renovables	60
6.1	Minihidráulica	60
6.2	Eólica de pequeña potencia	60
6.3	Biomasa	61
6.4	Energía solar de baja temperatura	62
7	Propuestas	63
7.1	Planteamiento	63
7.2	Propuestas energéticas	64
7.3	Plan fotovoltaico	66
7.4	Programa eólico	68
7.5	Acciones en bicombustibles	70
7.6	Extensión de las energías renovables en otros países	71
	Bibliografía	73
	Magnitudes y conceptos energéticos	75
	Índice de Gráficos y Tablas	77

Siglas y abreviaturas

AIE	Agencia Internacional de la Energía
CEE	Centro de Estudios de la Energía
CENER	Centro Nacional de Energías Renovables
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas
I+D	Investigación y Desarrollo Tecnológico
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía
IES	Instituto de Energía Solar (Universidad Politécnica de Madrid – UPM)
ITC	Instituto Tecnológica de Canarias, S.A.
ITER	Instituto Tecnológico y de Energías Renovables
PIE	Programa de Investigación Electrotécnica
PSA	Plataforma Solar de Almería

Propuestas de investigación y desarrollo tecnológico en energías renovables

Emilio Menéndez Pérez

Profesor Honorífico de la UPM y la UAM

La energía en España, y en numerosos países, es un servicio que se encuentra ante un momento crítico de cambio que afecta al contexto europeo y al mundial. En razón de ello se debieran afrontar modificaciones profundas que permitieran soslayar aquellos escollos que pueden provocar una crisis social y ambiental importante si no se les da la respuesta adecuada. Las limitaciones en la disponibilidad de hidrocarburos: petróleo y gas natural, que se manifestarán progresivamente a lo largo del siglo XXI, el cambio climático, con los compromisos correspondientes entre los que el de Kioto ocupa el primer lugar, y otros problemas ambientales locales o regionales, hacen necesario ese cambio de modelo.

Las energías renovables son una alternativa en un esquema energético nuevo y sobre ellas hay que trabajar con profundidad; el compromiso de conseguir una participación de las energías renovables del 12% en el abastecimiento de energía primaria en el conjunto de los países de la Unión Europea no parece que se vaya a cumplir en su totalidad. Pero más importante aún es establecer las condiciones necesarias, tecnológicas y sociales, para que en el año 2040 se pueda llegar a una participación de estas energías del 40% de la demanda total; en esa fecha, previsiblemente, la crisis de los hidrocarburos será una realidad dramática.

La intensidad energética española crece de forma continuada mientras que en el resto de Europa es un parámetro estancado o en ligero decrecimiento. Somos un país en el cual la estructura de empleo se liga a consumos elevados de energía, en especial los relacionados con la movilidad y el transporte que en España superan el 40% del consumo final de energía mientras en la Unión Europea se mantienen en torno al 30%. Hemos sobrepasado ampliamente el compromiso de emisiones de gases de efecto invernadero de Kioto.

En este contexto es preciso demandar del Gobierno de España una presencia clara en el contexto energético del país y que se involucre en proponer y cumplir “Planes Energéticos” y no sólo en dar orientaciones de planificación. Esos planes debieran introducir esquemas de progresiva participación de las energías renovables, con compromisos firmes al efecto, sin contradicciones entre propuestas y actuaciones.

Dadas las características de nuestro entorno, tanto geográficas como relativas a las capacidades tecnológicas e industriales en estas energías, se debería hacer hincapié en el desarrollo de tres vectores renovables: energía eólica, biocombustibles líquidos y energía solar, tanto térmica de baja temperatura como fotovoltaica, para cumplir con esos dos hitos: 12% de energías renovables en el año 2010, ya asumido formalmente, y 40% en el 2040, que ya se considera imprescindible en ciertos sectores sociales.

Las energías renovables, su desarrollo y perspectivas, presentan situaciones heterogéneas en España. Se proponen las siguientes estrategias básicas que mejoren y consoliden nuestra posición, tanto energética como tecnológica e industrial:

- **Sistema energético.** Revisión del marco general, con retorno a criterios de regulación, al menos los que afecten al desarrollo de las energías renovables, incluyendo estas como tales el sistema de I+D y las infraestructuras de transporte y distribución eléctrica. De alguna manera, extender el concepto de “Estado Garante” al sistema eléctrico; para ello será preciso un debate en la Unión Europea y una toma de posición clara de las fuerzas políticas, contando además con países, como Francia o Alemania, que dan prioridad a la seguridad del sistema sea cual sea su opción de gobierno.
- **Eólica.** Esta energía ha crecido de forma significativa en los últimos años. Es la opción de mayor penetración a medio plazo de las energías renovables, tanto en electricidad como en producción de hidrógeno. Han aparecido restricciones en el sistema español, como las que marca el Ministerio de Economía cuando fija topes a la penetración en red, política que debería cambiarse en línea con lo indicado en el punto anterior. Aparte, es preciso un programa de actuación tecnológica que fije industria eólica en nuestro país.
- **Biocombustibles.** Nos encontramos muy alejados de que los biocombustibles sean el 6% de los combustibles de automoción en España, tal como se ha comprometido en la Unión Europea. Es precisa una labor coordinada en agricultura, tecnología y energía para cumplir ese objetivo que, por otro lado, proporcionaría empleo rural significativo.
- **Fotovoltaica.** Hoy es una opción energética minoritaria pero es previsible la “ruptura tecnológica” en un par de décadas y el consiguiente salto a una fuerte penetración en el sistema: producción de electricidad y obtención de hidrógeno, este por electrólisis o por fotodescomposición. España tiene hoy un importante desarrollo industrial y relevantes capacidades en I+D; se debe estructurar un “Plan Fotovoltaico”, con especial dedicación al desarrollo tecnológico, como una seña propia de identidad que consolide y desarrolle de forma significativa esta industria que ya hoy tiene una importante presencia en el mercado de exportación.

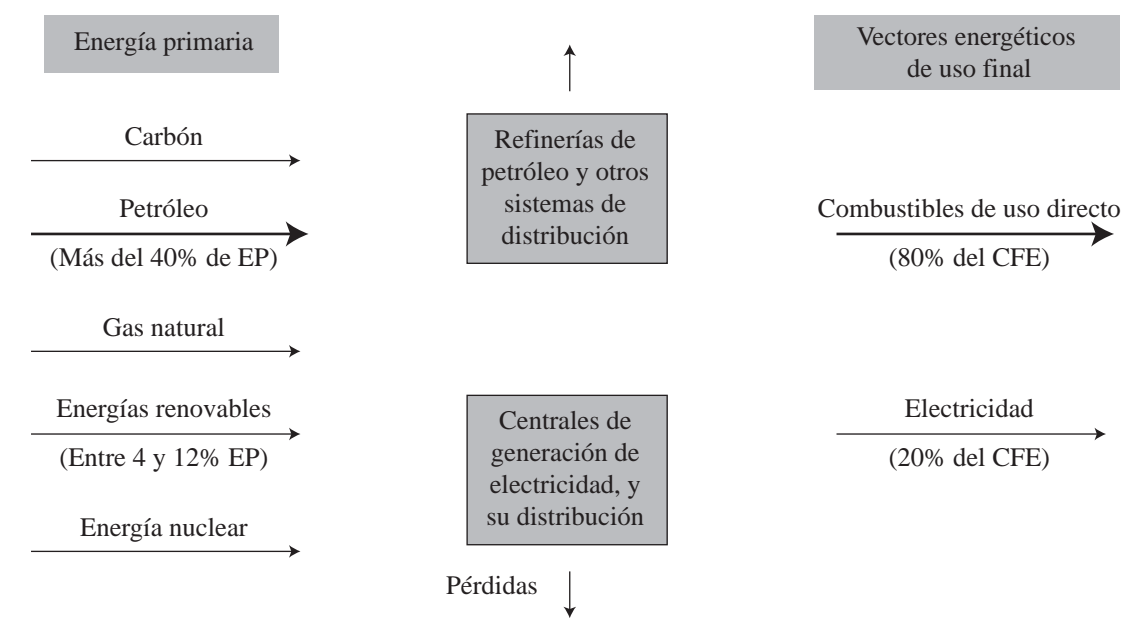
1. Energías renovables y esquema energético español

1.1 Energías renovables en el esquema de futuro

Este documento va a reflexionar sobre la necesidad de establecer un plan de actuación en investigación y desarrollo tecnológico en energías renovables. Para poder fijar objetivos y definir criterios de actuación se van a exponer previamente algunas consideraciones de ámbito global y su traslación a la situación española. En primer lugar hemos de recordar cómo es el esquema energético general*.

El lado derecho del gráfico es el de los consumidores. En este, la demanda mayoritaria corresponde a los combustibles de automoción y transporte; en España son el 42% de la

Gráfico 1. Esquema de abastecimiento y transformación energética



* En página 75 aparece un elenco de magnitudes energéticas y datos orientativos acerca del tema de la energía.

energía de uso final. Sólo nos permitimos recordar la necesidad de impulsar el ahorro y uso eficiente de la energía (CC OO y UGT, 1998).

El lado izquierdo es el del abastecimiento, hoy basado mayoritariamente en hidrocarburos: petróleo y gas natural, que suponen casi los dos tercios del suministro primario; si a ellos añadimos el tercer combustible fósil, el carbón, se suma casi un 80% del abastecimiento de energía primaria. Este esquema es válido para un buen número de países, en especial para los más desarrollados y entre ellos España. Con relación a él hay que hacer dos consideraciones:

- la inversión necesaria para que el sistema energético exista y funcione es muy elevada; a nivel mundial del orden de 1 billón de € anuales. La traslación a España supone de promedio unos 10.000 millones de € anuales;
- la mayoría de los países desarrollados son fuertes importadores de combustibles fósiles. La Comisión Europea se muestra preocupada por la dependencia en un 50% del suministro externo de energía (Comisión Europea, 2000). España importa el 75% de su demanda (IDAE, 2003).

El sistema energético introduce dos tipos de problemas que ya se plantearon en la década de los sesenta, cuando se introdujo el concepto de los límites del crecimiento, pero que en el siglo XXI se presentan como cuestiones críticas para el futuro de la humanidad y la estabilidad política y social de los países:

- disponibilidad limitada de hidrocarburos: petróleo y gas natural. Al ritmo actual de consumo, las reservas de petróleo equivalen a cuarenta años y las de gas natural a setenta años; ambas reservas se pueden multiplicar por tres al trasladar recursos a reservas, pero las demandas globales también crecerán (SEDIGAS, 2001). Se estima que a lo largo del siglo XXI se agotarán los recursos pero antes, a mediados de siglo, se habrá llegado a la cota de producción máxima (WEC, 2000);
- incidencia ambiental con problemas de diverso tipo: contaminación atmosférica, vertidos en los mares, etc., pero, sobre todo, la emisión de gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄ y otros) que dan lugar al cambio climático, fenómeno que se presenta a medio plazo como un desastre de grandes consecuencias, principalmente para los países de las zonas tropicales y con bajas capacidades de respuesta en los que la emigración es la única solución para sus habitantes (Balairón, 2000).

El actual modelo energético basado en hidrocarburos supone:

- Guerras para conseguir suministro seguro a los países ricos.
- Desastres climáticos, con mayor incidencia en los países pobres.

Es posible pensar en la continuidad del modelo actual basándola en dos tipos de acciones paralelas:

- utilización del carbón de forma masiva. Es posible obtener de él combustibles de automoción y otros productos energéticos. Pero su uso a gran escala incrementaría sensiblemente las emisiones de CO₂ y potenciaría el fenómeno del cambio climático;
- la opción nuclear permitirá, en el futuro, obtener hidrógeno como combustible de automoción. Pero, sólo será posible, y con problemas sociales, en los países políticamente seguros, con un buen nivel de desarrollo tecnológico y garantías de seguridad amplias.

La otra opción es la de las energías renovables, demandadas por las organizaciones sociales y por organismos como la Comisión Europea, y que instituciones muy clásicas y cualificadas del sistema energético, como el Electrical Power Research Institute, proponen que en el año 2040 supongan, a nivel mundial, un 20% del abastecimiento mundial de energía, lo que implicaría, como se verá a lo largo de este documento, que los países desarrollados tuvieran participaciones superiores a esa cifra (EPRI, 1999).

En España se ha producido un desarrollo significativo de algunas energías renovables ligado al compromiso europeo que marca el objetivo de conseguir una participación de las mismas en el esquema de abastecimiento primario de un 12% en el entorno del año 2010. La participación de las renovables en este porcentaje no introduce modificaciones fuertes en la estructura del actual sistema energético.

Un aumento de la participación de las energías renovables por encima del 15% obligaría a cambios más profundos en el sistema. Estas energías penetrarán en buena medida a través

Tabla 1. Razones y condicionantes. Desarrollo de las energías renovables en España

	En la actualidad Año 2003	A medio plazo Año 2015	A largo plazo Año 2030
Desarrollo energético	Moderado • Electricidad eólica • Biocombustible	Significativo • Electricidad eólica • Biocombustibles • Hidrógeno	Alto • Electricidad eólica y solar • Hidrógeno
Empleo directo	15.000 empleos	25.000 empleos	50.000 empleos
Exportación	Industria fotovoltaica	Fotovoltaica y eólica	Fotovoltaica y eólica
Condicionantes	• Diálogo social en eólica • Plan agroenergético	• Regulación del sistema eléctrico • Potencia suplente	¿?

de la generación de electricidad, pero han de proporcionar hidrógeno como combustible de automoción. Esto introducirá ciertas complicaciones técnicas y encarecerá las inversiones del sistema energético, en mayor o menor medida según sea el desarrollo tecnológico al respecto.

En España las razones para el desarrollo de las energías renovables aumentan en la medida en que nuestra dependencia exterior en el suministro energético es mayor que la de la mayoría de los países desarrollados. Adicionalmente, hay expectativas positivas en nuestro esquema industrial y laboral para plantearse acciones tecnológicas y de otros tipos, que se esquematizan en la Tabla 1. La creación de empleo es un aspecto básico en torno al desarrollo de las energías renovables, aunque no el único (IPTS, 1998; Menéndez, 2001).

Las condiciones de desarrollo, y otros aspectos que se incluyen en la Tabla, irán apareciendo a lo largo de este documento y nos llevan a las propuestas que se recogen en el capítulo 7.

Las energías renovables aparecieron como alternativa energética a raíz de la crisis de los precios del petróleo de la década de los setenta y los miedos de desabastecimiento energético. Fueron, por lo tanto, una respuesta hacia la seguridad de suministro, en cierta medida hacia la energía autóctona. Se pueden señalar dos desarrollos significativos de aquellos momentos:

- plantas solares de investigación y demostración con tecnologías concebidas para obtener electricidad en cantidades significativas con procesos similares a los de las centrales térmicas convencionales. Entre ellas hay que citar la Plataforma Solar de Almería, PSA, que ya cuenta con más de veinticinco años de experimentación;
- desarrollo de los biocombustibles líquidos para sustituir a derivados del petróleo en automoción. El programa llevado a cabo en Brasil ha permitido suministrar la mitad de la demanda de combustibles de automoción con etanol procedente de la caña de azúcar. Estados Unidos también produce bioalcohol, pero el motivo es garantizar una demanda, alternativa a la alimenticia, a los excedentes de los productores de maíz (Moreira, 1996).

Desde hace una década las propuestas a favor de las energías renovables nacen de la preocupación por el cambio climático. Pero también subyace el convencimiento, cada vez más firme, de que el límite temporal de disponibilidad de hidrocarburos: petróleo y gas natural, se encuentra en la segunda mitad de este siglo XXI. Por ello, hay que plantearse las energías renovables no sólo como soluciones a pequeña escala, sino también como una alternativa que es preciso desarrollar en un esquema a medio y largo plazo para conseguir que tengan una importante participación en el suministro de energía primaria. Esto no es fácil, precisa de una importante actividad en investigación y desarrollo tecnológico y, además, requiere cumplir con otros dos condicionantes:

- asumir que se ha de hacer un fuerte desembolso económico para cambiar el sistema energético global;

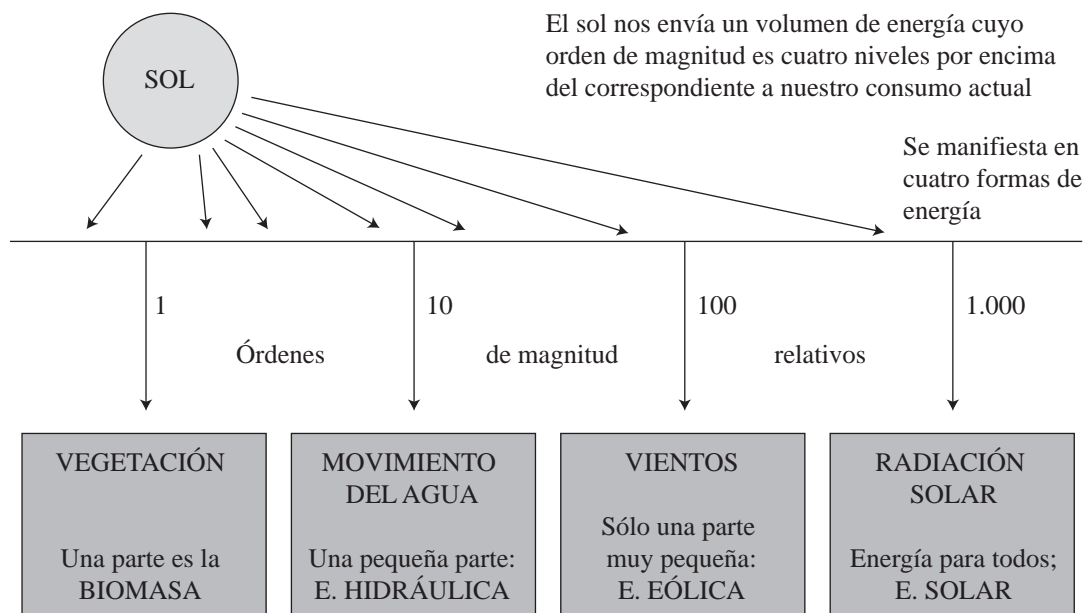
- establecer cauces de colaboración internacional para que el sistema energético pueda cambiar para el conjunto de la Humanidad. Si esto no es así y el consumo de combustibles fósiles sigue creciendo las cuestiones que nos afectan a todos de forma crítica, cambio climático y otras, no tendrán solución ni siquiera a mínima escala.

1.2 Energías renovables. Aspectos técnicos

Son aquellas que proceden de la energía que de forma continuada nos envía el Sol a la Tierra y que se manifiestan en fenómenos que permiten la recuperación energética en vectores de uso final. Las renovables son energías de baja intensidad que están disponibles ciertos periodos de tiempo y en determinados espacios geográficos; para llegar a ser vectores de uso final han de concentrarse mediante procesos que afectan a amplios espacios, lo que implica que requieran inversiones significativas.

Las alternativas renovables tienen potenciales energéticos, características básicas y posibilidades de recuperación, muy distintos entre sí. El Gráfico 2 esquematiza el orden energético de cada fuente primaria, lo cual en cierta medida se relaciona con la posibilidad de recuperación en forma de energía utilizable. Hay amplia información técnica al res-

Gráfico 2. Esquema de origen de las energías renovables



pecto (Castro, 2000; IDAE, 1992). Los aspectos más significativos son los siguientes:

a) Biomasa. La densidad energética por unidad de superficie es muy baja: se transforma en materia vegetal menos del 0,1% de la radiación solar. El potencial energético total es moderado; sólo es significativo en algunos países de reducida densidad de población. Su ventaja radica en que se presenta como una materia energética almacenable y que puede dirigirse hacia la producción de calor, la generación de electricidad y la obtención de combustibles líquidos para automoción (Varios Autores, 1999).

El uso de leña es una vía tradicional de aporte de calor, doméstico o industrial, en el mundo rural. En algunos países, en especial en Dinamarca, el uso de residuos vegetales para pequeñas instalaciones de cogeneración, tanto industriales como de calefacción distribuida, está creciendo. No es fácil extender el modelo, aunque debería intentarse adaptándolo a las condiciones de cada entorno; en España, por ejemplo, el clima no favorece los esquemas de calefacción distribuida, si bien existen algunas instalaciones en funcionamiento, como en Cuéllar, Segovia.

La generación de electricidad con biomasa tiene la ventaja de que el producto final tiene un cauce de uso y comercialización fácil a través de su vertido a la red. En los países desarrollados puede significar, en el mejor de los casos, una fracción muy pequeña de la demanda de electricidad debido a la reducida disponibilidad de biomasa y al coste elevado de su recogida. En cambio, en algunos países en vías de desarrollo, en especial los más pobres, la biomasa puede proporcionar una fracción significativa del consumo de electricidad siempre que para hacer viable esta solución los países en cuestión reciban ayudas económicas para la construcción de centrales eléctricas.

Los biocombustibles líquidos, además de ser una alternativa de uso actual en automoción, podrían ser un paso importante en la evolución hacia los carburantes de mayor contenido en hidrógeno y hacia el uso de las celdas de combustible, una solución tecnológica más eficiente en el uso de la energía en transporte.

En relación a la biomasa es preciso prestar especial atención a los aspectos ambientales; la agresión a la biodiversidad, sobre todo si se desarrolla esta opción a gran escala, puede ser un problema significativo, especialmente en la producción de biocombustibles líquidos unida a cultivos energéticos de amplia escala.

b) Energía hidráulica. Es una energía con un elevado potencial de concentración al poderse almacenar el agua en presas. No obstante, a medida en que estas incrementan su volumen aparecen importantes problemas sociales y ambientales de todos conocidos. En la actualidad se consideran renovables las instalaciones de pequeña potencia, inferior a 10 MW; es la denominada energía minihidráulica.

