FUNDACIÓN PARA ESTUDIOS SOBRE LA ENERGÍA

ENERGÍAS RENOVABLES
PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN ESPAÑA

FUNDACIÓN PARA ESTUDIOS SOBRE LA ENERGÍA

ENERGÍAS RENOVABLES PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN ESPAÑA

FUNDACIÓN PARA ESTUDIOS SOBRE LA ENERGÍA

Fundación de Estudios sobre la Energía
C/ Alenza, 1 - 28003 Madrid
www.fundacionenergia.es

Depósito Legal: M-XXX-2010
Diseño, maquetación e impresión: TIASA

Índice general

Prólogo 7

Presentación 9

Un desarrollo de las energías renovables económicamente sostenible y teccnológica e industrialmente ambicioso 11

Resumen Ejecutivo: ¿La Tercera Revolución Industrial? 17

Capítulo 1: El marco actual y la perspectiva energética 45

1.1. Análisis geográfico del sector eléctrico peninsular 67
1.2. El objetivo 2020: planteamiento general 67
1.3. Los recursos renovables en España 67

Capítulo 2: Potencial energético y análisis sectorial 85

2.1. Energía eólica 96
2.2. Fotovoltaica 114
2.3. Solar termo-eléctrica 132
2.4. Biomasa 149
2.5. Geotermia y marinas 172
2.6. Integración de las renovables en la red 179

3ª Parte: Impacto socioeconómico 185

3.1. Análisis económico: inversiones, primas y externalidades 187
3.2. El empleo en la industria de renovables 67

4ª Parte: El escenario deseable: hoja de ruta tecnológica, energética y económica 203

4.1. Hojas de ruta y puntos críticos:
La investigación y el desarrollo tecnológico 205

Anexo

Integración de las renovables en el sistema eléctrico 253

Seminarios 323

Prólogo

Las Energías Renovables son una compleja realidad, que en este momento contribuye ya de manera apreciable al suministro de electricidad en nuestro país, y por otro lado presenta un campo amplísimo de posibilidades por explorar aún.

En una perspectiva temporal no lejana, las Renovables habrán de convertirse en una pieza esencial del Desarrollo Sostenible, que tiene en el suministro energético su desafío posiblemente más importante. Y la respuesta a ese desafío ha de ser una de las claves de la política de investigación e innovación en las sociedades con más pujanza económica, pero sobre todo, con mayor inquietud científica y técnica para abordar esta problemática.

En los últimos años, internacionalmente se ha comenzado a acuñar el término 3ª Revolución Industrial para designar una nueva situación económica con gran capacidad de generación de riqueza y bienestar, y gran respeto por el medio ambiente, como patrimonio común de todos, indispensable para la vida. Y entre los elementos sustantivos de esta nueva Revolución Industrial encontramos de manera señaladísima a las Renovables, que ciertamente son ya una realidad práctica y útil, pero son, más aún, una esperanza de gran calado socioeconómico.

De ahí que sea fundamental disponer de análisis independientes y rigurosos sobre este tema tan crucial, y de ahí que sea bienvenido esta singular aportación de la Fundación para Estudios sobre la Energía, que en muy pocos años ha producido un puñado de estudios de gran interés, cubriendo desde la problemática del carbón y el CO_2, hasta la energía nuclear y sus residuos, pasando por los aún omnipresentes combustibles fósiles, y la siempre necesaria tecnología energética. Pero parece de mayor actualidad aún éste que presentamos sobre las Renovables, a veces estigmatizadas como una mera industria subvencionada, pero que ha hecho ya mucho camino en su andadura industrial, y hará mucho más con las actividades de I+D+i. Hemos de ampliar en el futuro el esfuerzo tec-

nológico, poniendo en marcha nuevas maneras de hacer, con objetivos más centrados con herramientas y programas a los que se les pedirán resultados evaluables, que habrán de dinamizar toda la cadena ciencia–tecnología–industria.

Este documento contiene un análisis hecho sobre el juicio de expertos y los datos aportados por éstos en seminarios ad hoc. Sobre esa información de indudable valor, la FE2 ha puesto a trabajar a un pequeño pero acreditado grupo de profesores y profesionales, coordinados por la propia FE2. Estos expertos han sistematizado la información, han identificado debilidades y fortalezas, han discutido oportunidades y prioridades, y han formulado propuestas que son muy dignas de tener en cuenta, a la hora de tomar decisiones, pudiendo completar la información de la que disponen los responsables públicos. Estudios como éste proporcionan ya un nivel científico-técnico que es un referente indispensable para responder al exigente reto que tenemos de establecer la estrategia de desarrollo de las Renovables. Para esta Secretaria de Estado, el estudio es de gran valor, junto a otras aportaciones de diversa índole que han de ponerse en juego en el establecimiento de una política más selectiva y más productiva, que nos permitirá trabajar hacia ese fin de hacer de las Renovables piezas esenciales de esa 3ª Revolución Industrial.