El desarrollo eléctrico de muchos países, entre ellos España, se hizo con esta energía. El recurso hidráulico en el mundo es de 16.000 TWh anuales, de los cuales se aprovecha

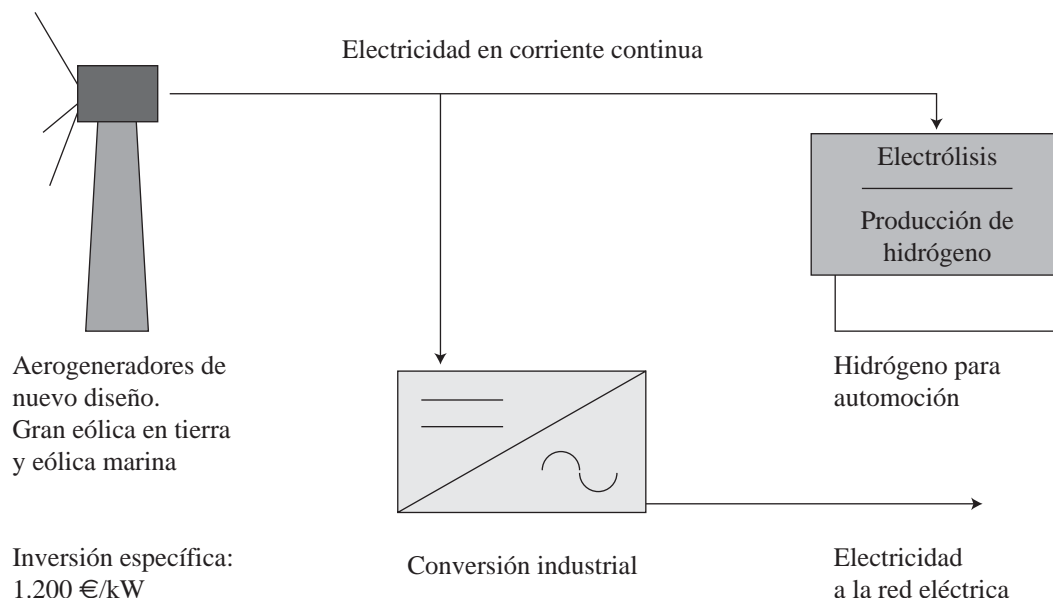
algo menos de la cuarta parte; la demanda de electricidad en el mundo es de 15.000 TWh anuales, lo cual nos da una idea de lo elevado que es nuestro consumo. Se supone que el desarrollo de la energía hidráulica en el mundo, con grandes instalaciones e instalaciones minihidráulicas, continuará aunque con limitaciones. Es una tecnología madura y no se analizará de forma específica en este documento.

c) Energía eólica. Presenta un potencial energético muy elevado, más de 100.000 TWh anuales, es decir la posibilidad teórica de generar más electricidad de la que demandaremos a medio plazo y, adicionalmente, abre el camino para producir con ella hidrógeno, como se esquematiza en el Gráfico 3, cuyo primer uso sería el de combustible de automoción.

La gran cuestión es que el viento útil, por encima de 4 m/s de velocidad, se da en ciertos periodos de tiempo y que, además, las áreas geográficas con magnitudes significativas de energía eólica se encuentran en territorios alejados de los habitados en áreas marinas. No obstante, es el gran reto y la gran posibilidad de recuperación de energía limpia a corto y medio plazo.

En España y otros países de nuestro entorno el recurso eólico supone un funcionamiento anual de menos de 2.700 horas equivalentes a plena carga, aunque hay algunos emplaza-

Gráfico 3. Hidrógeno y electricidad de la energía eólica



mientos que se aproximan a 3.000 horas anuales. En otros países, como Argentina o Canadá, se dispone de amplias áreas con 4.000 horas equivalentes a plena carga; la existencia en estos países de amplios espacios poco habitados abre el camino a grandes desarrollos de la energía eólica. Con países como Marruecos o Argentina deberá dialogarse por su posibilidad de producir simultáneamente electricidad e hidrógeno, este en parte para exportación.

Además de la media o gran energía eólica hay que tener en cuenta la alternativa de instalación de pequeños molinos aislados o conectados a red. Es una solución bastante desarrollada tecnológicamente y cuya extensión puede suministrar, en conjunto, electricidad limpia en cantidades significativas.

d) Energía solar. Es una manifestación de baja densidad energética pero cuyo potencial recuperable es muy elevado, mucho mayor que el de cualquier otra renovable, aunque el esfuerzo de concentración que hay que realizar para obtener formas comerciales de energía supone un coste elevado de inversión. Es la opción que obliga a un mayor esfuerzo tecnológico, ya que a largo plazo debiera ser la base de un nuevo modelo energético mundial, pero para ello deben reducirse esas inversiones específicas.

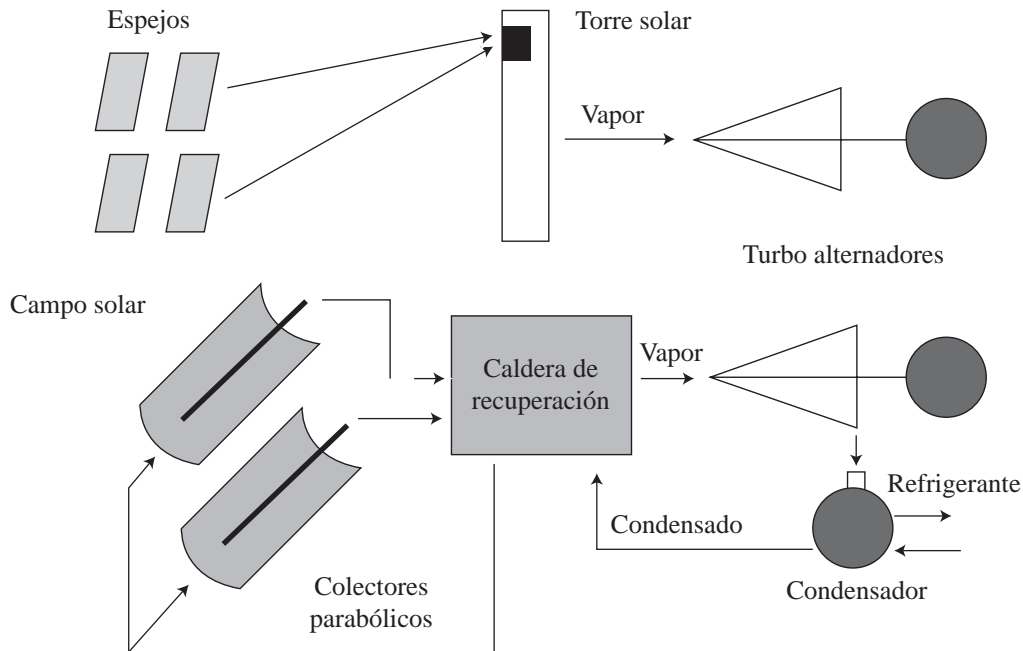
El calentamiento de agua para usos sanitarios es una alternativa solar que ya compite en el mercado energético con las soluciones convencionales de combustibles fósiles o de uso de electricidad. Es factible extender la tecnología hacia la calefacción o el suministro de agua caliente para aplicaciones industriales, aunque en este caso se precisan mejoras en diseños y materiales de los paneles solares.

La producción de electricidad mediante energía solar supone la utilización de un amplio espacio para captación, del orden de 1,5 Ha para una potencia de 1 MWp; el número de horas equivalentes a plena carga de disponibilidad solar oscila entre 1.000 y 1.500 anuales. El rendimiento energético de las diferentes tecnologías en la generación de electricidad está en el rango de 10 a 15%, aunque ya se dispone de ensayos de laboratorio que muestran la posibilidad de alcanzar el 30%.

Unas alternativas tecnológicas se basan en la transformación térmica a partir de campos solares de colectores parabólicos o de espejos. Van dirigidas a instalaciones de potencia media y precisan un medio de refrigeración, preferentemente agua; esto último introduce una limitación importante pues donde hay elevada radiación solar no es frecuente disponer de agua en abundancia, aunque no siempre es así, por ejemplo en la costa de las zonas desérticas se dispone de agua del mar.

Fue la primera visión que se tuvo para la vuelta a las energías renovables a raíz de las crisis de los precios del petróleo en los años setenta. De esta idea nacieron instalaciones de ensayo como la Plataforma Solar de Almería y otras de tipo industrial como las construidas en California en la época del Presidente Carter. El Gráfico 4 esquematiza estas tecnologías.

Gráfico 4. Alternativas de energía solar termoeléctrica

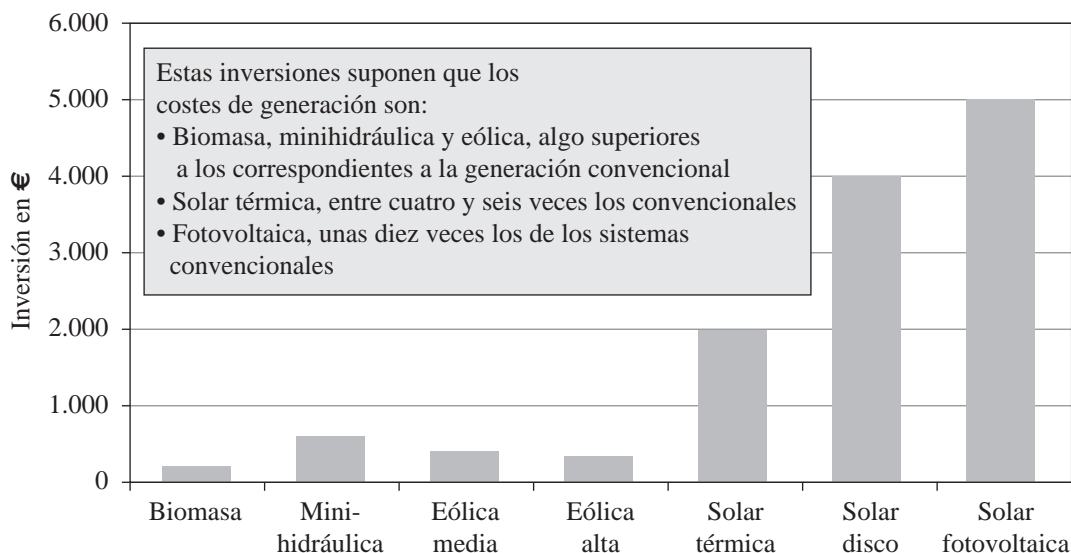


Otra alternativa termoeléctrica es la de disco parabólico, basada en la concentración de la radiación solar en el captador térmico de un motor de combustión externa *stirling* que mueve un generador eléctrico. Este motor tiene un diseño y materiales especiales, con transmisión de la energía térmica a través de sodio líquido u otro fluido no convencional. Se diseña para potencias unitarias pequeñas, de unos pocos kilovatios, que se pueden instalar aisladas o agrupadas en parques de medianas dimensiones. Es una solución que todavía no cuenta con un elevado desarrollo industrial, encontrándose, por el momento, en fase de trabajos de I+D e instalaciones de demostración.

La fotovoltaica es la opción solar más conocida. Se basa en un fenómeno físico que da lugar a la aparición de una tensión y una corriente eléctrica en una placa de material semiconductor cuando en ella incide la radiación solar. Se fabrican módulos de muy pequeña potencia que se utilizan para generación de electricidad a pequeña escala. Los costes de producción de electricidad son muy elevados, como se verá más adelante.

Para construir los módulos la tecnología fotovoltaica se basa, en la actualidad, en el silicio metal. Este es un producto escaso que proviene de la industria electrónica como materia de segunda clase en el suministro de silicio para esta industria. Aquí radica un pro-

Gráfico 5. Inversión necesaria para generar 1.000 kWh anuales



blema de esta opción renovable, no sólo por el coste de las obleas de silicio sino, también, por las limitaciones en disponer de suficiente metal elaborado para alcanzar un desarrollo a niveles significativos.

La energía fotovoltaica, u otros sistemas de energías solares, pueden avanzar hacia nuevos diseños que impliquen “ruptura” o cambio tecnológico, permitiendo producir electricidad a costes competitivos y con ella la obtención de hidrógeno mediante electrólisis. Ese cambio parece muy factible a medio plazo. Pero también es posible que se desarrollen tecnologías de descomposición directa del agua por efecto de la radiación solar con el uso de soportes o catalizadores especiales, o por acción bacteriológica.

Las energías renovables se dirigen, en primer lugar, a la obtención de electricidad. Los costes de generación dependen, en gran medida, de la inversión específica y del número de horas anuales en las cuales puede generar la instalación en cuestión. En el Gráfico 5 se muestra la inversión necesaria para generar anualmente 1.000 kWh, que es la demanda energética de un hogar de bajo consumo en Europa. Esta inversión es mayor que la correspondiente a las centrales de combustibles fósiles, que se sitúa entre 100 y 300 €/1.000 kWh.

En el gráfico se pueden observar dos grupos de tecnologías: unas de inversión moderada para generar una cierta cantidad de electricidad y otras, las solares, que implican una ele-

vada inversión. Las primeras pueden ser competitivas con las opciones de combustibles fósiles, las solares tienen, de momento, aplicaciones especiales en buena medida fuera de la red eléctrica y precisan un cambio tecnológico profundo para conseguir un desarrollo masivo.

1.3 Compromisos a favor de las energías renovables. Escenarios energéticos

Los agentes sociales, entre ellos sindicatos y organizaciones ecologistas, han hecho propuestas de incremento progresivo de las energías renovables en la estructura energética. En concreto, Greenpeace plantea que en el año 2100 deberían suponer prácticamente la totalidad del suministro de energía primaria, en su mayor parte basada en energía solar, y propone que en el año 2020 la energía eólica proporcione entre el 10 y el 12% de la demanda mundial de electricidad (Greenpeace, 2002). Esos dos escalones de cambio parecen razonables considerando el actual esquema energético y los problemas de disponibilidad de recursos fósiles y de incidencia ambiental que ya se ven en el horizonte. Pero la transformación no es fácil y habrá que valorar todas las apuestas al respecto, sabiendo además que la situación de una parte del mundo es muy deficiente en energía y otros servicios (UNDP, 2002).

La Comisión Europea, en su Libro Blanco sobre las energías renovables, propone que en el año 2010 el 12% de la energía primaria que demanda la Unión provenga de fuentes renovables (Comisión Europea, 1997). Resulta más sencillo y existen mayores posibilidades de penetrar en el sistema eléctrico con energías renovables que mediante la sustitución de combustibles fósiles, por lo que la nueva Dirección General TREN, Transporte y Energía, se ha fijado como objetivo:

- conseguir que en el año 2010 un 24% de la electricidad provenga de fuentes renovables, incluyendo en ellas la media y gran hidráulica;
- introducir, para esa fecha, un 6% de biocombustibles líquidos en los suministros de combustibles de automoción.

La Unión Europea es consciente de sus problemas de abastecimiento energético, la dependencia del exterior y la necesidad de investigar. Por ello, aprobó en el año 2002 el VI Programa Marco de I+D con un presupuesto, para su aplicación, de 17.500 millones de euros en cuatro años. La sexta parte del mismo se destina a energía y, dentro de este concepto, una cuarta parte a “energía sostenible”, en buena medida a energías renovables. (Comisión Europea, 2003). En el VI Programa Marco se seleccionarán preferentemente aquellos proyectos que supongan un sensible avance de futuro y que cuenten con equipos de investigación cualificados y con experiencia.

En otros países hay también planteamientos de desarrollo de las energías renovables que, sin ser tan explícitos como en el caso europeo, parecen tener horizontes más amplios a largo plazo.

- Japón: ya desde hace años el Programa de I+D+D Sun Shine incluye actividades muy significativas en energía solar, en particular en la fotovoltaica, pero también en energía eólica y en la producción y utilización de hidrógeno.
- Canadá: tiene un programa de desarrollo eólico especial en el cual destacan las máquinas de eje vertical para emplazamientos de difícil meteorología, lo que encajaría con sus trabajos en la producción de hidrógeno para automoción mediante celdas de combustibles, tecnología en la cual es líder. Estados Unidos parece seguir con atención estos desarrollos y en ellos se centraría su cambio energético en el horizonte del 2030.

La confianza de numerosos técnicos y gestores energéticos en las energías renovables es limitada, asumiéndolas mientras se hable de objetivos moderados como el muy citado 12%. El salto hacia escenarios de participación significativa choca con:

- la constatación de problemas técnicos, tanto en los propios equipos de energías renovables como en las redes eléctricas a las que ellos se conectan;
- la confianza en disponibilidades de hidrocarburos mucho mayores que las que hoy se manejan, visión que poco a poco va decayendo;
- la existencia de otras soluciones energéticas a la escasez de hidrocarburos: energía nuclear o carbón, este con o sin confinamiento de CO₂.

En este documento se defiende que las energías renovables son una solución que debe considerarse seriamente, sabiendo que su desarrollo exige un aporte económico fuerte, tanto en I+D como para su implantación y extensión. Las instalaciones de energías renovables se utilizan sólo cuando el recurso energético, viento o sol, está presente y disponible, por lo que para atender un determinado servicio energético hay que contar con mayor potencia instalada que cuando se acude a sistemas convencionales de generación, lo cual incrementa las inversiones en el sistema energético.

Las energías renovables tienen dos vías de aplicación:

- integrarse en el gran sistema energético, con sus redes de distribución de electricidad o combustibles. Es la alternativa que en mayor medida se va a analizar aquí;
- la energía distribuida. Se va a considerar en determinados puntos de este trabajo, aunque su extensión no es fácil.

1.4 Situación energética española

El esquema de transformación y usos energéticos en España es similar al de otros países desarrollados, aunque en nuestro caso resulta preocupante el crecimiento de la intensidad energética, es decir el ratio entre consumo de energía y el producto interior bruto, que demuestra que incrementamos más el consumo de energía que el aumento de riqueza. A la hora de analizar el abastecimiento de energía primaria hay diversos hechos que nos diferencian de un buen número de países y que debieran incidir en una mayor vocación hacia el desarrollo ordenado, y con proyección a largo plazo, de las energías renovables (COFIS, 2002).

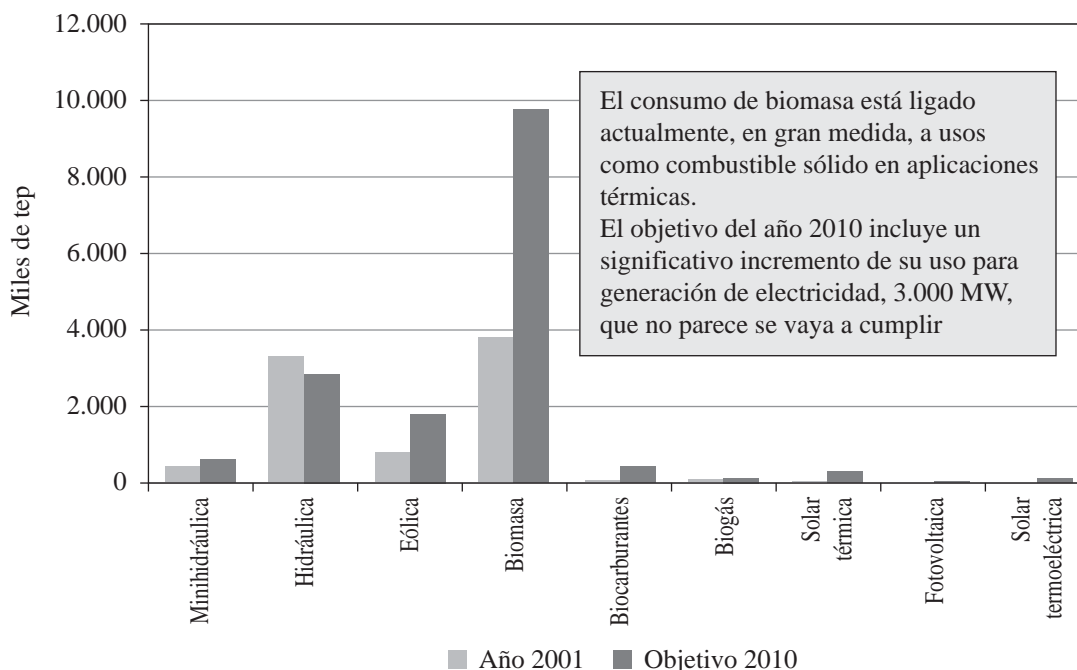
- Dependencia exterior del suministro de energía primaria. Las tres cuartas partes de la energía que consumimos procede de terceros países; la Unión Europea depende en un 50% de ese suministro foráneo y se muestra muy preocupada (Comisión Europea, 2000). En España copiamos los modelos de liberalización propios de países, como el Reino Unido, con autosuficiencia energética.
- Incremento de las emisiones de CO₂. Los acuerdos de Kioto permitían que España incrementara sus emisiones en un 15% entre 1990 y 2010, dentro de la “burbuja” europea que ha de reducir un 8% esas emisiones. En la actualidad ya hemos sobrepasado en un 35% las emisiones de 1990 y no parece que vayamos a cambiar el signo ya que todo apunta a que en el 2010 superaremos en un 50%, o más, las emisiones de 1990.
- La penalización que España habrá de pagar en el contexto de la Unión Europea por incumplimiento de los compromisos de Kioto puede oscilar entre 1.500 y 4.000 millones de euros anuales a partir del año 2008, en función del valor que se le asigne a la emisión en exceso de CO₂.

El consumo de energía primaria en España alcanzó, en el año 2002, los 132 millones de tep, toneladas equivalentes de petróleo, de los cuales el petróleo supuso el 51% y el gas natural el 14%. Esa demanda ha seguido creciendo en el año 2003. Todo esto debiera llevar al país a una profunda reflexión en torno a los esquemas futuros de suministro y demanda de energía y a analizar los escenarios posibles, y más aconsejables, en los cuales tendría que haber una presencia significativa de las políticas de ahorro y uso eficiente pero, también, de desarrollo de las energías renovables. Este debate es urgente en las organizaciones sociales y en la ciudadanía.

1.5 Desarrollo de las energías renovables en España

En el año 2001 las energías renovables representaron un 6,5% de la energía primaria demandada en España. Este ratio está en el promedio europeo, netamente inferior al de

Gráfico 6. Energías renovables en España



algunos países como Austria o Finlandia y mayor que el correspondiente a Alemania o al Reino Unido. En el Gráfico 6 se desglosa la distribución de las diferentes energías renovables en el año 2001 y la proyección oficial para el año 2010; esta última es la valoración que aparece en el Plan de Fomento de las Energías Renovables en España, aprobada por el Gobierno en diciembre de 1999 (IDAE,1999).

En relación a la situación de las energías renovables se hace una serie de reflexiones, agrupadas por tipo de energía, en las que se incluyen consideraciones sobre la madurez tecnológica, uno de los aspectos objeto de este documento.

a) Hidráulica. La energía hidráulica, que en la actualidad prácticamente ha llegado a su techo potencial de recuperación energética, estuvo en los inicios del desarrollo eléctrico en España. De cara al futuro cabe prever que las variaciones de producción energética en la media y gran hidráulica, mayor de 10 MW, dependerán de la pluviosidad del año en cuestión; la minihidráulica, instalaciones de menos de 10 MW de potencia, incrementará un poco la potencia instalada y su aportación energética en esta década.

b) Eólica. Ha sido fundamental en el desarrollo de las energías renovables en la década pasada en España. La evolución tecnológica ha ido en paralelo con la construcción de nuevos parques eólicos que, en general, han tenido buena aceptación debido al pago de alqui-

leres por emplazamiento de aerogeneradores (mayoritariamente en terrenos marginales), a la creación de empleo, al apoyo de organizaciones sociales al desarrollo eólico y a la existencia de primas que hacen muy atractivo el negocio, como se verá más adelante.

El Plan de Fomento de las Energías Renovables hace una proyección de 9.000 MW de potencia instalada, mientras que el Ministerio de Economía, en su Plan de Infraestructuras eléctricas y de gas natural, entiende que en el año 2010 pudiera haber instalados unos 13.000 MW, pero con la salvedad de que (MINECO, 2002):

- en horas punta sólo podrán acceder a la red 10.000 MW;
- en horas valle sólo podrán acceder a la red 5.000 MW.

Hay que tener en cuenta que la simultaneidad eólica indica que en determinados periodos coincide en operación un 60% de la potencia instalada, lo que supondría que pudieran ofrecerse más de 7.000 MW si se instalaran 13.000 MW, si bien habría que desconectar parques si esa simultaneidad tuviera lugar en la noche, coincidiendo con las horas valle. Es una limitación importante para el desarrollo futuro frente a la cual no se producen críticas, que hoy sólo se dirigen al mantenimiento de la prima.

La energía eólica tiene un amplio potencial en nuestro país y en paralelo se puede desarrollar en otros con los cuales se mantienen amplias relaciones comerciales, por ejemplo Marruecos o Argentina, como se apuntó anteriormente.

c) Biomasa. Supone la mitad del actual aporte de las energías renovables al sistema energético de España. Corresponde mayoritariamente a usos tradicionales de los residuos vegetales en el mundo rural, leñas y otros, y a aplicaciones domésticas o industriales. No ha experimentado crecimiento a lo largo de los últimos años. Hay razones para pensar que el desarrollo en los próximos años no será amplio:

- la gestión de la biomasa supone una importante aportación de labor manual o poco mecanizada. Los salarios en los países desarrollados hacen poco competitiva esta recuperación energética;
- en España no abundan las superficies llanas y amplias que permitan labores mecanizadas de alta productividad. Amplias áreas del territorio tienen escasas precipitaciones hídricas, lo que incide en una productividad baja;
- la utilización de leña en usos domésticos o pequeños edificios de uso público parece una vuelta atrás; socialmente no parece atractiva, aunque no debiera ser así.

Los combustibles sólidos, leña o productos conformados, son una alternativa muy lógica, ya que su uso, en pequeñas calderas de calefacción u hornos, supone una buena eficiencia

energética y su precio, entre 3 y 6 cts. de €/kcal, es competitivo con el gas natural o butano, 5 cts./kcal. El problema es el establecimiento y desarrollo de las redes de comercialización, y el convencimiento social e institucional para desarrollar campañas de cambio de las calderas convencionales por otras adecuadas a este uso. El crecimiento de esta aplicación será lento; al no implicar cuestiones tecnológicas no será analizado en este trabajo.

El biogás, obtenido por fermentación de residuos, supone un recurso energético limitado. Su empleo avanza lentamente, sin problemas tecnológicos aparentes, por lo que no se va a hacer especial mención a este tema.

La generación de electricidad con biomasa es una opción ampliamente deseada. Así aparece en el Plan de Fomento de las Energías Renovables en España, con una potencia objetivo de 1.700 MW para el año 2010, mientras que el Plan de Infraestructuras, antes citado, eleva esa posibilidad a 3.000 MW. La experiencia de los últimos años lleva a discrepar de un desarrollo tan ambicioso. Las razones que hacen poco interesante esta línea de producción de electricidad son:

- un bajo rendimiento de transformación, entre el 20 y el 30%;
- un coste elevado de gestión de ciertas biomásas: residuos dispersos y cultivos energéticos.

La opción sólo es viable con residuos concentrados, como los de la industria olivarera. No se va a analizar de forma específica en este documento por sus escasas perspectivas de desarrollo energético y tecnológico.

d) Biocarburantes o biocombustibles líquidos. Es una alternativa energética que se ha comenzado a desarrollar industrialmente en España hace pocos años, aunque en actividades de I+D se viene trabajando desde hace un par de décadas. El Plan de Fomento de las Energías Renovables en España propone un objetivo modesto, 500.000 tep para el año 2010, que es factible conseguir. No obstante, la Comisión Europea acordó llegar a un 6% de la demanda de combustibles de automoción en el conjunto de países de la Unión, lo cual supone multiplicar por cuatro ese primer objetivo español, dato que debiera obligar a una reflexión profunda al respecto.

El desarrollo de los biocombustibles líquidos no es fácil; existen problemas económicos, de gestión y también tecnológicos. Pero suponen una importante oportunidad de creación de empleo rural, así como para ir cambiando el esquema tecnológico del transporte hacia opciones más limpias (CIEMAT, 2003), por lo cual desarrollaremos un capítulo específico dedicado a este tema.

e) Solar térmica. Es una asignatura pendiente en el desarrollo español de las energías renovables. La tecnología está ahí, admite mejoras pero ya cuenta con diseños maduros y demostrados. La instalación de paneles para suministro de agua caliente sanitaria es

una actividad que tiene más de veinte años de antigüedad, por lo que ya se cuenta con un amplio rango de experiencias. En España hay suficiente capacidad de fabricación de paneles para atender el mercado, a lo cual se añade que también están penetrando en él fabricantes europeos.

Los paneles de agua caliente sanitaria son competitivos con los sistemas convencionales de calentamiento de agua sanitaria aunque, a diferencia de estos, se ha de realizar una fuerte inversión inicial que se compensa con el ahorro de combustible a lo largo de la vida de la instalación. La cuestión básica para el crecimiento de esta opción se centra en establecer normas administrativas para la construcción de nuevos edificios, tanto de uso público como privado, a fin de que la instalación de paneles sea prácticamente una obligación; asimismo es preciso mantener las subvenciones a los pequeños usuarios privados para reducir esa primera inversión.

Los objetivos del Plan de Fomento de las Energías Renovables en España suponen llegar a 4 millones de m² en el año 2010. Esto significa multiplicar por diez la superficie actual, pero no parece que se avance en conseguirlo. Hay que llamar la atención a las diferentes administraciones para que trabajen en firme en esa línea.

f) Electricidad solar. Es el gran desafío tecnológico a medio y largo plazo. Existen sistemas de generación de electricidad probados, pero en todos los casos conllevan unos costes finales no competitivos para la conexión a la red de la electricidad producida. La energía fotovoltaica permite la generación de electricidad en sistemas aislados de la red y en esta aplicación encuentran hoy las industrias del sector su gran desarrollo de mercado en el mundo; una buena parte de la fabricación española se dirige hacia los países menos favorecidos a través de programas de ayuda al desarrollo.

Tabla 2. Generación de electricidad solar. España, situación y expectativas

	Colectores o espejos	Disco <i>stirling</i>	Fotovoltaica
Inversión	2.500 €/kWp	4.000 €/kWp	5.000 €/kWp
Rendimiento	12-15%	12-15%	12-18%
Objetivo P.N.F.	200 MW	–	135 MW
Inversión (2010)	500 Millones de €	–	675 Millones de €
Expectativa (2025)			
• Inversión	2.000 €/kWp	2.000 €/kWp	2.000 €/kWp
• Rendimiento	18%	20%	30%
Situación industrial en España	Hay capacidad de fabricación y de exportación	Posibilidades de capturar empresas foráneas	Alta capacidad de fabricación y de exportación

Las actuaciones de investigación y desarrollo tecnológico han sido relevantes en España, desde la Plataforma Solar de Almería al Instituto de Energía Solar. La industria, en paralelo, ha evolucionado positivamente, destacando los logros de la fotovoltaica, pese a que la instalación de potencia solar en nuestro país ha sido escasa. En la Tabla 2 se recogen algunas ideas sobre las expectativas de esta alternativa.

El análisis de este cuadro, en el cual evidentemente hay aspectos subjetivos y por lo tanto discutibles, indica la necesidad de dar importancia especial a las tres alternativas de electricidad solar y en particular a la fotovoltaica. La electricidad de origen solar debería penetrar con fuerza en nuestro sistema a partir de la tercera década de este siglo, para lo que es necesario contar con un buen esquema industrial. Este es uno de los objetivos de este documento.

1.6 Papel de la Administración Española. El IDAE

En España se han desarrollado varios cauces de promoción de las energías renovables tanto en el ámbito estatal como en el autonómico. El apoyo desde las más altas instancias de la Administración a esas acciones parece, en muchas ocasiones, limitarse a una mera estrategia de propaganda sin que llegue a concretarse en resultados, lo que debería ser objeto de reflexión. No se debe aprovechar sólo la imagen positiva de las energías renovables, hay que analizar cuales son los problemas, resolverlos en la medida de lo posible y actuar de forma consecuente.

En plena “Transición Española” aparece la cuestión, añadida a los problemas políticos y sociales del momento, de la crisis motivada por el aumento de los precios del petróleo y, como consecuencia, un renovado interés por las energías renovables. Se crea entonces el Centro de Estudios de la Energía, CEE, luego transformado en Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE. En la actualidad, varias Comunidades Autónomas cuentan con institutos similares.

En una primera fase, hasta el año 1990, desde las diferentes administraciones se desarrollan campañas de ahorro y se apuesta por los primeros desarrollos en energías renovables:

- Plataforma Solar de Almería, PSA, que nace con la idea de llegar a diseños de plantas solares de potencia, en un esquema técnico conceptual similar al de las centrales térmicas de combustibles fósiles. Es una propuesta compartida por otros países: EE UU, Alemania, etc., que participan en el proyecto a través de la Agencia Internacional de la Energía, AIE;
- diseño y construcción de los primeros aerogeneradores, instalación de parques de ensayo y demostración, en la línea de trabajo que había en otros países: EE UU y Dinamarca;

- apoyo a otras actividades, básicamente energía solar: térmica y fotovoltaica. Aunque las subvenciones a la inversión en energía solar térmica de baja temperatura se limitan en pocos años por considerar que es una tecnología madura, frenándose así su desarrollo.

En la década de los noventa se vive el desarrollo de la energía eólica, que enseguida es considerada como una opción de creación de industria y de empleo. Algunas administraciones autonómicas apoyan decididamente la construcción de parques cuando va emparejada a la creación de instalaciones industriales en la región. Posteriormente se van abriendo camino otras opciones renovables, con el mismo objetivo de generar empleo, como por ejemplo la biomasa.

En esta evolución hay que destacar el papel del IDAE cuyos profesionales, a lo largo de más de dos décadas, han mantenido criterios de actuación a favor del ahorro energético y de las energías renovables como:

- ayuda al desarrollo tecnológico, proyectos de I+D en energía eólica y otras renovables;
- promoción de la aplicación de subvenciones para proyectos de demostración;
- gestión de primas de apoyo al precio de la electricidad procedente de energías renovables;
- información técnica y de difusión sobre las energías renovables dirigida a ámbitos empresariales, profesionales y a la sociedad en general.

Esta labor debe analizarse, además, en dos contextos de relación complementaria entre sí y muy importantes para nuestro país:

- **Comisión Europea.** Representando a España, gestionando todo tipo de ayudas para los centros de I+D o las empresas españolas y promoviendo proyectos de colaboración con terceros países fuera de la Unión.
- **Administraciones Autonómicas.** Coordinando con todas ellas la promoción de proyectos de energías renovables y la difusión de información al respecto, y favoreciendo el desarrollo tecnológico e industrial.

A lo largo de su historia, el IDAE ha estado adscrito a diferentes Ministerios: primero estuvo en el desaparecido Ministerio de Industria y Energía, pasando a continuación al Ministerio de Ciencia y Tecnología. Cabe destacar que el ámbito de actuación más sobresaliente de este Ministerio, las telecomunicaciones, tiene una relación marginal con la energía.

En la actualidad se ubica en el Ministerio de Economía, donde se localizan las Direcciones Generales que afectan a la energía. Tal como se dibuja la Administración del Estado,

esta ubicación puede ser positiva: es donde se hace una cierta planificación energética, por la posibilidad que conlleva de discutir las ayudas y primas a las energías renovables, ayudas que se pueden relacionar con las tasas futuras de CO₂ u otros impuestos. Pero, además, permite hacer una labor positiva de fomento de ciertos proyectos de I+D y su conexión con el desarrollo industrial.

La promoción del I+D en el campo de las energías renovables es muy necesaria e importante, más cuando la actividad del Ministerio de Ciencia y Tecnología es prácticamente nula al respecto o se dirige a proyectos poco conexos con nuestra realidad industrial y energética. Por ello, en este documento se insistirá en el papel que debe jugar el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) en el desarrollo tecnológico de las energías renovables.

La Administración Española ha optado por el sistema de primas al fomento de las energías renovables. Este sistema ha sido particularmente eficiente en el caso de la energía eólica. En países como Alemania y España, que tienen esta fórmula, el crecimiento de esta energía ha sido mucho más rápido que en otros países con recurso eólico, como Gran Bretaña, que han apostado por el sistema de cotas.

El valor de esas primas (unos 3 cts. de €/kWh en minihidráulica, eólica y electricidad de biomasa; 12 cts. de €/kWh en las solares de más de 5 kW de potencia y 36 cts. de € para las menores de 5 kW de potencia) se suma al precio de la subasta de electricidad en generación convencional. El precio medio de subasta de la electricidad en barras de central en España se sitúa en la franja de 3 a 5 cts. de €/kWh, según periodos del año o la disponibilidad de agua en el año en cuestión.

1.7 Tecnología e industria española

La creación, en 1983 del Instituto de Energías Renovables dentro de la Junta de Energía Nuclear, luego CIEMAT, constituye un hito importante en el desarrollo de las energías renovables en España. La Plataforma Solar de Almería pasó a ser parte de este Instituto y las actividades de I+D se ampliaron a otras materias: energía eólica, fotovoltaica o biomasa (esta con un centro en Lubias, Soria, recuperando un emplazamiento previsto para I+D nuclear).

A lo largo de la década de los ochenta y principios de los noventa se fue estableciendo una red de centros de investigación, ligados a las Universidades o bien como tales instituciones de I+D, como por ejemplo el Instituto de Energía Solar, IES, en la UPM. Ello facilitó el desarrollo de tecnologías y el nacimiento de empresas en el campo de las energías renovables.

Tabla 3. Centros de I+D en energías renovables en España

	Campo de actuación	Presencia europea	Conexión con las empresas
CIEMAT	Eólica, biocombustibles líquidos, biomasa, solar térmica y fotovoltaica	Buena	Moderada, aunque a veces alta
CENER	En proceso de creación Vocación amplia	–	Vocación de ser alta
IES-UPM	Fotovoltaica en todos sus aspectos	Relevante	Muy alta
Canarias: ITC e ITER	Eólica, solar fotovoltaica y térmica, desalación de agua. Pequeñas instalaciones	Moderada, aunque puntualmente alta	Moderada
Grupos Universitarios	Temas muy diversos: biomasa, eólica, solar, etc. Ingeniería, electrónica, control, etc.	Moderada en buen número de casos	En algunos casos alta

Hay que distinguir claramente dos fases en el desarrollo tecnológico:

- En la década de los ochenta, y en buena parte de la siguiente, las ayudas del IDAE, la existencia de un programa de investigación electrotécnica pagado en la factura de la electricidad (0,3% de ella), la gestión de proyectos frente a la Comisión Europea y la presencia de empresas con vocación industrial, dieron lugar a un marco de desarrollo tecnológico bastante bueno y a realizaciones industriales significativas en energía eólica y fotovoltaica. Desde entonces, algunas Comunidades Autónomas han establecido esquemas de trabajo que, por un lado, fomentan ciertas actividades de I+D y, por otro, tratan de fijar empresas en su entorno.
- En la actualidad el esquema está mucho más descoordinado: no existe, desde el año 1996, el PIE (Programa de Investigación Electrotécnica), se mantienen proyectos de demostración tecnológica en buena medida por los esfuerzos del IDAE y de algunas empresas que continúan con perspectivas a largo plazo. Lo más preocupante es la desmoralización de los centros de I+D por falta de planificación global y criterios consolidados de trabajo, lo que se añade a la proliferación de centros de investigación de pequeña capacidad y al bajo nivel de coordinación entre ellos. En la Tabla 3 se indican algunos de los centros de I+D más significativos en España.

Respecto al desarrollo industrial se harán referencias específicas en los capítulos posteriores. De forma general, hay que señalar que existen diversas pequeñas y medianas empresas que proporcionan equipos y servicios de calidad, pero cuya proyección de futuro presenta interrogantes. Cabe destacar el esfuerzo del grupo vasco Gamesa en crear un entorno industrial

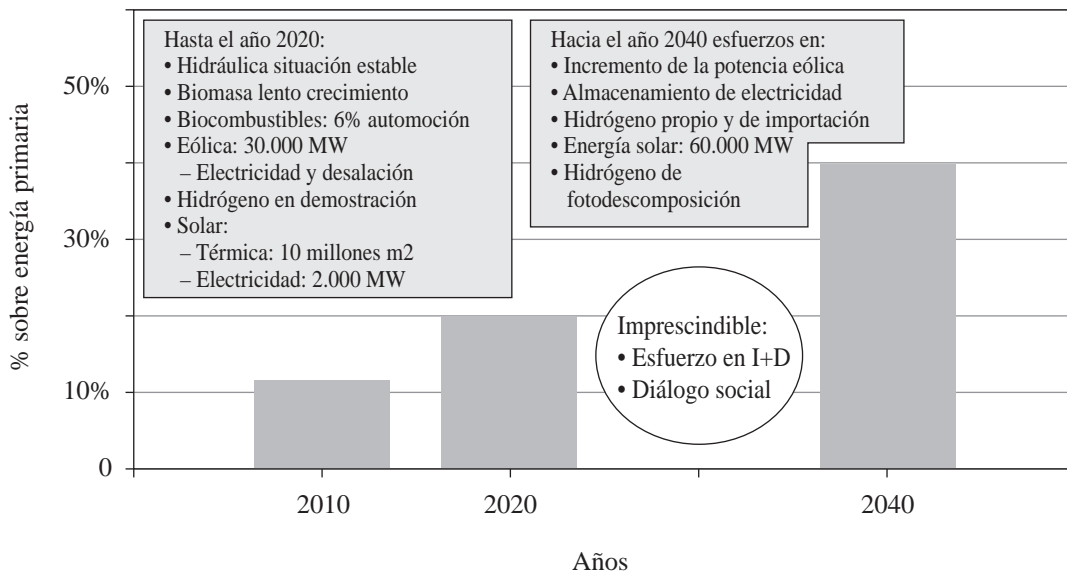
fuerte en energías renovables, así como el de las empresas en industria fotovoltaica y la presencia creciente de empresas europeas que comienzan a asentarse en nuestro país.

1.8 Objetivos españoles en energías renovables

España ha asumido el compromiso europeo de alcanzar en el año 2010 una participación de las energías renovables en el suministro de energía primaria del 12%. Así se recoge en el Plan de Fomento de las Energías Renovables. Se basa en los siguientes puntos:

- la existencia de potencia hidráulica, tanto en gran hidráulica como en minihidráulica, con un leve crecimiento de esta última;
- el uso tradicional de biomasa en el mundo rural, que supone algo más del 3% de la demanda de energía primaria;
- el incremento de la potencia instalada de generación de electricidad con biomasa hasta 1.700 MW. Objetivo que en general se considera inalcanzable, opinión que comparte este autor;
- la producción de 500.000 tep de biocombustibles líquidos. Objetivo muy inferior al comunitario;

Gráfico 7. Esquema de participación de las energías renovables



- el crecimiento de la potencia eólica instalada hasta casi 9.000 MW. Objetivo alcanzable y superable si se mantienen las primas.

Es posible que se cumpla el objetivo global del 12% de participación de las energías renovables en el sistema energético o que nos acerquemos bastante a ello, cumpliendo que, de alcanzarse, no supondría cambios fundamentales en el mismo.

Las cuestiones críticas aparecen cuando se piensa en los objetivos a plantear para el futuro que, tal como se sugiere en el Gráfico 7, debieran ser muy ambiciosos y llevarnos a una participación del 40% en el año 2040.

Para alcanzar este nivel de participación se precisan cambios importantes en la tecnología de las energías renovables y en el propio sistema energético, además de importantes inversiones y conseguir un consenso social al respecto. Los puntos esenciales serían:

- Desarrollo de la tecnología eólica permitiendo mayor captación de energía, con predicción y regulación de vertido a red. Fuerte extensión de su implantación tanto en tierra como en la plataforma marina. Esfuerzo crítico en los próximos veinte años.
- Incremento de la producción de biocombustibles líquidos. Necesidad de tecnología y de un programa que integre las diferentes competencias de las administraciones estatales y autonómicas. Realización en los próximos quince años.
- Desarrollo de tecnologías de producción y utilización de hidrógeno. Aplicación de las celdas de combustible en automoción y transformación de la industria del automóvil. Actividad para los próximos veinte años.
- Desarrollo de tecnología de producción de electricidad de origen solar a bajo coste. Energía fotovoltaica y otras alternativas. Actuación de inicio inmediato pero que se extenderá previsiblemente treinta años.
- Investigación en almacenamiento de electricidad e integración en la red eléctrica. Comienzo de la I+D desde ahora, en conexión con programas internacionales, y previsible implantación dentro de quince años.
- Desarrollo de tecnologías de fotodescomposición del agua para obtener hidrógeno con energía solar. Se trata de una solución que previsiblemente requerirá inversiones moderadas. Inicio de la investigación básica inmediato.
- Fuertes inversiones en construcción de instalaciones de generación de electricidad. Se necesitará, además, potencia convencional excedente para los periodos de no disponibilidad de viento. Al mismo tiempo es necesaria la creación de infraestructuras de almacenamiento y transporte. Actuación a lo largo de todo el periodo.