Felipe Pétriz Calvo
Secretario de Estado de Investigación

Presentación

El estudio que presentamos hoy es uno más de los realizados por la Fundación para Estudios sobre la Energía, que sigue los anteriores sobre los residuos radiactivos, el carbón, la energía nuclear en España y la tecnología energética.

Este estudio ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, a través del CIEMAT y su sentido está bien expresado en el prólogo del Secretario de Estado de Investigación, que ha querido amablemente elaborarlo.

Como siempre, la Fundación pretende poner a disposición del público y de los responsables políticos, opiniones y datos que nos parecen objetivos y que, en todo caso, han sido planteados con total independencia de cualquier interés económico. Creemos que esto es especialmente importante en un tema como el de las Energías Renovables, muy controvertido y poco transparente por las infinitas subvenciones e intereses que están en juego.

Este estudio ha sido elaborado a partir de las opiniones y datos recolectados por la FEE en los seminarios que más adelante se citan, y su redacción ha corrido a cargo de:

- José María Martínez-Val, coordinador del estudio, Catedrático de la ETS de Ingenieros Industriales, de la UPM.
- Alberto Ramos, Profesor de la ETS de Ingenieros de Minas, de la UPM.
- Emilio Menéndez, Profesor ad-honorem, de la UAM.
- Ángel Cámara, Catedrático de la ETS de Ingenieros de Minas, de la UPM.

Un comité ha supervisado el estudio formado por:

- Juan Manuel Kindelán, Vicepresidente ejecutivo de la Fundación.
- Martín Gallego, Colaborador de la Fundación.
- Cayetano López, Director General del CIEMAT.

Juan Manuel Kindelán
Vicepresidente Ejecutivo
FUNDACIÓN PARA ESTUDIOS SOBRE LA ENERGÍA

SINOPSIS. UN DESARROLLO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES ECONÓMICAMENTE SOSTENIBLE Y TECNOLÓGICA E INDUSTRIALMENTE AMBICIOSO.

Sinopsis. Un desarrollo de las energías renovables económicamente sostenible y tecnológica e industrialmente ambicioso

Las Energías Renovables deben convertirse en elementos esenciales de la nueva estructura de abastecimiento energético que debería construirse en los próximos decenios, en consonancia con el paradigma del ***Desarrollo Sostenible***, y deberían además protagonizar la creación de una nueva realidad económica, de gran intensidad en generación de empleo, bienestar y riqueza. Para alcanzar ambas metas, resultará indispensable un desarrollo tecnológico de hondo calado, del que se obtengan sistemas de explotación de estas energías más eficientes y competitivos. Estos sistemas conferirían a las Renovables el marchamo de 3ª Revolución Industrial. Mientras las Renovables no alcancen un nivel adecuado de prestaciones (en las que pesa mucho su variabilidad y falta de gestionabilidad) y un nivel económico solvente, no se estará en los umbrales de esa nueva revolución.

España ha sido y es uno de los países mundialmente más activos en la promoción de energías renovables, en base a una política de primas a la producción, que presenta diferencias muy cuestionables de tratamiento de las diversas energías, y que en volumen monetario pesa ya notoriamente en la economía del sector, con el agravante de que ese peso continuará por un período de decenios. Más aún, ***el efecto llamada de la legislación*** subvencionadora, como el **RD 661/2007**, ha provocado avalanchas importantes de inversiones, saturando y sobrepasando los cupos previstos, con un subsiguiente efecto péndulo que en algunos casos no ha favorecido precisamente la estabilidad y supervivencia del sector afectado.

Ciertamente estos extra-costes de las renovables se contrarrestan por varios aspectos positivos, que podrían resumirse en estos efectos:

- Contribución a la disminución de emisiones de CO_2
- Reducción de la dependencia de los hidrocarburos

- Contribución a la creación de un nuevo sector energético de mayor sostenibilidad
- Contribución a la creación de un nuevo tejido productivo
- Reducción, moderada pero apreciable, del precio del pool cuando funcionan las renovables.

Aun contabilizando estos efectos, hay cierta unanimidad en que ***el modelo de despliegue de las Renovables tiene que modificarse***, para ser en sí mismo **económicamente sostenible**. Ello requiere:

- una **mejor regulación del sector**, que priorice la construcción de instalaciones de renovables en función de su menor gravamen económico,
- un **impulso** decidido y exigente a la Investigación y el Desarrollo Tecnológico de estas energías, y su consiguiente materialización en innovaciones industriales.