- Esquemas de colaboración con otros países para importar hidrógeno desde ellos. Desarrollo de las energías renovables en esos países con inversiones españolas. Las actuaciones debieran empezar hacia el año 2010.
- Acuerdos sociales para poder atender todos los esfuerzos que se asocian con estas actividades, tanto económicos de reparto de costes y beneficios, como los de aceptación de la presencia de esas energías renovables en el paisaje. Atención especial al medio ambiente.

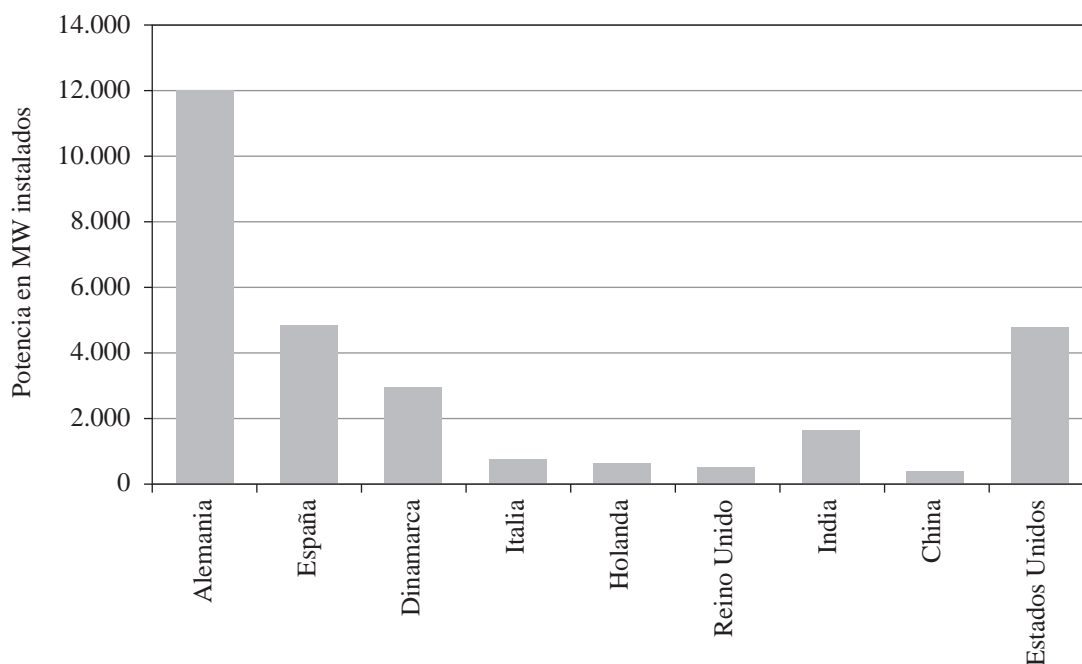
Aunque un objetivo de este tipo no parezca fácil de alcanzar es un reto importante en la sostenibilidad energética española y en la global. Se han de hacer esfuerzos en diversas líneas. En este documento se van a tratar los esfuerzos tecnológicos, pero hay muchas más facetas a considerar.

2. Energía eólica

2.1 Evolución energética y tecnológica

La energía eólica constituye la principal oferta de las próximas décadas para iniciar un cambio sustancial del esquema actual de uso masivo de combustibles fósiles. La posibilidad de obtener hidrógeno a costes similares a los actuales precios de los derivados del petróleo, incluidos impuestos, abre una vía importante de evolución. En unos pocos países, entre ellos España, el uso de la energía eólica ha crecido de forma significativa en las dos últimas décadas. En el Gráfico 8 se refleja la potencia eólica instalada, a finales del año 2002, en diferentes países; se observa el destacado papel de países miembros de la Unión Europea y en particular de Alemania y España (Hernández, 2003).

Gráfico 8. Potencia eólica en diferentes países. Final del año 2002

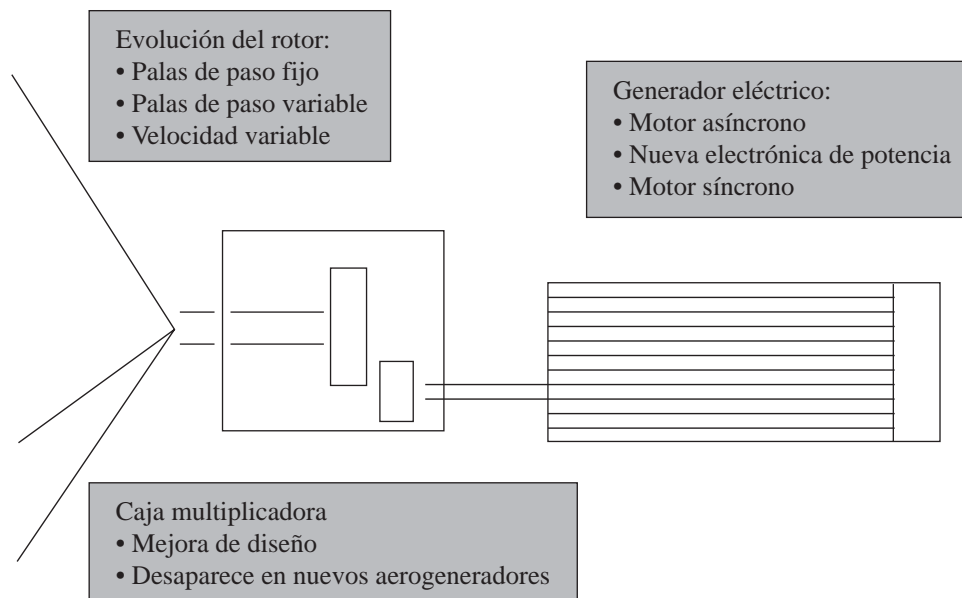


Los aerogeneradores tenían, en la segunda mitad de los años ochenta, una potencia unitaria de unas decenas de kW; desde el inicio de su desarrollo mostraron una disponibilidad operativa razonable. En la actualidad se ha mejorado sensiblemente la situación tecnológica mediante el trabajo en diferentes líneas:

- incremento de la potencia unitaria de los aerogeneradores hasta valores de 1 a 2 MW;
- nuevos diseños de rotor. Hoy se construyen con palas de paso fijo y variable. No obstante, la tendencia es a la instalación de palas de paso variable y rotores de velocidad variable;
- introducción de motores síncronos, que mejoran la electrónica de potencia correspondiente, como elemento de generación eléctrica. Se trata de una tecnología en fase de maduración.

En el Gráfico 9 se ve la estructura simplificada de una máquina de eje horizontal. Esta tecnología es la que hasta el momento más ha avanzado en el desarrollo y extensión industrial. En el gráfico se esquematizan los conceptos antes citados. Información detallada de la tecnología eólica, tanto en sus principios básicos como en el desarrollo de diseños de conjunto y de componentes, se encuentra en los cursos de formación del CIEMAT (Varios Autores, 1998).

Gráfico 9. Evolución de los aerogeneradores de eje horizontal



La evolución tecnológica es continua y está abierta a cualquier propuesta de nuevos diseños. No se pueden desechar opciones de eje vertical, en especial para máquinas de gran potencia o para emplazamientos con condiciones climáticas difíciles, ni otros diseños, por ejemplo con difusores o “embudos” de viento. La energía eólica ofrece un gran potencial energético que, probablemente, requerirá cambios tecnológicos sustanciales para su pleno aprovechamiento.

- La máquina de eje vertical se ensaya con potencias unitarias de 5 MW en Canadá, pensando en un futuro gran programa eólico de grandes dimensiones energéticas.
- La máquina de eje horizontal provista de un difusor se ensaya en Nueva Zelanda para emplazamientos marinos.

Deben considerarse las posibilidades del hidrógeno. En la actualidad se puede obtener el equivalente a un litro de gasolina en forma de hidrógeno, partiendo de la energía eólica, a un coste algo menor de 1 €, que es lo que se paga por ese litro de carburante. Bien es verdad que en ese precio está incluido un buen apartado de impuestos, pero debe tenerse en cuenta que el hidrógeno podrá ser usado en celdas de combustible con mayor eficiencia energética, casi el doble, que la de los actuales motores de automoción y, además, sin emisiones de CO₂.

Por otro lado, hay que considerar la opción de fabricación e instalación de pequeños aerogeneradores, de unos pocos kW de potencia unitaria, para aplicaciones aisladas o conectadas a la red; con ello se puede dar electricidad a muchas personas que hoy no disponen de ella. La tecnología ha evolucionado consiguiendo equipos muy fiables y de costo moderado, en torno a los 2.000 €/kW instalado, incluyendo los equipos complementarios, baterías, etc.

2.2 Parques eólicos. Economía y sociedad

La transformación de la energía eólica hacia electricidad en magnitudes significativas se lleva a cabo con parques eólicos. Los aerogeneradores se conectan a una subestación eléctrica desde la cual se vierte la electricidad a la red. El conjunto de un parque eólico supone una inversión entre 800 y 1.000 €/kW instalado, de los cuales las dos terceras partes corresponden a los aerogeneradores; el resto se divide entre las obras civiles de caminos y el sistema eléctrico de conexión y evacuación.

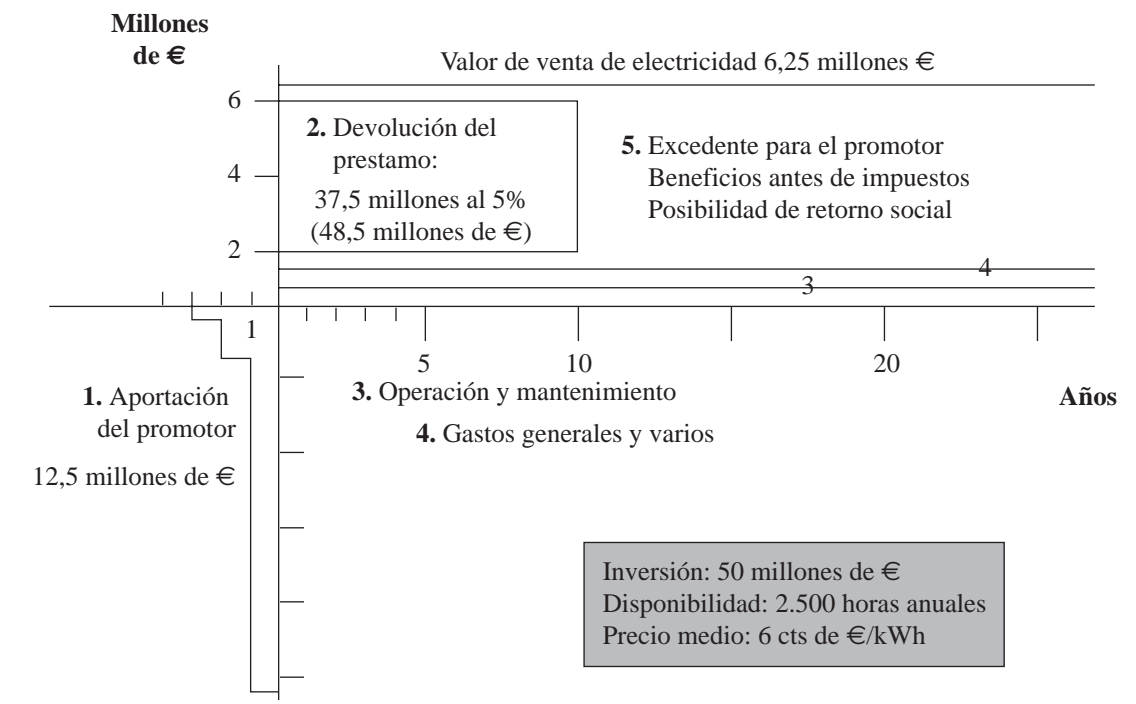
Un parque eólico se construye con una aportación de capital de los promotores, entre el 20 y el 30% de la inversión total, y un préstamo de una entidad financiera, que supone el resto. El crédito se devuelve durante un primer periodo, diez a quince años, lo que hace que los excedentes de explotación sean pequeños. Una vez amortizado este crédito los

beneficios de la empresa son muy elevados ya que se vende electricidad al sistema a unos 7 cts. de €/kWh, mientras que los costes totales de generación sólo son 1 cts. de €/kWh, pudiendo alargarse la vida útil de la instalación de diez a veinte años dependiendo del diseño y mantenimiento del parque.

En el Gráfico 10 se esquematiza lo indicado en el párrafo anterior. En el eje de coordenadas X aparece la vida del parque en años: a la izquierda el periodo de construcción y a la derecha el de explotación. En el eje Y se indican valores económico (ingresos y gastos), expresados en valor constante del año cero de inicio de la operación. El esquema económico se dibuja para un parque de 50 MW de potencia y con una disponibilidad de viento de 2.500 horas equivalentes a plena carga, para lo cual se ha supuesto una inversión de 50 millones de euros, algo mayor que la habitual en estas instalaciones, mediante un préstamo para la construcción del 75% de la inversión que se devuelve en diez años al 5% de interés real, es decir a valor constante. La venta de electricidad se hace al precio de 6 cts. de €/kWh, incluyendo la prima a la energía eólica. El esquema es el siguiente:

- 1 = Desembolso de construcción del parque a cargo del promotor.
- Venta de electricidad, línea horizontal en el lado superior derecho.
- 2 = Devolución del préstamo durante diez años.

Gráfico 10. Esquema económico de un parque eólico. 50 MW



- 3 = Gastos de operación y mantenimiento contratados con terceros.
- 4 = Gastos generales y varios.
- 5 = Excedente de explotación; bajo en los diez primeros años, muy alto después.

Cabe destacar que el punto 5 puede ser así si la prima a la energía eólica se mantiene. Si las primas se transforman en conceptos ligados al mercado liberalizado, en el cual se abre la posibilidad de negociar electricidad exenta de CO₂ con derechos o comercios de emisiones, surge una incertidumbre sobre el negocio, lo cual unido a otras restricciones, como la indicada en el capítulo anterior de límites a la potencia a verter a la red, puede ser un freno muy fuerte para el desarrollo de la energía eólica en España.

El autor de estas páginas es partidario de que se mantenga la prima a fin de llegar a un gran desarrollo eólico. El promotor tiene derecho a una parte de los excedentes que proporcionan la prima, son sus beneficios, con los que se resarce de la inversión realizada y de sus actividades de empresario. Pero, una parte del excedente debiera dirigirse hacia la sociedad del entorno, que soporta la presencia del parque. No se van a definir los mecanismos de retorno social, pero se indica que estos serán pronto una parte del debate eólico. La aceptación de un elevado número de aerogeneradores en nuestro entorno, en el de los habitantes de las zonas con viento, requiere diálogo y una participación más amplia en beneficios.

2.3 Potencial eólico en España y posibilidades de exportación

Sería conveniente que pronto se hiciera una estimación detallada del potencial eólico en España considerando la previsible evolución de la tecnología y la posibilidad de sustituir aerogeneradores pequeños, instalados hace años, por los actuales de mayor potencia, tanto en emplazamientos terrestres como marinos; en este segundo caso dando opción a los nuevos y previsibles desarrollos en tecnología *off shore*.

En las diferentes comunidades autónomas españolas se han presentado propuestas de construcción de parques eólicos equivalentes a unos 30.000 MW. En muchos de esos emplazamientos no se han evaluado los recursos, mientras que otros no son aconsejables por las características de sus entornos. Esas peticiones se corresponden a estimaciones con máquinas de potencia en el entorno de 600 a 900 kW; en la medida en que se opte por aerogeneradores de mayor tamaño se incrementará la potencia de posible instalación.

El potencial eólico *off shore* en Europa se evalúa en más de 100.000 MW, de ellos una buena parte en el Mar del Norte y en el Báltico. Ya se habla de un objetivo para los países del centro-norte de Europa de 60.000 MW en veinte años. En España existe la opinión generalizada de

que nuestras costas no son adecuadas para estas instalaciones; las atlánticas porque la plataforma se hunde rápidamente, las del Mediterráneo por contar con menos viento, por su afección turística y por aspectos ambientales como las praderas de posidonias.

Cuando se analiza la cuestión con más detalle, y pensando que la tecnología eólica *off shore* camina hacia poder utilizar profundidades de hasta 40 metros, las opiniones cambian y aparece un potencial interesante que debería ser analizado con cuidado e incluso dar lugar a programas eólicos marinos bien definidos y con amplia participación social, tal como piden algunos agentes sociales, por ejemplo Greenpeace (García *et al.*, 2003).

En el Golfo de Cádiz se propone, frente a Barbate, un parque eólico de 1.000 MW de potencia con grandes aerogeneradores apoyados a 30 metros de profundidad. El lugar puede ser adecuado, aunque el diálogo social al respecto deberá ser cuidadoso y su desarrollo debería suponer la creación de empleo y desarrollo industrial, como se apunta más adelante. La empresa proponente, EHN, parece que evalúa el potencial de toda esa costa en unos 11.000 MW.

En la parte exterior de los puertos de toda nuestra costa es posible instalar aerogeneradores, en especial en los grandes puertos de la costa atlántica, Galicia y otras Comunidades. Serían parques pequeños pero con consumos eléctricos importantes en sus proximidades. Son, además, emplazamientos ideales para probar los aerogeneradores *off shore* y a la vez crear opiniones favorables a la energía eólica marina.

En la costa mediterránea el viento es menor pero los fondos son más favorables para realizar las obras correspondientes. Las praderas de posidonias se encuentran entre los 7 y los 30 m de profundidad, lo cual supone en algunas zonas una limitación que habrá que analizar con cuidado. En esa costa se produce un consumo muy alto de electricidad ligado al turismo y al volumen de población fija pero, además, existe una demanda muy fuerte de agua; ambos servicios podrían ser atendidos por la energía eólica marina dado que los parques *off shore* pueden disponer de plantas desaladoras que, con la electricidad generada, desalen agua por ósmosis inversa. La visión lejana de los parques desde la costa no debiera ser otra cosa que el recuerdo de que somos una sociedad intensiva en consumos y es conveniente el ahorro.

En resumen, el potencial eólico en España es importante. Se estima que se podría llegar a instalar hasta 60.000 MW en emplazamientos terrestres y marinos. Evidentemente, para ello se ha de concitar un acuerdo social importante que mantenga las primas pero que haga que el reparto de los beneficios en el entorno social sea amplio. Es preciso pensar en:

- evitar lugares emblemáticos por razones sociales, históricas o ambientales;
- analizar las posibilidades de repotenciación de parques en funcionamiento con aerogeneradores de mayor potencia que los hoy instalados;

- crear un entorno de desarrollo industrial ligado a la energía eólica en las regiones con parques eólicos que dé un retorno a la sociedad que soporta los parques en su territorio;
- dar acceso a los ciudadanos y a los agentes sociales a participar de los beneficios de la energía eólica.

Por otro lado, en muchos otros países del mundo puede haber desarrollo eólico, terrestre y marino (IEA, 2002). En ellos se debiera pensar desde España, tanto en esquemas comerciales convencionales como en nuevas políticas de ayuda al desarrollo, por ejemplo:

- Marruecos y Mauritania: en sus zonas costeras atlánticas permitirían la creación de parques en tierra firme. El cierre de un anillo eléctrico alrededor del Mediterráneo y la construcción de otras infraestructuras podría hacer avanzar lentamente el sistema eléctrico.
- Turquía: en la meseta central del país y en otros emplazamientos terrestres. Es un país que sólo cuenta con el recurso hidráulico del Kurdistán para producir electricidad autóctona.
- Argentina: posee en la Patagonia uno de los grandes campos eólicos del mundo, donde ya se piensa en la producción de hidrógeno. En la provincia de Santa Cruz se propone, a tal efecto, un parque de demostración para llevar hidrógeno a Japón.
- Brasil: en la costa noreste, en tierra y sobre todo en parques *off shore*; ya se ha evaluado un potencial de más de 4.000 MW, que podría ser mucho mayor.
- México: en el istmo de Tehuantepec que comunica los dos océanos, en zonas próximas al istmo y en la Baja California puede haber un importante desarrollo eólico terrestre.

2.4 Industria y tecnología española

En los inicios del desarrollo eólico en nuestro país aparecieron varias empresas que diseñaban y fabricaban pequeños aerogeneradores para instalación en aplicaciones semi-aisladas, por ejemplo granjas (AVIA, 2003). De ellas perviven dos empresas que continúan en el campo de las máquinas pequeñas:

- **Bornay** ha suministrado más de 20.000 unidades en todo el mundo y tiene un nombre acreditado en el rango de pequeña potencia, hasta 15 kW.
- **Soléner** desarrolla proyectos de energías renovables a pequeña escala, en gran medida en países en vías de desarrollo.

Dos empresas, que elaboraron tecnologías propias, iniciaron el desarrollo de la tecnología para parques de media y gran potencia conectados a red:

- **Ecotènia** es una cooperativa de técnicos que comenzó diseñando molinos a principios de los años ochenta. Ha desarrollado aerogeneradores que compiten en el mercado internacional. Exporta a algunos países como, por ejemplo, Cuba e India. Se ha integrado en el Grupo Mondragón, donde ha encontrado el soporte financiero para crecer y atender proyectos que, progresivamente, demandan más capacidad financiera.
- **MADE** era una filial del Grupo Endesa. Desarrolló su tecnología apoyándose inicialmente en el Programa PIE. Llegó a ser la primera empresa española pero, paulatinamente, ha perdido cuota de mercado. Tiene diseños muy interesantes con máquinas de paso fijo y paso variable. En su día exportó aerogeneradores a, entre otros países, China y Túnez. En 2003 ha pasado al grupo Gamesa.

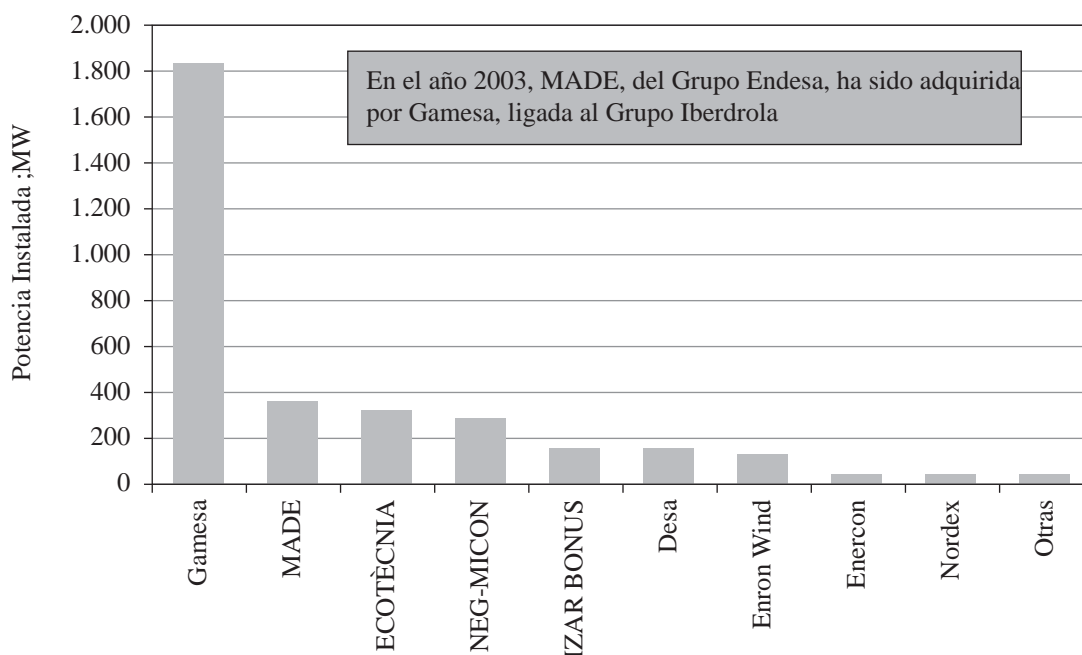
En aquellos años se introdujo en nuestro mercado, a través de la empresa Abengoa, la firma americana AWP, que aparecía como una “opción más desarrollada tecnológicamente”. Después de diversos avatares, Abengoa ha dejado el diseño de aerogeneradores y ha vendido sus participaciones en parques eólicos a una empresa eléctrica holandesa.

El Grupo Gamesa se inició en el campo eólico de mano de la empresa danesa Vestas, una de las mayores del mundo. En la actualidad se han separado y Gamesa tiene capacidad tecnológica e industrial de primera línea. Una muestra de ello es su posición en el mercado español, tal como muestra el Gráfico 11, muy por delante de las otras empresas suministradoras. La compra de MADE incrementa su posición de liderazgo.

A ese salto contribuyó la demanda de aerogeneradores por parte de Iberdrola y de EHN, en un contexto vasco-navarro de desarrollo industrial. La separación reciente de EHN de ese grupo puede quitar cierta cota de mercado a Gamesa, pero esta empresa ya está consolidada como uno de los líderes mundiales. En España hay otros fabricantes, tal como se ve en el Gráfico 11. Entre ellos hay que citar, por distintas razones, a los siguientes:

- **IZAR** tiene tecnología de la empresa danesa BONUS. Suministra máquinas de excelente calidad de fabricación. La energía eólica debiera ser una alternativa para estos astilleros y para la creación de empleo en Ferrol y Cádiz, sobre todo si se avanza en la construcción de parques *off shore*.
- **NEG-MICOM** es uno de las grandes empresas mundiales, danesa, pero con fábricas en diferentes países. En España lleva unos años ensamblando aerogeneradores pero sin decidirse por el establecimiento de una gran fábrica. Su asentamiento en nuestro país podría suponer un afianzamiento de primer orden de la industria eólica.

Gráfico 11. Distribución de suministros, según diseñadores (diciembre 2001)



- **GE**, la empresa norteamericana General Electric, compró la fábrica de la desaparecida empresa ENRON en Noblejas, Toledo. Es una muestra de la posible toma de posiciones por parte de los grandes fabricantes de bienes de equipo en el campo eólico.
- **MTorres** es una empresa que nace, desde la experiencia industrial aeronáutica, con el diseño de grandes aerogeneradores, todavía no suficientemente probados, en los que introduce algunas modificaciones.

Varias de estas empresas, tanto de origen autóctono como con casas matrices foráneas, participan ya en el diseño de grandes máquinas con potencias unitarias de 1,5 a 3,5 MW. Es importante fijarlas en nuestro entorno industrial.

La fabricación de aerogeneradores se inició con la compra de componentes a diferentes suministradores que posteriormente fueron ensamblados por las empresas diseñadoras de estos equipos energéticos. En la actualidad se observa un cierto cambio hacia el control por parte de la empresa suministradora de aerogeneradores de los componentes esenciales de los mismos: palas, multiplicador, control y, eventualmente, nuevos generadores síncronos.

Se ha establecido en España el fabricante danés de palas LM que comenzó sus actividades con la Empresa Santa Bárbara, aunque hoy sigue solo. En la actualidad hay tres fá-

bricas LM en nuestro país. Gamesa dispone de su propio diseño y fabricación de palas. Estas industrias suponen un volumen laboral superior a 1.000 empleos directos.

En los primeros años del desarrollo eólico había una cierta relación y sinergias de trabajo entre los centros de investigación y las empresas. En la actualidad las empresas trabajan de forma más independiente y sólo demandan servicios de I+D en algunas cuestiones puntuales, lo cual no impide que se puedan establecer esquemas más amplios con participación de las Administraciones y las empresas.

Una actuación a considerar es el Parque Eólico Experimental Sotavento, promovido por la Xunta de Galicia, con participación del Instituto Enerxético de Galicia, INEGA, y diferentes empresas eléctricas. Se planteó para instalar en él los aerogeneradores de nuevo diseño de varios fabricantes: Ecotènia, Gamesa, IZAR, MADE y NEG-MICOM. La potencia total es de 17,5 MW, con aerogeneradores de 600 a 1.320 kW de potencia unitaria. El parque inició su producción en diciembre del año 2000, generando beneficios desde el inicio. Su misión es promover desarrollos tecnológicos y divulgar la energía eólica. Recibe visitas organizadas de centros educativos y de particulares.

Parques de esta o parecida concepción, en varias Comunidades Autónomas, pueden fomentar la evolución tecnológica del diseño de los aerogeneradores y establecer sinergias para la fijación de empresas de diseño y suministro de equipos en España. Un parque eólico *off shore* debería ser un objetivo prioritario.

2.5 Expectativas de futuro

La instalación de parques eólicos en España seguirá avanzando quizás hasta alcanzar en el año 2010 una potencia de 13.000 MW (Hernández, 2003). A partir de ahí, las actuales limitaciones que impone la gestión de la red eléctrica, tal como la conciben sus gestores, y el sistema liberalizado de generación de electricidad, que no favorece la existencia de potencia rodante para suplir los periodos de poco viento, podrían frenar este desarrollo. En el capítulo 7 se incluye una reflexión de cómo cambiar esa situación para que pueda seguir creciendo la potencia eólica, que es una de las opciones para cumplir con los Compromisos de Kioto.

El mercado nacional ha dado lugar al desarrollo de una industria en nuestro país que debería consolidarse en esta década basada en la existencia de una mayor seguridad en el esquema de desarrollo futuro de la energía eólica en España. Ello no es óbice para que también se abra al mercado de la exportación.

Merece la pena incidir en la posible demanda de aerogeneradores *off shore* y la posibilidad de su construcción en astilleros. En toda Europa los astilleros se encuentran en crisis por falta de pedidos, los españoles no son una excepción; los entornos de Ferrol y Cádiz

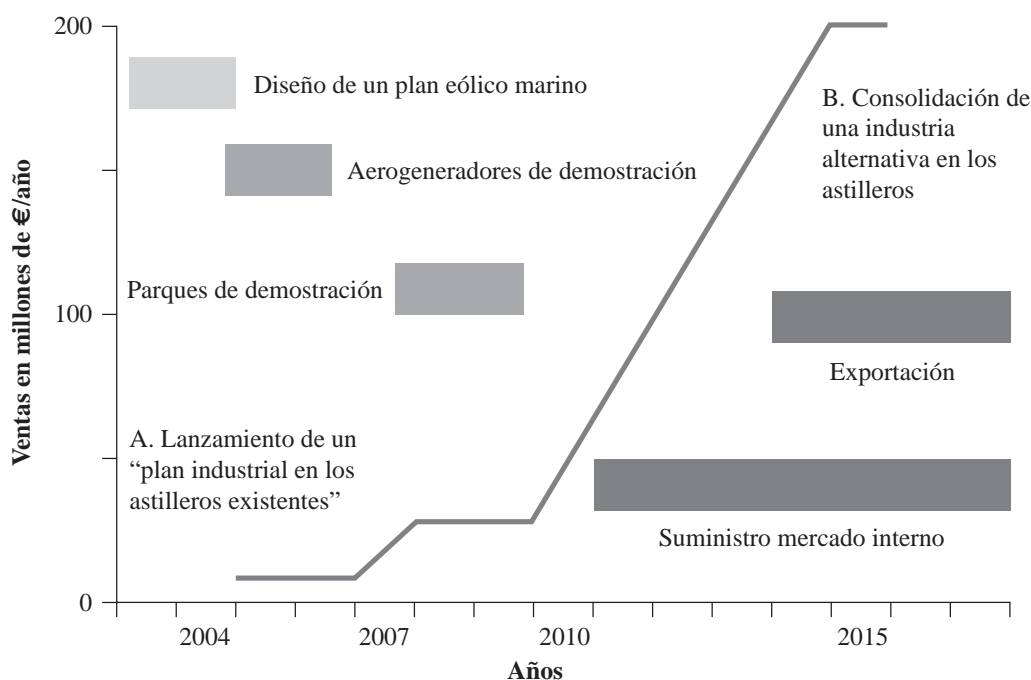
sufren con demasiada intensidad el problema del paro. La realización de un esfuerzo en ambas zonas para que la reconversión industrial tuviera en cuenta la energía eólica marina debería merecer el apoyo de las Administraciones de las Comunidades Autónomas correspondientes y de la Administración Central del Estado.

En el Gráfico 12 se da un esquema de un posible avance en esta línea. La empresa IZAR ya fabrica aerogeneradores con tecnología BONUS, que es la utilizada en un parque marino de demostración en Dinamarca.

La tecnología eólica, y otras complementarias, avanzarán previsiblemente en las siguientes líneas:

- mejora de aerogeneradores, aumento de potencia, incremento del rendimiento energético y mayor calidad de la electricidad vertida a red (Feijoo, 1998);
- desarrollo de tecnologías para almacenar electricidad en los parques eólicos y su vertido regulado a la red eléctrica;
- tecnología de producción, almacenamiento y utilización de hidrógeno, en especial con destino a la automoción.

Gráfico 12. Esquema de reconversión parcial de astilleros a eólica



Es, asimismo, importante el diálogo con las empresas energéticas. Iberdrola y EHN, entre las grandes y medias, han mostrado un claro interés por la opción eólica. Existe una agrupación de pequeñas empresas promotoras, APPA, muy activa. De ellas, en última instancia, ha de venir la aportación de capital para el desarrollo de parques y, finalmente, de la industria.

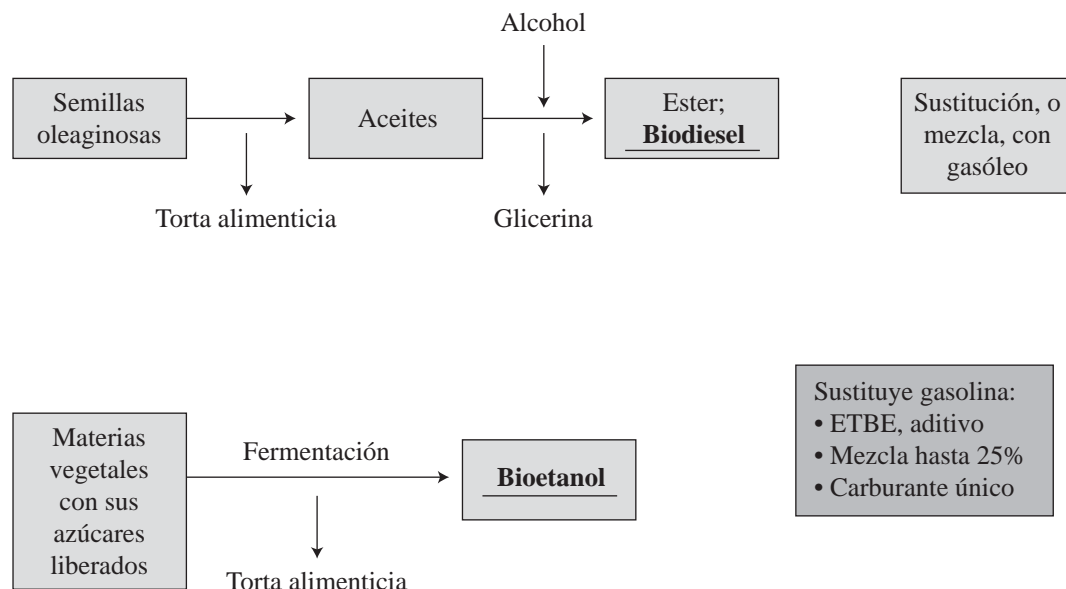
3. Biocombustibles líquidos

3.1 Alcoholes y aceites

La materia vegetal es susceptible de transformarse, parcialmente, en aceites o en alcoholes y estos pueden sustituir al gasóleo o a la gasolina. Son la primera opción que ofrecen las energías renovables para reducir el uso de los hidrocarburos, o sus derivados, en automoción, con tecnologías que ya están probadas y en uso (CIEMAT, 2003). El Gráfico 13 muestra las dos vías comerciales de producción y uso de biocombustibles líquidos.

De las semillas oleaginosas se extrae aceite y queda una torta residual que puede ser una materia alimenticia para el ganado. En la actualidad tiene más valor al no ser aprovechables otros productos, como los residuos animales en forma de “harinas cárnicas”. El

Gráfico 13. Procesos de obtención y uso de biocombustibles



aceite se mezcla con alcohol y, mediante un proceso de esterificación, se obtiene un combustible, biodiesel, y un subproducto, la glicerina, que es una materia apreciada en cosmética, pero cuya demanda mundial es moderada en comparación con la potencial producción que se derivaría del desarrollo de la industria de biocombustibles. El biodiesel sustituye al gasóleo de automoción de forma parcial, en mezcla, o total.

Los aceites utilizables en la obtención de biodiesel son, en teoría, todos, aunque el de colza está muy extendido, por ejemplo en Austria; el girasol es otra opción considerada en países como Francia o España. En otros países, como Argentina, se plantea el uso del de soja, aunque considerando la posibilidad de crear al respecto un mercado internacional de semillas o, eventualmente, de aceite, lo que puede chocar con la cultura inicial de las energías renovables, de desarrollo equilibrado, autóctono y sostenible en todos los países.

Los azúcares de las plantas pueden ser transformados fácilmente en alcohol por fermentación partiendo de la caña de azúcar. Pero también los granos de cereal se fermentan, tras un proceso de hidrólisis, para obtener alcohol; en este proceso queda una torta residual que vuelve a ser un potencial producto alimenticio para ganado. Ese alcohol es etanol o bioetanol, que puede sustituir total o parcialmente a la gasolina:

- **ETBE.** Es un compuesto orgánico, derivado del etanol, que se utiliza como aditivo para incrementar el grado de octanaje de la gasolina, al igual que se hace con el MTBE, compuesto derivado del metanol. Ambos sustituyen en esta aplicación a las sales de plomo clásicas, hoy en desuso por razones ambientales debido a las emisiones de plomo. El ETBE presenta, respecto al MTBE, la ventaja de ser más estable ya que el metanol, a diferencia del etanol, se vaporiza a partir de unos 35°C y sus vapores afectan a las vías respiratorias y los órganos de la vista. Este uso del bioetanol puede suponer un nivel bajo, menor de un 5%, de sustitución efectiva de gasolina pero en Europa es ya un reto conseguir que toda la aditivación se haga ETBE.
- **Mezclas.** El etanol es un compuesto oxigenado. Es posible su adición directa a la gasolina, hasta porcentajes del 25%, siendo el comportamiento de los vehículos con esta mezcla similar al correspondiente a gasolina pura. Es una vía para conseguir un alto nivel de penetración del bioalcohol en el mercado; cada usuario se haría su mezcla en la estación de servicio, alternativa que ha comenzado a ensayarse ya en Suecia. En el caso de Europa no es factible una amplia extensión de esta solución, al menos con producción propia, por los límites de superficie cultivable disponible.
- **Combustible único.** Es la opción que se ha desarrollado en Brasil, donde la mitad del consumo de combustible de automoción llegó a ser sustituida por bioetanol; numerosos automóviles funcionan sólo con este carburante, con ciertas adaptaciones en el motor de los mismos. No es factible pensar en esta solución en Europa dado que sólo es factible en países con amplias superficies de cultivo y poca demanda.

3.2 Aspectos económicos

El uso de biocombustibles líquidos para sustituir a los derivados del petróleo supone ciertas consideraciones y modificaciones en el esquema de precios:

- los derivados del petróleo tienen un precio de orden de magnitud un €/litro, en el cual dos terceras partes son impuestos, automoción e IVA, y una tercera parte es coste de la transformación del petróleo a gasolina o gasóleo;
- los biocombustibles líquidos tienen un coste de producción de algo menos de un €/litro. El poder calorífico de estos biocombustibles es inferior al de la gasolina o al gasóleo, aunque el consumo energético específico es también menor con biocombustibles; la razón de sustitución que se considera más habitual es de 1,1 litros de biocombustible por litro de derivado del petróleo;
- en el uso de bioetanol como ETBE para la aditivación de la gasolina es preciso llegar a acuerdos con las refinerías de petróleo para su compra con bajo nivel de impuestos;
- la utilización del biodiesel en flotas cautivas obliga a la aprobación de un proyecto de producción y uso en el cual se retiren los impuestos de automoción;
- la hipotética venta directa de biocombustibles líquidos en estaciones de servicio obliga a no cargar a estos con los impuestos de automoción.

El esquema general es que los biocombustibles líquidos han de ser “detasados”, es decir: no tendrían que incorporar en su precio final el impuesto de automoción o, en todo caso, sólo una parte pequeña del mismo. La hacienda pública dejaría de percibir ese ingreso que en algunos países, como España, se acerca al 4% del global del Presupuesto General del Estado. La sustitución de un 6% de los combustibles de automoción, tal como se ha aprobado en los objetivos de la Comisión Europea para el fomento de las energías renovables, podría incidir en una reducción equivalente de la partida de ingresos por impuestos de automoción; se estima una reducción inferior al 0,2% del total de los Presupuestos Generales del Estado.

3.3 Agricultura energética en España

En nuestro país las condiciones para el desarrollo de la biomasa vegetal no son tan buenas como en otros, Francia, Finlandia o Austria; no disponemos de amplias superficies cultivables en las cuales haya una adecuada pluviosidad ni las áreas boscosas de una buena parte del país tienen elevados ratios de crecimiento maderero. Esto obliga a un análisis

en cada Comunidad Autónoma para conocer en qué condiciones es posible disponer de materias primas residuales o de cultivos energéticos, que en cualquier caso hay que considerar como una opción de futuro en razón de las nuevas reglamentaciones que introduce la Política Agrícola Común, PAC, de la Unión Europea (Fernández, 2000).

a) La productividad de cereales es baja, en tierra de secano del orden de 3.000 kg/Ha, lo que significa que se pueden obtener, por ejemplo, 500 a 700 litros de bioetanol por Ha. El empleo de tierras de regadío para este cultivo no parece una solución aconsejable. Queda el residuo de la paja del cereal que hoy sólo es utilizable energéticamente para generar electricidad pues para obtener alcohol de él se precisan nuevas tecnologías.

b) La producción de semillas oleaginosas, girasol, soja o colza, se encuentra en una situación parecida a la anterior, de baja productividad de semillas en los campos de cultivo, lo que se traduce en una reducida capacidad de obtención del biodiesel por Ha.

c) En las tierras de regadío que vayan siendo retiradas por efecto de la PAC es posible cultivar otras materias vegetales como, por ejemplo, patata, que es un tubérculo de la familia de la patata, pero de muy elevada productividad. Esta puede llegar a ser de hasta 50.000 kg/Ha, lo que significa obtener de 3.000 a 5.000 litros de etanol por Ha. El proceso de obtención de bioetanol de patata es más complejo que el de cereal.

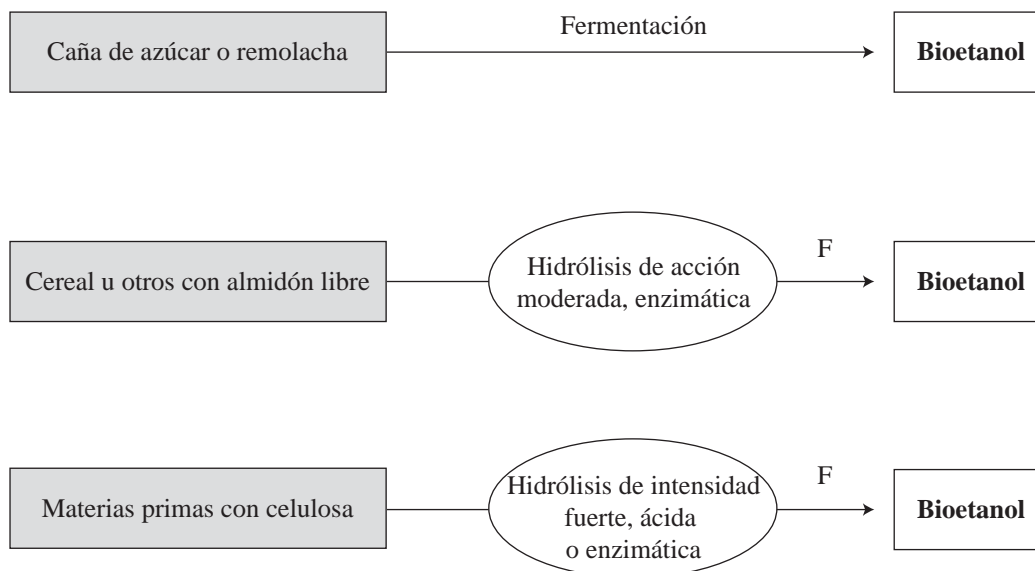
Se han realizado ensayos de cultivos energéticos en diferentes Comunidades Autónomas a partir de trabajos de las universidades correspondientes o de la Escuela de Ingenieros Agrónomos de Madrid, donde el profesor Jesús Fernández, citado en la bibliografía, es pionero en esta materia. El interés de los cultivos energéticos y, por extensión, la recuperación de materias residuales se une directamente a las posibilidades de creación de empleo que, en el caso de la biomasa, son mayores que en otras alternativas renovables y además conectan directamente con el mundo rural (Menéndez, 2001).

3.4 Otras materias primas

La patata es una materia prima atípica en los procesos de obtención de bioetanol; lo es también la paja. Ambas se han contemplado en posibles proyectos: la primera en León y la segunda, con un estado más avanzado de definición de la instalación pero sin decidir todavía el proceso correspondiente —que también será necesariamente más complejo que el correspondiente a los cereales o a la caña de azúcar—, en Salamanca.

Avanzando en esta línea de apertura a otras materias primas cabe considerar las de tipo leñoso. Se trata, principalmente, de residuos forestales o cultivos energéticos diversos, desde cardos a otros arbóreos con alto contenido en celulosa o hemicelulosa, así la disponibilidad de materia prima pudiera ser bastante amplia. El CIEMAT ya trabaja en estos procesos que, por

Gráfico 14. Procesos de obtención de bioetanol



un lado, abren el campo de producción de biocombustibles líquidos y, por otro, dan más valor añadido al esquema de uso de las biomásas correspondientes que si se destinaran a generación de electricidad. El Gráfico 14 muestra cómo se hacen progresivamente complejos los procesos a medida que se van utilizando ciertas materias primas.

En el caso de las semillas oleaginosas aparece una potencial “materia prima”, el aceite frito usado, un residuo de difícil utilización que puede ser dirigido a la producción de biodiesel. Ya hay algunas plantas de pequeñas dimensiones trabajando en Cataluña, en Madrid y en el País Vasco, lugares donde hay una concentración de consumo y donde se han establecido cauces de recogida de esos aceites usados.

3.5 Mercado internacional de semillas y de biocombustibles

Las energías renovables acabarán siendo un vector energético globalizado; muchos países tienen recursos escasos comparados con su población y demanda energética. Europa, en general, no dispone de espacio para atender las necesidades de sus habitantes con energías renovables. En el capítulo anterior ya se abogó por la producción de hidrógeno en los espacios eólicos amplios, lo que no debiera introducir rechazo social ni cuestiones in-

salvables de justa relación entre países. La producción de semillas y de biocombustibles para comercio internacional abre en cambio un campo de discusión:

- algunos países lo ven como una vía para poder exportar sus producciones agrícolas y así mejorar sus menguadas economías;
- es un paso hacia los monocultivos que degradan la tierra y afectan a la biodiversidad.

Las experiencias con otros cultivos, cacao, azúcar, o café, muestran factores negativos, de caída de precio y ruina de los agricultores, de pérdida de propiedad de la tierra por los campesinos pequeños, etc. Por ello, este autor reclama una discusión en la Unión Europea, donde se ha fijado el objetivo del 6% de combustibles de automoción, para llegar a un pacto de honor que respete las condiciones que sean más adecuadas para el desarrollo sostenible global. En ese sentido se apuntan las siguientes ideas:

a) Conveniencia de que la Unión Europea cree una entidad que regule y controle el mercado de biocombustibles; en especial lo relacionado con el comercio internacional.

b) Favorecer la importación desde países en vías de desarrollo de biocombustibles líquidos frente a semillas. El valor añadido de los biocombustibles quedaría en los países de origen. Los biocombustibles se deberían pagar al precio que tienen en Europa los combustibles sustituidos. La construcción de las plantas de proceso en esos países debería ser financiada en buenas condiciones desde la Unión Europea.

c) Evitar el comercio desde países donde se esté explotando a los agricultores o donde se estén realizando cultivos y actividades conexas que deterioren el medio ambiente.

3.6 Tecnología e industria

En España se dispone de dos plantas de producción de bioetanol diseñadas para tratar cereal, cebada y trigo, con una capacidad unitaria de algo más de 100 millones de litros anuales, ubicadas en las cercanías de los puertos de Cartagena y Ferrol. Existe el proyecto de una tercera en Salamanca, con una capacidad de 200 millones de litros año, similar a las anteriores, pero que, posiblemente, introduzca una línea de demostración para la transformación de paja en etanol. Las plantas han sido construidas por la firma Abengoa utilizando tecnología de proceso norteamericana con apoyo de ingeniería e investigación aplicada española. Esta empresa parece haber tomado esta línea de trabajo en energías renovables como una opción de desarrollo a futuro.

En la transformación de aceites usados hay tres pequeñas instalaciones de demostración, en País Vasco, Cataluña y Madrid; se propone una cuarta en Castilla-La Mancha y pu-

dieran construirse algunas más. La viabilidad de cultivos de oleaginosas en tierras de secano para producción de biodiesel no se ve en la actualidad como una opción muy competitiva.

El objetivo del Plan de Fomento de las Energías Renovables en España era obtener 500.000 tep en el año 2010. Con las instalaciones arriba citadas se llega, aproximadamente, a la mitad del objetivo. Es previsible que se construyan algunas instalaciones más, fundamentalmente de bioetanol, y se llegue al nivel del objetivo.

En desarrollo tecnológico hay varios grupos de trabajo en Universidades como, por ejemplo, las de Córdoba o Santiago, y un área de investigación específica en el CIEMAT, en la cual, entre otras actividades, se desarrollan procesos de obtención de bioetanol a partir de un amplio rango de materias primas, entre ellas las que más arriba se han citado, celulósicas y hemicelulósicas.

El CIEMAT participa en proyectos de I+D en programas europeos y conecta con otros como el proyecto puntero en el mundo en este campo que promueve DOE en Estados Unidos. Su línea de investigación es muy interesante, desarrollando procesos de hidrólisis aplicables a un amplio rango de materias primas; los resultados pueden aplicarse a materias nacionales o servir de base para colaboraciones con terceros países.

Aquí radica una oportunidad clara de disponer de tecnología adecuada a la consecución del objetivo europeo, 6% de los combustibles de automoción, del cual estamos tan alejados. Su aplicación a residuos leñosos, limpieza de bosques y a cultivos de materias tipo cardo u otras arbóreas, es quizás la única oportunidad de cumplir el compromiso europeo con materias primas de producción nacional o al menos acercarnos a él. En este documento se apuesta por esta solución más que por la generación de electricidad ya que hay otras vías de obtener electricidad a partir de energías renovables y, además, el valor añadido de los biocombustibles es mayor que el de la electricidad.

Por ello, para poder avanzar en esas líneas es conveniente una reflexión al respecto, una coordinación entre empresas y el CIEMAT, con la participación de los grupos universitarios que trabajan en cada entorno, y la presencia decidida de las administraciones autonómicas y la administración central, lo que, ineludiblemente, repercutiría en la creación de empleo y el aumento de ingresos económicos en el entorno rural.

4. Energía solar termoeléctrica

4.1 Objetivos y posibilidades energéticas

El Plan de Fomento de las Energías Renovables en España propone que en el año 2010 la potencia instalada de energía solar de alta temperatura sea de 200 MW. Recientemente se ha aprobado una prima de 12 cts. de €/kWh a la electricidad producida con estas plantas, lo que debiera hacer viables las instalaciones aunque no se alcanzara el nivel de rentabilidad de los parques eólicos. En la práctica no se observa un interés empresarial significativo hacia la construcción de este tipo de instalaciones, aunque hay proyectos sobre el papel.

Las plantas de este tipo pueden ser independientes de otras opciones de generación o ser diseños híbridos acoplados a otras instalaciones de producción termoeléctrica. En el actual esquema de desarrollo del sistema de generación eléctrica en España los grupos solares de alta temperatura deberían tener encaje en las centrales de ciclo combinado como complemento para incrementar la generación eléctrica a las horas de mediodía, en las cuales hay una punta de demanda de electricidad y otra de gas. Pero las actuales propuestas de instalaciones de ciclo combinado no incluyen terreno disponible para los campos solares y las empresas no consideran por el momento esta opción.

Construir instalaciones solares independientes de pequeña potencia, unas decenas de MW, conectadas a red es una opción posible en diferentes localizaciones del Sur y del Este del país. Para ello es preciso contar con emplazamientos que dispongan de agua de refrigeración, lo cual no siempre coincide con áreas de importante radiación solar. Es una solución más barata que la fotovoltaica y que debería dirigirse a cubrir la punta de demanda de mediodía. Siguiendo este criterio de cubrir puntas de mediodía es posible pensar en atender entre un 3 y un 5% de la demanda anual de electricidad, lo que puede suponer de 10.000 a 15.000 GWh anuales, para lo cual sería preciso instalar entre 800 y 1.200 MW. El total de primas a pagar por esa electricidad sería de 1.200 a 1.800 millones de € anuales, cifra significativa, pero asumible para los consumidores de electricidad en especial si se asocia a demandas que no sean de primera necesidad como, por ejemplo, el aire acondicionado.

La extensión de la tecnología a otros países, en particular a los del Norte de Africa, no es fácil. Si bien tienen recurso solar en mayor cantidad que nosotros, no disponen de capa-

ciudades financieras para construir las instalaciones ni para absorber los costes suplementarios de generación. No obstante, es previsible que en un par de décadas el actual coste de generación con este tipo de instalaciones sea equiparable al correspondiente al de los combustibles fósiles, siempre y cuando a estos se les grave por los costes ambientales.

El hecho de que el Plan de Fomento sólo haya previsto un objetivo de 200 MW para el año 2010, junto con lo expuesto en párrafos anteriores, es muestra de que no existe una conjunción de intereses que empuje hacia el desarrollo de esta tecnología. Aunque la opción es buena, se dispone de capacidad tecnológica e industrial en nuestro país y pudiera tener una fuerte expansión en un par de décadas aquí y en otros países, en este documento no se va a hacer una apuesta específica de acciones significativas al respecto.

4.2 Industria y tecnología española

En España hay capacidad industrial para construir este tipo de plantas; se mostró en el desarrollo de la Plataforma Solar de Almería y en alguna exportación posterior de componentes, por ejemplo a Israel. Es posible, por lo tanto, aunar un desarrollo energético en esta línea solar con una consolidación industrial que, de momento, sólo tendría el mercado español como campo de acción. Aunque aparezcan dudas sobre la conveniencia de fomentar ese desarrollo, merece la pena analizar las posibilidades al respecto, qué tipo de respuestas empresariales y autonómicas se tendrían, y las perspectivas de colaboración en el futuro con terceros países. La situación de Andalucía es interesante en este contexto, no sólo por disponer de la PSA sino por sus proyecciones hacia países del Sur del Mediterráneo y otras áreas (Ruiz, 2002).

La tecnología debe evolucionar aunque, por su concepción, no se pueden esperar cambios muy significativos ni en mejora de la eficiencia energética ni en una considerable reducción de los costes de inversión. Por ello, es una alternativa cuyo horizonte de costes de generación se sitúa, en el mejor de los casos, entre 15 y 12 cts. €/kWh, tres veces superiores a los de la energía eólica pero interesantes en razón del amplio recurso solar.

La opción disco *stirling*, ya descrita en el capítulo 1, puede evolucionar hacia niveles de costes de generación de electricidad similares a la anterior, pero con la ventaja de su instalación modular y sin la necesidad de agua de refrigeración. Se puede pensar en parques de parábolas en zonas de solana en numerosos municipios, así como en la instalación minoritaria en áreas del Tercer Mundo que debieran acceder a la electricidad. En España no se cuenta con experiencia industrial al respecto y desarrollarla desde pequeñas empresas no es fácil. La opción de nuestro país es ubicar aquí alguna empresa foránea; las empresas de aeronáutica, por su conocimiento del mundo de los materiales, se han mostrado interesadas en el tema. Las razones para la oferta española se unirían a:

- disponibilidad de emplazamientos para parques de parábolas solares y existencia de una prima de 12 cts. de € aplicable a esas instalaciones;
- experiencia ligada a la PSA, donde están operativas tres parábolas disco *stirling*, y conexión con mercados de otros países en vías de desarrollo.

Cualquier propuesta al respecto merecería una aceptación en primera instancia y un posterior trabajo de análisis y definición de un proyecto industrial y tecnológico que podría tener una amplia proyección hacia el mercado español y sobre todo de cara a la exportación.

5. Energía fotovoltaica

5.1 Aspectos generales

En la actualidad es una opción minoritaria en lo que se refiere a aportación de energía al sistema global. Tiene dos tipos de aplicaciones básicas, muy diferenciados entre sí:

- Electricidad para quien no la tiene. Se trata de demandas muy bajas energéticamente hablando: iluminación en una vivienda, refrigeración para los medicamentos en un centro sanitario aislado, alimentación de una radio para una comunidad rural o posibilidad de riego mínimo en cultivos imprescindibles. En estos casos la electricidad no tiene el coste convencional a que estamos acostumbrados en el primer mundo; se trata de tener o no tener, no de lujuria energética. Las tres cuartas partes de la producción mundial de módulos fotovoltaicos se destina a este segmento de uso mediante diferentes programas de ayuda al desarrollo.
- Electricidad en los países ricos. Son aplicaciones aisladas para usuarios que no se pueden conectar a red, básicamente por la lejanía del punto de conexión, o bien aquellas manifestaciones a favor de las energías limpias de personas o entidades que disponiendo de una conexión a la red prefieren contar, además, con una instalación de energía fotovoltaica. Recientemente se han propuesto plantas de mayor potencia emplazadas y diseñadas para optimizar la eficiencia energética, algunas de las cuales ya se han construido en diferentes países, entre ellos España.

La fabricación mundial de módulos fotovoltaicos crece de forma continuada; en el año 2002 se ha alcanzado una producción de 515 MW. No obstante, existen otros datos que se pudieran considerar contradictorios:

- ventas por valor de 3.000 millones de euros anuales;
- producción de electricidad que supone, únicamente, el 0,005% de la demanda mundial.

De ello se deduce que en el análisis que se propone a lo largo de estas páginas debe tenerse en cuenta, por un lado, la fuerte inversión que demanda la energía fotovoltaica y, por otro, la necesidad de un gran desarrollo tecnológico para que llegue a ser una opción energética

industrial. Pero esta es la línea por la que apuestan numerosos científicos y organismos energéticos, como el ya citado Electrical Power Research Institute (EPRI, 1999), que esperan una ruptura tecnológica en un par de décadas.

En este contexto hay que citar que España está a la cabeza europea en la fabricación de módulos, de los que produce un 10% del total mundial, pese a que nuestra potencia instalada sea muy baja, algo menos de 20 MW. El Plan de Fomento de las Energías Renovables en España propone llegar a 135 MW en el año 2010, pero, tal como evolucionan las cosas, no parece que se vaya a cumplir el objetivo. Somos un país exportador de módulos fotovoltaicos.

Las instalaciones de energía fotovoltaica de menos de 5 kW de potencia que se conectan a la red reciben una prima de 36 cts. €/kWh por vertido a la red. Las de potencia por encima de 5 kW reciben una prima de 18 cts.€/kWh. Las instalaciones de menos de 5 kW recuperan su inversión en una docena de años, son poco atractivas económicamente hablando pero se construyen por criterios ambientales en cuatro tipos de instalaciones:

- Para suministro de electricidad en viviendas o aplicaciones aisladas. En estos casos a veces el análisis económico resulta positivo. Son sistemas de muy pequeña potencia.
- Instalaciones de propietarios privados que ven la posibilidad de que sus viviendas dispongan de una fuente de electricidad limpia, aunque conectada a la red ya que en estos casos la producción se vende a la red con la prima antes citada. Son instalaciones de menos de 5 kW.
- Instalaciones en edificios de uso público, escuelas u hoteles, que entran en programas de promoción de esta energía o valoran el efecto comercial que tiene una instalación de electricidad limpia. La potencia unitaria no suele sobrepasar los 5 kW.
- Plantas de potencia, en torno a 1 MW, instaladas por empresas o instituciones que buscan el desarrollo de esta energía y que se han acogido, en su mayoría, a algún esquema de ayuda económica al respecto.

Alemania es, entre los países desarrollados, el país que ha tomado una mayor iniciativa en la expansión de la energía fotovoltaica. En la actualidad se instala en viviendas y en edificios de uso público con el objetivo de defender y promocionar una energía limpia, pero se ha planteado disponer de 20.000 MW en el año 2020, lo que supone un desafío tecnológico y energético a tener en cuenta.

En el capítulo 1, en el Gráfico 7, se proponía que España alcanzara 60.000 MW en el año 2040, lo cual supondría un 20% de la demanda de electricidad previsible para esas fechas. Esta apuesta sólo se concibe si hay un cambio tecnológico significativo que implique una fuerte reducción de la inversión específica; de no ser así nos encontraríamos

con unos parámetros económicos no asumibles fácilmente. La inversión total a realizar, sin cambios tecnológicos, sería de unos 300.000 millones de € en unos treinta años, es decir: una inversión anual similar a la que requiere en la actualidad todo el sistema energético.

En este documento se propone un plan de trabajo que permita a España participar en la evolución tecnológica internacional que previsiblemente nos va a llevar, en un par de décadas, a nuevas soluciones que harán de la energía fotovoltaica una alternativa mayoritaria en el sistema de las energías renovables (Johansson, 1992).

5.2 Industria española

Esa buena posición española, arriba citada, se basa en la actividad de tres empresas que suponen un millar de empleos de buen nivel de cualificación y que, además, tienen planes significativos de expansión. Hay que señalar que más del 80% de su producción se exporta a países europeos, como Alemania, lo que es un síntoma de la calidad con la que trabajan o, a través de programas de ayuda al desarrollo, a otros países menos favorecidos.

- Isofotón nace ligada a la Universidad Politécnica de Madrid y se ubica en Málaga. Ha crecido de forma progresiva en la última década estableciendo, además, instalaciones en otros países como, entre otros, Cuba y Filipinas. Hoy es la mayor fábrica de Europa y camina, previsiblemente, hacia una capacidad de producción a lo largo de esta década que superará los 50 MW anuales.
- BP Solarex es una empresa del fusionado grupo petrolero BP Amoco que se estableció en Madrid hace años como BP Solar y luego se amplió a BP Solarex al fusionarse BP y Amoco; con ello ha consolidado una fábrica aquí y una posición más amplia en el mercado mundial, donde ocupa la segunda plaza detrás de la japonesa Sharp. Está ampliando sensiblemente su capacidad de producción en España y previsiblemente sobrepasará los 100 MW en pocos años.
- ATERSA está ligada a la empresa norteamericana Astra. Se ubica en Valencia y es la de más reciente creación. Está consiguiendo un buen afianzamiento industrial y en el mercado.

El grupo vasco Gamesa también se ha introducido en esta línea de energías renovables con una pequeña instalación en Sevilla. En conjunto, la industria española podría tener en el año 2010 una capacidad de producción de unos 300 MW frente a una capacidad mundial que podría situarse en unos 3.000 MW, lo que supondría mantener ese ratio del 10% de la producción total que, repetimos, es muy bueno.

Para asegurar la pervivencia y la extensión de la industria fotovoltaica, incluyendo la mejora tecnológica, es particularmente necesario, además de que se vendan paneles en el mercado mundial, que se vendan en España. Es conveniente un cambio en la forma de promover esta energía; el actual sistema de primas a instalaciones de menos de 5 kW de potencia no despierta un interés social amplio.

Una alternativa que se propone desde diferentes sectores, entre ellos los ecologistas, es que se construyan plantas multipropiedad con bajos niveles de inversión individual para ampliar el sector de población que puede colaborar en el desarrollo de esta alternativa. Las plantas ubicadas en espacios escogidos para ello, en municipios de alta insolación, tendrán un mayor número de horas equivalentes de recuperación de energía solar y, además, permitirán ahorrar en la inversión total y específica por economía de escala.

Esta alternativa no soluciona todos los problemas de falta de mercado. No obstante, desde la Administración del Estado se debieran extender las primas y subvenciones hacia estas propuestas, siempre y cuando sean de promoción social y en especial si participan en las propuestas organizaciones sociales, municipios u otras entidades capaces de movilizar un apoyo de la sociedad a esta energía.

La integración de la energía fotovoltaica en edificios desde su concepción inicial, con paneles convencionales o con diseños arquitectónicos específicos, es otra opción que promueven algunas administraciones locales o autonómicas y que puede extenderse progresivamente.

Así se conseguiría mantener en España un buen ritmo propio de instalación de sistemas fotovoltaicos, necesario para conseguir que la industria se desarrolle con buenos parámetros económicos, de forma que sea factible el cambio tecnológico que se propone en este documento.

5.3 Tecnología e I+D en España

En España existen más de veinte grupos de investigación, algunos en primera línea europea y mundial, a pesar de lo cual y aunque a veces se cita que esta actividad es prioritaria o debe serlo en nuestro país, nunca ha habido un apoyo claro y amplio a las actividades de I+D fotovoltaica en los diferentes planes nacionales de investigación (CIEMAT, 2003). Entre esos grupos hay que resaltar dos:

- IES-UPM, Instituto de Energía Solar en la Universidad Politécnica de Madrid, impulsado por el Profesor Antonio Luque. Es considerado uno de los primeros en Europa tanto en el tiempo como por la calidad de su actividad de I+D en todas las áreas de la energía fotovoltaica. Tiene una buena relación con las empresas industriales y con otros

centros de investigación y participa en proyectos europeos recabando fondos económicos de los Programas Marco de la Comisión Europea.

- Departamento de Energías Renovables del CIEMAT. Las actividades de I+D se han extendido a diferentes áreas tecnológicas tanto en sus propios laboratorios como mediante la colaboración con proyectos industriales españoles e internacionales. Participa de forma destacada en los programas de la Comisión Europea.

Las propuestas de desarrollo tecnológico en el conjunto de la energía fotovoltaica se dirigen hacia varias líneas de trabajo, que se analizan a continuación, y que se pueden resumir tentativamente en un esquema como el de la Tabla 4, basado en diferentes documentos discutidos en foros internacionales (Luque, 2001).

- **Mejora de la tecnología actual.** Línea en la que trabajan empresas e institutos. Se dirige hacia los propios módulos incrementando su eficiencia y reduciendo el coste por mejora del proceso productivo. La célula Saturno de BP Solarex es un hito en esta línea. También se incluye en este concepto el desarrollo de las tecnologías de lámina delgada, que reducen de forma significativa la cantidad de material fotovoltaico para una determinada potencia; los trabajos del CIEMAT al respecto son muy interesantes. La integración de la energía fotovoltaica en la edificación es una opción de diseño que encaja en todo este movimiento y que permite seguir aumentando el conocimiento y animar a su utilización progresiva.
- **Tecnología silicio.** Este material proviene de la misma línea de fabricación que el de uso electrónico, lo que supone una limitación seria en la disponibilidad de materia prima. Ya se trabaja en nuevos procesos de fabricación independientes, que no se han con-

Tabla 4. Evolución posible de la energía fotovoltaica

Objetivos A nivel mundial	Hasta el año 2015	Desde 2015 a 2030	Hasta el año 2050
• Nivel de producción al final del período	5.000 MW/a	15.000 MW/a	100.000 MW/a
• Potencia instalada	30.000 MW	180.000 MW	2.000 GW
• Inversión objetivo	3,5 €/Wp	2.000 €/kWp	1.000 €/kWp
• Áreas de actuación tecnológica	<ul style="list-style-type: none"> • Módulos actuales: procesos de fabricación y mejora de rendimiento • I+D: materiales, concentración, nanoprocesos. etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nuevos módulos • Concentración • Almacenamiento de electricidad • Producción de hidrógeno. Varias opciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Se supone que se habrá producido una ruptura o cambio tecnológico amplio al final del periodo anterior

solidado, y que pretenden conseguir una alta pureza de producto, lo que se denomina “nueve nueves”, así como un adecuado crecimiento de cristales. En el momento actual, para consolidar el crecimiento de la industria fotovoltaica sería preciso conseguir cuanto antes este nuevo silicio, necesario para garantizar el crecimiento y la continuidad de esta industria.

- **Nuevos materiales.** Es preciso conseguir materiales que den rendimientos de transformación de la energía solar muy por encima de los rendimientos actuales del silicio, 10 a 18%. Las combinaciones de diferentes elementos como galio, selenio, telurio, indio y otros, han mostrado que se pueden fijar objetivos por encima del 40%; ya se ha conseguido el 35% en los laboratorios del IES. Supondrían un salto importante en la tecnología fotovoltaica que permitiría reducir la inversión específica de forma significativa.
- **Concentración.** Se trata de hacer incidir un número elevado de soles, el resultado de la concentración de la radiación solar sobre una superficie amplia sobre una misma célula fotovoltaica, con el fin de demandar menos superficie de material fotovoltaico, a la vez que se consigue una menor ocupación de espacio y se reduce la necesidad de estructuras de apoyo. Los trabajos de óptica para conseguir esto tienen ya un desarrollo muy interesante en IES e Isofotón. Se iría así a disminuir sensiblemente la inversión específica; con esta solución y la anterior se debería llegar a que el coste de generación de electricidad fuera menor de la mitad del actual. El objetivo final de esta línea de trabajo, que será difícil de alcanzar, sería situarse en 18 cts. €/kWh.

Si se logra este objetivo, entre el año 2025 y el año 2050 se podría dar un cambio fundamental al sistema eléctrico ya que con ese coste de generación sería posible plantearse la sustitución a gran escala de otras alternativas de producción eléctrica hoy consideradas convencionales.

- **Ruptura tecnológica.** En todo este camino es posible que aparezcan opciones diferentes a las consideradas en principio; que se produzca el salto tecnológico que hay que buscar infatigablemente. Es posible pensar en llegar, así, a ratios de inversión específica por debajo de 1 €/Wp o, pensando en el gran desarrollo de la fotovoltaica a mediados de siglo, expresarlo como 1.000.000 €/MW.
- **Fotodescomposición.** Dentro del concepto de ruptura tecnológica hay que considerar la producción de hidrógeno mediante energía solar, porque la electricidad fotovoltaica se obtenga a bajo coste o porque se desarrollen tecnologías, hoy incipientes, de fotodescomposición del agua con ayuda de catalizadores o bacterias u otros microorganismos.

La respuesta española en este amplio campo debiera ser firme y consensuada. En este documento se hace una propuesta específica en el capítulo 7, basada en las siguientes consideraciones:

- se dispone de muy buenas capacidades de desarrollo de tecnología;
- hay una industria consolidada que se debe fijar en este país con vistas al futuro;
- la energía fotovoltaica es y sería una fuente de empleo industrial cualificado;
- es necesario incrementar las exportaciones hacia otros países y la colaboración con otros países.

El hecho de que la energía fotovoltaica sea un reto a largo plazo permite definir el plan contando con una amplia participación de los sectores involucrados y estableciendo, a lo largo de su vida, hitos de valoración y redefinición del mismo.

6. Otras opciones en energías renovables

Hay que caminar hacia una cultura de suma de vectores energéticos limpios, aunque sean pequeños. A continuación se hacen algunas observaciones sobre alternativas que precisan esfuerzos moderados en I+D, aunque no supongan aportes muy fuertes de energía primaria. Hay que señalar que son opciones tecnológicas que pueden extenderse a países en vías de desarrollo con los que España tiene relaciones comerciales o puede establecer cauces de colaboración. Por ello, el apoyo a la industria española en ciertos aspectos tecnológicos o en labores de promoción exterior es importante.

6.1 Minihidráulica

La tecnología está madura. Es posible la innovación en algunos nuevos tipos de turbinas, en especial para baja altura de salto, o máquinas sumergidas en la corriente; asimismo es factible la innovación en microturbinas. La industria española de equipos para minihidráulica está preparada para la exportación; estas instalaciones son una alternativa excelente para muchos países en vías de desarrollo ya que conllevan inversiones moderadas y su impacto ambiental no es significativo. Al mismo tiempo, el impacto social puede ser muy positivo para poblaciones o áreas no conectadas a red o con sistemas eléctricos poco desarrollados.

6.2 Eólica de pequeña potencia

Se encuentra en niveles avanzados de diseño y comercialización, pero puede seguir avanzando en la aplicación de nuevos materiales y en la reducción de costes de producción de equipos. Puede mejorar, también, en el almacenamiento de electricidad y en su retorno al consumidor. Los pequeños aerogeneradores se están abriendo camino en los países en vías de desarrollo en aplicaciones sin conexión a red o conectadas a redes de pequeña extensión; también se utiliza progresivamente en otros países, como el nuestro, para introducir electricidad en la red desde los consumidores o desde pequeñas instalaciones de generación, aspecto que debiera potenciarse. En España hay empresas muy competitivas, ya citadas en el capítulo 2, que han exportado miles de equipos a terceros países. Es necesario apoyar su desarrollo tecnológico y también, de forma especial, el acceso a los mercados internacionales donde encuentran su mejor campo de trabajo.

6.3 Biomasa

La recogida de leña para usos locales de calefacción tiene un mercado establecido. El precio de la misma al consumidor final se sitúa en el entorno de los 8 cts. de €/termia, es decir, por 1.000 kcal; el butano se vende a 16 cts. €/termia y el gasóleo de calefacción a unos 12 cts. €/termia. Esto muestra el interés de utilizar ciertas biomásas en pequeñas calderas de calefacción, por ejemplo en escuelas y otros edificios públicos o en hoteles rurales.

El uso de biomasa en generación de electricidad sólo puede pagar entre 1 y 2 cts. €/termia, lo cual es un indicativo claro de las dificultades de extender esta línea renovable aunque se mantengan las primas actuales.

En los aspectos tecnológicos de la utilización de biomasa como combustible, para calefacción o para generación de electricidad, hay diferentes grupos trabajando en actividades de desarrollo tecnológico tanto en institutos de investigación, como el de Lourizán en Pontevedra o el propio CIEMAT, como en Universidades, entre otras las de Santiago, Zaragoza y Córdoba. Es conveniente potenciar ciertas actividades de I+D para nuestro propio desarrollo energético, pero, también, por la capacidad de exportación de equipos e instalaciones completas. Estas líneas de trabajo son:

- estudios de cultivos energéticos adecuados a diferentes entornos geográficos;
- optimización de los sistemas de recogida y manejo de la biomasa;
- análisis de los impactos ambientales, en especial los unidos a los cultivos energéticos;
- diseño de equipos de calefacción de funcionamiento automatizado con biomasa;
- mejora en el diseño de las calderas de biomasa para generación de electricidad;
- estudio y diseño de gasificadores de pequeña potencia.

En los países en vías de desarrollo la biomasa puede suponer una alternativa de generación de electricidad. La oferta a esos países de plantas completas de generación de electricidad puede y debe ser una actividad a realizar desde nuestro país, en operaciones comerciales o en esquemas de ayuda al desarrollo, recibiendo el apoyo oficial necesario.

6.4 Energía solar de baja temperatura

Aunque la tecnología puede considerarse madura se sigue trabajando en la mejora de

materiales o diseños de sistemas a fin de calentar el agua a mayor temperatura. Estas actividades son importantes a efectos de extender las aplicaciones de la energía solar hacia la calefacción de edificios y para el aporte de calor en ciertos procesos industriales.

Las empresas españolas de fabricación de paneles tienen ante sí un mercado potencial muy amplio si se cumplen los objetivos del Plan de Fomento de las Energías Renovables en España, lo que debiera permitir el afianzamiento de esta industria que, en paralelo, debería ampliar su campo hacia la exportación directa o a través de programas españoles de ayuda al desarrollo.

7. Propuestas

7.1 Planteamiento

El desarrollo de las energías renovables en España y las acciones en I+D avanzan a ritmo moderado; mejor que en algunos otros países de nuestro entorno, pero con proyecciones de futuro menores de lo que sería preciso para llevar a cabo el cambio energético a largo plazo que, por las razones que se expusieron en el capítulo 1 y se vuelven a resumir más adelante, resulta tan necesario. Por ello, las propuestas que se hacen en este documento se dirigen hacia ordenar las actividades existentes en energías renovables y, sobre todo, a sumar otras que incluyen objetivos específicos de largo alcance.

Una penetración fuerte de las energías renovables choca con el actual sistema energético, distorsiona el esquema de generación obligando a que haya potencia convencional para suplir los periodos largos sin viento y, además, demanda capacidades de acumulación de energía mayores que las de las actuales presas de bombeo. Por ello, se hacen una serie de propuestas específicas de regulación del sistema energético que se recogen en el apartado siguiente

Volviendo a las tecnologías en energías renovables, que son el objeto básico de este documento, hay una primera reflexión a proponer: para que un país sea competitivo en el mundo industrial debe especializarse en determinados campos y, para ello, hay que analizar las ventajas comparativas con que cuenta a fin de hacer esa elección con visos de éxito. Ello no impide que se trabaje y avance en otros campos que no son objetivo prioritario de la propuesta base pero que, en algún momento, pueden dar oportunidades interesantes. Con esta idea se hacen las propuestas que se desarrollan más adelante y que básicamente se corresponden con la siguiente frase:

España debe tomar y reivindicar, como signo de diferencia o de marca respecto a otros países, las tecnologías solar fotovoltaica y la energía eólica.

En nuestro esquema energético e industrial parece necesario definir un Plan de Energías Renovables que, partiendo de la situación actual, dibuje cinco líneas coordinadas de trabajo:

- Esquema de diálogo social participativo sobre el modelo energético y lo que significan en él las energías renovables.

- Objetivos energéticos ambiciosos, pero posibles, en energías renovables; tanto en el horizonte cercano del año 2010 como de cara a un futuro más lejano. En este último caso ya se requieren, entre otras, acciones de I+D.
- Establecimiento de los mecanismos económicos y de las infraestructuras que faciliten la consecución de los objetivos energéticos que se detallan en el apartado siguiente.
- Acciones de I+D intensas, acordes con dichos objetivos pero también con la evolución industrial española y su posible presencia en el mundo.
- Programas de colaboración con terceros países, tanto con los que pueden ser receptores de tecnología e industria española como con aquellos que pudieran ser suministradores de vectores energéticos como el hidrógeno.

Este esquema parece implicar la creación de un organismo en el cual se apoye la coordinación y promoción de estas actividades. IDAE debiera ser esa institución que, continuando su línea actual de trabajo, se abriera a otra de promoción de I+D actuando de puente entre los Ministerios de Economía, del cual dependen la planificación energética y el propio IDAE, y el de Ciencia y Tecnología, del cual dependen los centros y las actividades de investigación.

A esos efectos, IDAE debiera estar dotada de los medios humanos y materiales adecuados y disponer de la capacidad de actuación consecuente con ello. Una de sus primeras actividades sería redefinir objetivos y líneas de actuación que debieran ser asumidos por la Administración Española, en particular por el Ministerio de Economía, el cual tendría que potenciarlos y no coartarlos, como a veces da la impresión de que ocurre en la actualidad.

Otra cuestión es “convencer” a las empresas para que apuesten por la tecnología propia y el desarrollo industrial. En este documento se han citado algunas empresas industriales que trabajan en energías renovables con muestras de vocación firme, tanto en energía eólica como en fotovoltaica; es preciso apoyarlas y sumar otras. Pero no debemos olvidar la tendencia española hacia el desarme industrial y a no invertir en tecnología; recientemente, el ministro del PP, Rodrigo Rato, se excusaba de no cumplir los objetivos españoles en I+D porque las empresas no dedican esfuerzos a ello, lo cual no le quita responsabilidad, se trata más bien de un hecho a gestionar con imaginación y constancia.

7.2 Propuestas energéticas

En el Plan de Energías Renovables se debiera pensar en alcanzar el objetivo de un 40% de energía primaria en el horizonte del año 2040. El actual objetivo de un 12% de energías renovables en el año 2010 no introduce especiales alteraciones en el sistema energético general pero el de más largo alcance obliga a cambios muy profundos. El plan

de I+D que se propone en estas páginas apunta más al medio plazo que al desarrollo energético de esta década.

Desarrollar las energías renovables de forma amplia es la opción que más puede incidir en reducir las emisiones de “gases de efecto invernadero” y su traslado al cambio climático. No olvidemos que España es uno de los países que más se aleja del cumplimiento de los compromisos de Kioto y que los pagos a terceros por esa situación, a partir del año 2008, pueden suponer una cifra entre 1.500 y 4.000 millones de €/a.

Al pensar en un fuerte desarrollo de las energías renovables surge el primer motivo de reflexión: las energías renovables tienen características diferentes en cada emplazamiento por lo que los costes de las mismas son distintos, lo que implica que no sea fácil mantener un sistema plenamente liberalizado para su valoración; con él se corre el riesgo de que los empresarios busquen las parcelas de mejor resultado económico, despreciando el resto y haciendo que así no se cumplan los objetivos.

En Europa existen ejemplos claros de defensa de parcelas de regulación del sistema energético por razones de seguridad de suministro; el caso francés es quizás el más significativo. Habría que establecer un diálogo en la Comisión Europea para dar a las energías renovables el tratamiento económico adecuado; el objetivo ambiental y de desarrollo equilibrado parece que así lo demandan. Ya la propia Comisión establece una proporción, 15% del suministro energético, como gestionable con criterios de cada país por razones de seguridad de suministro.

Pero aquí se está proponiendo algo más ambicioso: que se retorne a criterios de regulación más amplios y que estos afecten a las energías renovables. La liberalización del sistema energético ha mostrado muchos aspectos negativos; Enron y California no son más que un ejemplo de divulgación mediática. Por eso, aquí se está más de acuerdo con las ideas que, por ejemplo, se han manifestado en Londres alrededor de las propuestas de la London School of Economics, donde se valoró el papel del Estado en el suministro de servicios a los ciudadanos (Ortega, 2003).

El Estado Garante. Se insiste en la necesidad de que el Estado no sólo garantice esos servicios sociales: sanidad, educación, etc. sino los recursos necesarios y los resultados. La gestión puede ser privada, la garantía y el control públicos.

La extensión de los campos de actuación del “Estado Garante” a la energía es una propuesta ligada a:

- la elevada dependencia energética del exterior. Un 50% para la Unión Europea y un 75% para el caso de España;
- a la necesidad de incrementar la presencia de las energías renovables como medio de

lucha contra el cambio climático y como reducción de la demanda de hidrocarburos, cuya geopolítica ocasiona guerras de todos conocidas.

En un esquema de ese tipo sería posible dibujar objetivos parciales, en el tiempo y en las diferentes áreas energéticas, con los que se podría acudir al mercado empresarial, tanto el europeo global como español en particular, para así seleccionar los actores más adecuados estableciendo con ellos líneas de continuidad.

Es preciso recordar que Europa, y en ella España, tienen limitaciones en la disponibilidad de recursos renovables: viento y biomasa en superficie, y densidad energética o sol en lo relativo a la competitividad ligada a la intensidad de radiación solar. Por ello, pensar en un 40% de participación de las energías renovables obliga a contar con terceros países de los que, como mínimo, traer hidrógeno combustible.

El dibujo en detalle de ese 40% no es más que un ejercicio de aproximación; sólo sirve para darse cuenta de sobre qué se está hablando.

Energías renovables en España: 40% de la demanda en el año 2040

- Eólica terrestre y marina: 60.000 MW
- Hidrógeno propio: 15 a 20% de los combustibles de automoción
- Importación de hidrógeno: 20% al 25% de los combustibles de automoción
- Biocombustibles líquidos: 6% del consumo de combustibles de automoción
- Energía solar, previsiblemente fotovoltaica: 60.000 MW

Pero sí sirve para ver el esfuerzo que hay que realizar en I+D, en cambio de tecnologías de uso energético, en inversión en infraestructuras, etc. y para ver la importancia del diálogo y convencimiento de la sociedad sobre la presencia de parques eólicos o de otro tipo, o el soporte económico que se vaya a dar para equilibrar los costes empresariales en determinados casos.

Por ello, un primer tema urgente es la reflexión interna en las organizaciones sociales y los partidos políticos sobre qué es lo que necesitamos, a qué nos debemos comprometer y cuáles serán los costes de todo tipo, aparte de los beneficios de desarrollo industrial y creación de empleo que el Plan reportará.

7.3 Plan fotovoltaico

Las capacidades tecnológicas e industriales españolas en el área fotovoltaica son muy significativas, tal como se vio en capítulos anteriores. Esa situación no debiera perderse con el previsible salto de “ruptura o cambio tecnológico” que se adivina en dos o tres décadas. La energía solar debiera ser, en el futuro, un pilar en el abastecimiento de energía de origen renovable, tanto de electricidad como de hidrógeno.

La capacidad de fabricación de paneles fotovoltaicos en España es un décimo de la total mundial, mientras que en otras actividades industriales, de promedio, sólo representamos el 2%

En consecuencia, se propone el diseño de un plan en energía fotovoltaica de carácter amplio, con concreción a corto plazo, pero, también, con una visión de futuro que alcance el año 2025, plan que debiera incluir los siguientes conceptos:

- tecnologías de producción de electricidad. Reducción progresiva de costes;
- obtención de hidrógeno por electrólisis o, eventualmente, por fotodescomposición;

En un plan de este tipo habría que incluir el análisis de aspectos como:

- posibilidades energéticas en nuestro país y en otros con los cuales establecer líneas de colaboración;
- costes de la energía producida en diferentes escenarios y tiempos;
- necesidades y objetivos tecnológicos, a corto y medio plazo;
- posibilidades industriales, en España y en otros países;
- necesidades de esquemas de regulación energética;
- actuaciones de los centros de I+D. Labor de coordinación;
- costes económicos.

El plan debiera disponer de una estructura propia aunque se relacione con otras actividades en energías renovables. El director debiera ser una persona con capacidad y prestigio capacitada para afrontar la tarea, nada fácil, de coordinar a los diversos actores implicados, procedentes de las áreas tecnológica y empresarial y de las administraciones, tanto estatal como autonómicas.

El objetivo del plan sería fijar y desarrollar industria en España partiendo de la situación especial de este momento, que es buena y previsiblemente vaya a seguir desarrollándose pero que no tiene una fijación fuerte en nuestro esquema energético, lo cual puede debilitar a medio plazo esta opción. La energía fotovoltaica debiera ser una señal de identidad en la proyección española hacia otros países con los que hemos de colaborar y con los que ya tenemos relaciones comerciales significativas.

El desarrollo de la industria fotovoltaica podría seguir un primer esquema como el que se indica en la Tabla 5. En él se afianzan las actuaciones pasadas manteniendo una ele-

Tabla 5. Parámetros para un plan fotovoltaico

	Año 2010	Año 2025
• Capacidad industrial de producción	500 MW	5.000 MW
• Potencia instalada en España	135 MW	2.000 MW
• Ventas en España	60 millones de €	500 millones de €
• Exportación	12.000 millones de €	20.000 millones de €
• Empleo directo	4.000 empleos	10.000 empleos
• Gastos I+D	25 millones de €	100 millones de €

vada presencia en el mercado internacional que podría llevarnos a niveles de parámetros económicos, y de otro tipo, como los indicados en dicha Tabla.

En este esquema de trabajo, un plan fotovoltaico debiera empezar con un orden de magnitud de gastos en I+D de 6 millones de euros anuales, que incrementa los gastos actuales pero que supone aproximadamente el 2% del valor de las ventas actuales de esta industria. El propio plan debiera llevar implícito un acuerdo de aportación de fondos públicos y privados.

Se debiera evolucionar hacia los valores que se sugieren en la tabla. En el año 2010 una aplicación total de unos 25 millones de € anuales y, si el avance tecnológico e industrial es positivo, caminar hacia los 100 millones de € en el año 2025, fecha de la previsible ruptura tecnológica. En ambos casos la aplicación de fondos es porcentualmente menor, con respecto al volumen de ventas, que la que se pide para el lanzamiento del plan. Todos los valores económicos se refieren a euros del año 2003.

7.4 Programa eólico

La energía eólica es el vector renovable que más ha de crecer en los próximos años. Un objetivo al respecto es que lo hiciera de forma que se consolidara la industria y el empleo correspondiente en nuestro país. Al desarrollo interno de la energía eólica hay que añadir un esquema de colaboración con otros países para establecer el futuro mercado de hidrógeno que, como se ha mostrado en otros puntos de este documento, es la lógica derivación del sistema eólico futuro.

Para conseguir un desarrollo amplio de la energía eólica en nuestro país será preciso entrar en un diálogo social en el cual hay que asumir que los aerogeneradores se harán omnipresentes en nuestra geografía, tanto en tierra como en zonas marítimo-costeras; del negocio de los parques eólicos se deberá derivar un retorno claro hacia la sociedad, tanto en forma de energía limpia como de valoraciones económicas más ampliamente repartidas que en la actualidad, tal y como se apuntó con el Gráfico 11, y que, además, deberá incluir desarrollo industrial y creación de empleo.

Las acciones en I+D deberían encajarse en un programa amplio en el cual cupieran líneas de trabajo muy diversas pero conectadas con desarrollos industriales propios o con otros derivados en países con los cuales se establecieran esquemas de colaboración energética eólica y de suministro de hidrógeno. En este programa, por lo tanto, debiera tener un lugar destacado todo lo relativo a tecnología de producción y uso de hidrógeno; no olvidemos que, cuando la energía eólica crezca, no toda la electricidad se podrá verter a la red y una parte importante se habrá de fijar en otros vectores energéticos.

Hay que tener en cuenta que el tejido industrial en energía eólica existe, aunque cambie de situación patrimonial en este fenómeno de compra y venta de empresas que afecta a nuestro país; en menos de un año se han producido transferencias significativas de empresas tanto industriales como energéticas, por ejemplo MADE, del Grupo Endesa, a Gamesa, relacionada con Iberdrola.

Por ello, parece lógico establecer un Programa Eólico Español en el cual, en primer lugar, se fijaran objetivos energéticos acompañados de un plan de infraestructuras eléctricas. A partir de ahí, hay que dibujar esquemas de evolución tecnológica e industrial para los cuales sería preciso dialogar con las empresas energéticas e industriales y alcanzar unos compromisos mínimos que justificaran la aportación de fondos públicos que, unidos a los privados, conformarían una base económica de I+D.

Sería posible llegar así a un esquema de desarrollo industrial y económico como el que se adelanta en la Tabla 6. Las acciones de I+D se deberían encajar y coordinar en el programa que se vaya definiendo mediante un diálogo entre la administración española y las empresas involucradas, suministradoras de aerogeneradores y constructoras de parques, ya que en estas se incluye una parte importante de la actividad tecnológica.

La construcción, en varias autonomías, de parques de demostración para probar nuevos diseños industriales debería ser potenciada tratando, con estas acciones, de fijar tejido industrial conectado al desarrollo eólico. En particular, parece prioritaria la instalación de uno o varios parques *off shore* mientras que, en paralelo, se diseña, tal como se indicó en el capítulo 2, la estrategia de desarrollo de esta energía en España.

El desarrollo eólico en tierra y el suministro de equipos al respecto ha avanzado y puede seguir haciéndolo si se saben vencer los obstáculos que aparecen, tanto de la red eléctrica

Tabla 6. Esquema posible de evolución de la industria eólica

	Año 2010	Año 2025	Año 2040
• Capacidad de fabricación	2.000 MW/año	5.000 MW/año	10.000 MW/año
• Potencia instalada en España	13.000 MW	25.000 MW	60.000 MW
• Exportación de parques	1.500 Millones € anuales	4.000 Millones € anuales	8.000 Millones € anuales
• Hidrógeno, producción propia e importación	–	1 Mill. tep	15 Mill. tep
• Empleo directo en España	12.000 empleos	18.000 empleos	20.000 empleos
• Gastos totales en I+D	20 Millones €	40 Millones €	60 Millones €

como de rechazo social. El reto aparece en la energía eólica marina. Hasta la fecha no se ha hecho nada y no se puede admitir que se haga de manera desordenada. En lo que se refiere al aspecto industrial se corre el riesgo de que las grandes máquinas que se instalen procedan del extranjero cuando los astilleros españoles, lugar natural de fabricación, están pasando por una crisis muy fuerte.

7.5 Acciones en biocombustibles

La producción y utilización de biocombustibles líquidos ha de crecer sensiblemente en España si se desea cumplir con el objetivo comunitario de atender, con ellos, el 6% de la demanda de combustibles de automoción. A este respecto se debería dibujar un esquema de desarrollo en el cual habría que aunar los puntos de vista de diferentes agentes, privados y públicos. Entre estos últimos habría que contar con las administraciones autonómicas y estatal en materias a veces tan separadas como agricultura y energía.

Debería valorarse positivamente la capacidad de creación de empleo rural que este esquema tendría ya que sólo debiera encajarse en él la producción de biocombustibles si utilizan materias primas de producción propia. La internalización de los beneficios derivados de la creación de empleo tendría que compensar los costes suplementarios de la producción de los biocombustibles. Por ello, los biocombustibles que se produjeran con materias primas importadas deberían tener un tratamiento distinto que los de producción propia, lo cual no los descarta necesariamente del esquema energético.

La experiencia acumulada por el CIEMAT en los últimos años y su relación con varias Comunidades Autónomas le confieren una gran capacidad de coordinación y de actuación, tanto en aspectos tecnológicos como de planificación. Este centro debiera ser el coordinador de un esquema pactado con las administraciones autonómicas y con universidades de esas autonomías, tanto para trabajar en cultivos energéticos diversos como con nuevos procesos de transformación.

7.6 Extensión de las energías renovables a otros países

Los recursos en energías renovables en Europa, y en España en particular, no son suficientes para cubrir las demandas energéticas de nuestras sociedades en el futuro ni siquiera contando con una amplia participación de las energías renovables en la segunda mitad del siglo XXI, cuando las disponibilidades de hidrocarburos se reduzcan sensiblemente. Es preciso empezar a dialogar ya con países cuyos recursos eólicos y solares sean abundantes y desde los cuales se pueda importar hidrógeno a costes competitivos y, eventualmente, transportar electricidad.

Ese diálogo debiera incluir aspectos energéticos e industriales. Desde España se pueden exportar equipos y componentes para la instalación de sistemas renovables. Muchos de esos países receptores no pueden pagar el coste de inversión que las renovables suponen por lo que habrán de acceder a esquemas financieros muy favorables, algo imprescindible si se quiere lograr un mundo medianamente sostenible. Aquí aparece un primer elemento de diálogo; posteriormente habrá que pensar en extender la industria de diseño y fabricación de sistemas renovables a esos países.

Todo esto supone unas inversiones o gastos importantes. En España se deberán hacer esfuerzos para que esos gastos se recuperen con creación de empleo en las industrias correspondientes y con la evolución hacia esquemas energéticos globales más sostenibles. No se está proponiendo algo sencillo, más bien al contrario, se trata de un salto cualitativo y cuantitativo en el servicio energético que obliga a una reflexión global del mismo y a un diálogo con la sociedad.

El precio de la energía se puede considerar, hoy por hoy, barato. Lo que aquí se propone es que sea más cara pero, al mismo tiempo, más limpia y que sea accesible a terceros países; no olvidemos la insostenible situación de que casi 2.000 millones de personas no disponen de luz eléctrica. Este cambio no es fácil, pero es necesario. Por el contrario, una evolución lenta y testimonial de las energías renovables nos puede situar en tres o cuatro décadas ante un problema muy grave.

Desde este momento se debe estructurar un esquema de ayuda a la exportación de sistemas en energías renovables, desde España y desde la Unión Europea, que facilite el

desarrollo industrial tanto de los que venden como de los que reciben instalaciones; esquema a desarrollar en un marco de colaboración internacional global.

En la Unión Europea se ha asumido el Compromiso de Kioto como una obligación de reducción de emisiones de CO₂. Aunque cada país tiene que responsabilizarse individualmente de este compromiso se debiera establecer un diálogo para favorecer de forma conjunta un cambio más amplio en el cual el desarrollo de la industria de energías renovables y su ubicación en zonas de necesaria reactivación laboral fuera un hecho. Se recuerda aquí lo mencionado en el capítulo 2 sobre la posibilidad de reconversión de los astilleros a la industria eólica marina.

La Administración Española tiene entre sus cometidos el ofrecer un marco de confianza a las empresas que ayude a que se afiancen en nuestro país. Un programa de ayuda a la exportación, adecuadamente configurado y mantenido, sería una buena herramienta en este sentido, herramienta que de encajar en un esquema europeo más amplio sería todavía más eficaz.

Bibliografía

- Avia, F. (2003), Situación española dentro del programa mundial del desarrollo de la energía eólica. *La Tierra*, 57, mayo 2003, suplemento.
- Balairón, L. *et al.* (2000), El cambio climático. El Campo de las Ciencias y las Artes, monográfico nº 137. Servicio de estudios del BBVA.
- Castro, M. *et al.* (2000), Manuales de Energías Renovables: Energía eólica, Energía hidráulica, Biocombustibles, Energía solar, Energías geotérmica y de origen marino. Sevilla, Editorial Progenisa.
- CC OO-Comisiones Obreras y UGT-Unión General de Trabajadores (1998), El transporte al centro de trabajo. Guía de acción sindical.
- CIEMAT (2003), Tecnologías energéticas e impacto ambiental. Capítulos: Biocombustibles para transporte y Energía Solar Fotovoltaica: Una evolución energética del MW a los GW. Madrid, Mc. Graw Hill Profesional.
- CIRCE, Master en energías renovables. Zaragoza. Documentación de varios autores Universidad de Zaragoza.
- COFIS-Colegio Oficial de Físicos (2002), Física y Sociedad. Monográfico sobre energía. X Aniversario del Congreso Nacional del Medio Ambiente.
- Colmenar, A. y Castro, M. (2000), Biblioteca multimedia de las energías renovables. Madrid. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Comisión Europea (2000), Towards a European strategy for the security of energy supply. Bruselas, Comisión de las Comunidades Europeas. COM (2000) 769
- Comisión Europea (1997), Energía para el futuro: fuentes de energías renovables. Libro Blanco para una Estrategia y un Plan de Acción Comunitarios. Bruselas, Comisión de las Comunidades Europeas. COM (97)599.
- Comisión Europea (2003), VI Programa Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Bruselas, Comisión de las Comunidades Europeas.
- EPRI-Electrical Power Research Institute (1999), Electricity Technology Roadmap.1999 Summary and synthesis. Palo Alto, Electrical Power Research Institute.
- Feijoo, A. (1998), Influencia de los parques eólicos en la seguridad estacionaria y calidad de onda de redes eléctricas de gran dimensión. Tesis Doctoral. Vigo, Universidad de Vigo.
- Fernández, J. (2000), Cultivos energéticos: una alternativa. El campo y el medio ambiente, un futuro en armonía. Madrid, Servicio agrario y medioambiental del Banco Central Hispano.

- García, J.L. et al. (2003), Necesidad de un programa eólico *off shore* en España. Madrid, European Wind Energy Conference and Exhibition.
- Greenpeace (2002), Viento fuerza 12. Una propuesta para obtener el 12% de la electricidad mundial con energía eólica en 2020. Madrid, EWA y Greenpeace.
- Hernández, C. (2003), Futuro de la generación eléctrica con energías renovables. *Energía*, 169, Especial el futuro de la generación eléctrica en España. Editorial Alción, Madrid
- IDAE (2003), Eficiencia Energética y Energías Renovables. *Boletín*, 5, Madrid, IDAE.
- IDAE (1992), Cuadernos de energías renovables. Manuales técnicos. Madrid, IDAE.
- IDAE (1999), Plan de Fomento de las Energías Renovables en España. Madrid, IDAE.
- IEA-International Energy Agency. (2002), Wind Energy Annual 2001. International Energy Agency, Executive Committee for the Implement Agreement for Co-operation in the Research and Development of Wind Turbine Systems.
- IPTS-Institute for Prospective Technological Studies. (1998), Evaluation of the Socio-Economic Impacts of Renewable Energies: Global Survey to decision-Markers. Sevilla, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies.
- Johansson, T. *et al.* (1992), Renewable energy. Sources for Fuels and Electricity.
- Luque, A. (2001), Photovoltaic Market and Costs Forecast Based on a Demand Elasticity Model. Progress in photovoltaics: research and applications. Madrid, IES.
- Menéndez, E. (2001), Energías renovables, sustentabilidad y creación de empleo. Madrid, Los Libros de la Catarata.
- MINECO-Ministerio de Economía. (2002), Planificación de los sectores de electricidad y gas. Desarrollo de las redes de transporte 2002-2011. Madrid, Ministerio de Economía.
- Moreira, J.R. y Goldemberg, J. (1996), The alcohol program. *Energy policy*, 27, Elsevier.
- Ortega, A. (2003), Reinventando la izquierda. *El País*, Suplemento del domingo 20 de julio de 2003.
- Ruíz, V. (2002), La investigación sobre energías renovables en Andalucía. Energías renovables y desarrollo sostenible. IX Congreso Ibérico de Energía Solar. Córdoba.
- SEDIGAS.- Sociedad para el Estudio y Desarrollo de la Industria del gas (2001), Informe Anual 2001 y anteriores. Madrid.
- UNDP.- United Nations Development Programme (2002), World Energy Assessment. Energy and the challenge of sustainability. New York, World Energy Council.
- Varios Autores (1998), Principios de la conversión eólica. Serie ponencias. Madrid, CIEMAT.
- Varios Autores (1999), La biomasa: fuente de energía y productos para la agricultura y la industria. Serie ponencias. Madrid, CIEMAT.
- WEC-World Energy Council (2000), Energy for Tomorrow's World. Acting Now! Consejo Mundial de la Energía.

Magnitudes y conceptos energéticos

Magnitudes energéticas

- kcal. Kilo caloría, mil calorías. Cantidad de energía, calor necesario para elevar la temperatura de 1kg de agua 1°C.
- tep. Tonelada equivalente de petróleo. 1.000 kg de petróleo con un valor energético, o poder calorífico, de 10.000 kcal/kg.
- kW. Unidad de potencia eléctrica más habitual, se aplica tanto a un generador como a un motor consumidor de electricidad
- kWh. Unidad de energía eléctrica. La producida por un generador de 1 kW de potencia funcionando una hora o la consumida por un motor de esa potencia durante una hora de trabajo. En ambos casos funcionando a plena carga.
- Equivalencia teórica: 1kWh son 860 kcal
- Potencias eléctricas:
 - W. Unidad de potencia, 1000 W equivalen a 1 kW
 - 1000 kW equivalen a 1 MW
 - 1000 MW equivalen a 1 GW
 - 1000 GW equivalen a 1 TW
- Wp. En fotovoltaica vatio pico, la potencia de una placa que alcanza 1 W cuando la radiación solar es la máxima esperable (a mediodía).
- kWp. En fotovoltaica, la potencia de una instalación que alcanza 1kW cuando la radiación solar es la máxima esperable (a mediodía).
- MWp. Equivale a 1000 kWp

Datos orientativos

- Consumo de electricidad en el mundo: 15.000 TWh/año
- Consumo de electricidad en España: 225.000 GWh/a, es decir 225 TWh/año
- Consumo de electricidad en una vivienda en España: 1.000 a 15.000 kWh/a

En una casa tipo se consume en energía una cantidad parecida de electricidad y gas o gasoil, y el doble de cualquiera de las anteriores como gasolina o gas oil para el automóvil.

Emisiones de CO₂

- 1 kWh producido con carbón emite algo mas de 1 kg de CO₂
- 1 kWh producido con gas natural emite unos 400 gr de CO₂
- 1 kWh producido en hidráulica o eólica no se considera que emita CO₂
- Un automóvil de gama media conducido a 90 km/hora emite 150 gr de CO₂ por cada km recorrido
- La emisión de un automóvil pesado puede llegar a 400 gr de CO₂ por km
- La emisión española de CO₂ en 1990 se situaba en torno a 260 millones de t/a
- La emisión permitida, de acuerdo a Kioto, debería ser en 2010 de 300 millones de t/a
- Las emisiones actuales ya sobrepasan los 330 millones de t/a

Índice de Gráficos y Tablas

Gráficos

Gráfico 1. Esquema de abastecimiento y transformación energética	7
Gráfico 2. Esquema de origen de las energías renovables	11
Gráfico 3. Hidrógeno y electricidad eólica	13
Gráfico 4. Alternativas de energía solar termoelectrica	15
Gráfico 5. Inversión necesaria para generar 1.000 kWh anuales	16
Gráfico 6. Energías renovables en España	20
Gráfico 7. Esquema de participación de las energías renovables	28
Gráfico 8. Potencia eólica en diferentes países	31
Gráfico 9. Evolución de los aerogeneradores de eje horizontal	32
Gráfico 10. Esquema económico de un parque eólico. 50 MW	34
Gráfico 11. Distribución de suministros, según diseñadores	39
Gráfico 12. Esquema de reconversión parcial de astilleros a eólica	41
Gráfico 13. Procesos de obtención y uso de biocombustibles	43
Gráfico 14. Procesos de obtención de bioetanol	47

Tablas

Tabla 1. Razones y condicionantes. Desarrollo de las energías renovables en España	9
--	---

Tabla 2. Generación de electricidad solar. España, situación y expectativas	23
Tabla 3. Centros de I+D en energías renovables en España	27
Tabla 4. Evolución posible de la energía fotovoltaica	57
Tabla 5. Parámetros para un plan fotovoltaico	68
Tabla 6. Esquema posible de evolución de la industria eólica	70

Documentos de trabajo publicados

- 1/2003. **Servicios de atención a la infancia en España: estimación de la oferta actual y de las necesidades ante el horizonte 2010.** María José González López.
- 2/2003. **La formación profesional en España. Principales problemas y alternativas de progreso.** Francisco de Asís de Blas Aritio y Antonio Rueda Serón.
- 3/2003. **La Responsabilidad Social Corporativa y políticas públicas.** Alberto Lafuente Félez, Víctor Viñuales Edo, Ramón Pueyo Viñuales y Jesús Llaría Aparicio.
- 4/2003. **V Conferencia Ministerial de la OMC y los países en desarrollo.** Gonzalo Fanjul Suárez.
- 5/2003. **Nuevas orientaciones de política científica y tecnológica.** Alberto Lafuente Félez.
- 6/2003. **Repensando los servicios públicos en España.** Alberto Infante Campos.
- 7/2003. **La televisión pública en la era digital.** Alejandro Perales Albert.
- 8/2003. **El Consejo Audiovisual en España.** Ángel García Castillejo.
- 9/2003. **Una propuesta alternativa para la Coordinación del Sistema Nacional de Salud español.** Javier Rey del Castillo.
- 10/2003. **Regulación para la competencia en el sector eléctrico español.** Luis Atienza Serna y Javier de Quinto Romero.
- 11/2003. **El fracaso escolar en España.** Alvaro Marchesi Ullastres.
- 12/2003. **Estructura del sistema de Seguridad Social. Convergencia entre regímenes.** José Luis Tortuero Plaza y José Antonio Panizo Robles.
- 13/2003. **The Spanish Child Gap: Rationales, Diagnoses, and Proposals for Public Intervention.** Fabrizio Bernardi.
- 13*/2003. **El déficit de natalidad en España: análisis y propuestas para la intervención pública.** Fabrizio Bernardi.
- 14/2003. **Nuevas fórmulas de gestión en las organizaciones sanitarias.** José Jesús Martín Martín.
- 15/2003. **Una propuesta de servicios comunitarios de atención a personas mayores.** Sebastián Sarasa Urdiola.
- 16/2003. **El Ministerio Fiscal. Consideraciones para su reforma.** Olga Fuentes Soriano.

- 17/2003. **Propuestas para una regulación del trabajo autónomo.** Jesús Cruz Villalón.
- 18/2003. **El Consejo General del Poder Judicial. Evaluación y propuestas.** Luis López Guerra.
- 19/2003. **Una propuesta de reforma de las prestaciones por desempleo.** Juan López Gandía.
- 20/2003. **La Transparencia Presupuestaria. Problemas y Soluciones.** Maurici Lucena Betriu.
- 21/2003. **Análisis y evaluación del gasto social en España.** Jorge Calero Martínez y Mercè Costa Cuberta.
- 22/2003. **La pérdida de talentos científicos en España.** Vicente E. Larraga Rodríguez de Vera.
- 23/2003. **La industria española y el Protocolo de Kioto.** Antonio J. Fernández Segura.
- 24/2003. **La modernización de los Presupuestos Generales del Estado.** Enrique Martínez Robles, Federico Montero Hita y Juan José Puerta Pascual.
- 25/2003. **Movilidad y transporte. Opciones políticas para la ciudad.** Carme Miralles-Guasch y Àngel Cebollada i Frontera
- 26/2003. **La salud laboral en España: propuestas para avanzar.** Fernando G. Benavides.
- 27/2003. **El papel del científico en la sociedad moderna.** Pere Puigdomènech Rosell.
- 28/2003. **Tribunal Constitucional y Poder Judicial.** Pablo Pérez Tremps.
- 29/2003. **La Audiencia Nacional: una visión crítica.** José María Asencio Mellado.
- 30/2003. **El control político de las misiones militares en el exterior.** Javier García Fernández.
- 31/2003. **La sanidad en el nuevo modelo de financiación autonómica.** Jesús Ruiz-Huerta Carbonell y Octavio Granado Martínez.
- 32/2003. **De una escuela de mínimos a una de óptimos: la exigencia de esfuerzo igual en la Enseñanza Básica.** Julio Carabaña Morales.
- 33/2003. **La difícil integración de los jóvenes en la edad adulta.** Pau Baizán Muñoz.
- 34/2003. **Políticas de lucha contra la pobreza y la exclusión social en España: una valoración con EspaSim.** Magda Mercader Prats.
- 35/2003. **El sector del automóvil en la España de 2010.** José Antonio Bueno Oliveros.
- 36/2003. **Publicidad e infancia.** Purificación Llaquet, M^a Adela Moyano, María Guerrero, Cecilia de la Cueva, Ignacio de Diego.
- 37/2003. **Mujer y trabajo.** Carmen Sáez Lara
- 38/2003. **La inmigración extracomunitaria en la agricultura española.** Emma Martín Díaz

- 39/2003. **Telecomunicaciones I: Situación del Sector y Propuestas para un modelo estable.** José Roberto Ramírez Garrido y Juan Vega Esquerrá.
- 40/2003. **Telecomunicaciones II: Análisis económico del sector.** José Roberto Ramírez Garrido y Álvaro Escribano Sáez.
- 41/2003. **Telecomunicaciones III: Regulación e Impulso desde las Administraciones Públicas.** José Roberto Ramírez Garrido y Juan Vega Esquerrá.
- 42/2004. **La Renta Básica. Para una reforma del sistema fiscal y de protección social.** Luis Sanzo González y Rafael Pinilla Pallejà.
- 43/2004. **Nuevas formas de gestión. Las fundaciones sanitarias en Galicia.** Marciano Sánchez Bayle y Manuel Martín García.
- 44/2004. **Protección social de la dependencia en España.** Gregorio Rodríguez Cabrero.
- 45/2004. **Inmigración y políticas de integración social.** Miguel Pajares Alonso.
- 46/2004. **TV educativo-cultural en España. Bases para un cambio de modelo.** José Manuel Pérez Tornero.
- 47/2004. **Presente y futuro del sistema público de pensiones: Análisis y propuestas.** José Antonio Griñán Martínez.
- 48/2004. **Contratación temporal y costes de despido en España: Lecciones para el futuro desde la perspectiva del pasado.** Juan J. Dolado y Juan F. Jimeno.