Las diferencias existentes en la madurez industrial de las diferentes energías, y las considerables diferencias de coste de generación (que actualmente se reflejan en las primas a la generación) señalan la pertinencia de hacer un ***despliegue de las renovables por escalones o fases****, comenzando por la explotación, tan masiva como lo permitan los recursos naturales, de las más baratas, que a su vez son las más maduras.*

En tal sentido, y en una escala que se tendría que revisar cada cierto tiempo, en función de cómo se avanzara en cada curva de aprendizaje, las fases podrían ser dominadas sucesivamente por:

- Eólica terrestre
- Eólica marina
- Solar-térmica
- Fotovoltaica
- Biomasa

aunque a su vez no hay que olvidar que, para avanzar en la curva de aprendizaje de una tecnología, no es suficiente con la I&D, sino que es necesario cierto nivel de despliegue de inversiones, y éstas han de estar lógicamente incentivadas.

España ha realizado un esfuerzo económico y técnico de primera magnitud en la primera fase de promoción de las renovables; pero la consolidación de un verdadero liderazgo internacional, con magníficas repercusiones económicas y tecnológicas, requiere poner en marcha unos mecanismos de innovación y desarrollo tecnológico acordes con el enorme desafío que supone el objetivo de transformar unas energías naturales que siempre han estado presentes (y prácticamente inútiles) en nuestro universo inmediato, en los motores de la 3ª Revolución Industrial.

Hay que encontrar mejores y más eficientes mecanismos y herramientas de trabajo en I+D+i, sufragadas inicialmente con dinero público, para ***posibilitar el avance tecnológico y su trasvase*** a la aplicación industrial-comercial, a partir de lo cual el peso presupuestario habrá de ser privado.

> *El análisis realizado en este Estudio, y las prognosis realizadas por muchos especialistas de las diversas energías, llevan a proponer una* ***Actuación Específica de I+D+i en las renovables,*** *que encauce la vitalidad ya demostrada en varias de estas energías, activando las capacidades del país en la creación de tecnologías innovadoras que puedan contribuir a una reducción de costes y a una explotación eficiente y racional de estos recursos naturales, que requieren un uso masivo de territorio.*

Para lograr un incremento revolucionario (digno de la 3ª Revolución Industrial) de las prestaciones reales de las renovables, se debe estimular extraordinariamente las I&D&i en áreas seleccionadas, para lo cual sería preciso:

- Un Debate Técnico de Base
- Elaborar Mapas de Alternativas por sectores.
- Establecer Programas y herramientas, gestionadas por las adecuadas agencias presupuestarias, no siendo desproporcionado pensar en la creación de una Agencia ad hoc para este fin, por requerir peculiaridades muy señaladas, que no posee ninguna de las entidades existentes.

Todo lo cual está además justificado por tener nuestro país un potencial considerablemente alto en energías renovables, sobre todo en comparación con la mayoría de los estados de la UE, especialmente en las energías solares.

> *Esa ventaja geográfica española ha jugado su papel en la primera fase de promoción de las renovables. Se abre ahora una ventana de oportunidad ver-*

daderamente singular, para abordar una segunda fase, en la que transformar nuestra posición destacada, en superioridad tecnológica, de la que se derivarían efectos económicos y sociales de primerísimo orden.

ENERGÍAS RENOVABLES PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD: LA TERCERA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL? VISIÓN GLOBAL.

RESUMEN EJECUTIVO

Resumen Ejecutivo. Energías renovables para la generación de electricidad: ¿La Tercera Revolución Industrial? Visión global

En estos primeros años del siglo XXI se ha ido acuñando el término Tercera Revolución Industrial como designación de la nueva estructura de abastecimiento energético que debería construirse en los decenios venideros, y que en consonancia con el paradigma del ***Desarrollo Sostenible***, tendría en las Energías Renovables (ER) su cimiento principal. Junto a ellas, y a tenor de lo conocido en nuestro universo físico inmediato, la Fusión Nuclear debería proporcionar una base completa para el suministro energético de la humanidad a plazo indefinido; y se podría contar con la Fisión nuclear por varios siglos, incluso milenios, si se llegan a dominar los reactores reproductores, bien críticos, bien híbridos, como el concepto de "Energy Amplifier", que además sería útil como transmutador de residuos de alta actividad y larga vida media.

Existe, no obstante, una diferencia fundamental entre estas opciones, respecto a la madurez de su desarrollo, pues una parte de las Renovables son perfectamente explotables hoy día (aunque requieran subvenciones para su rentabilidad económica) y la Fusión está aún en fase experimental pre-tecnológica, y la propia naturaleza de sus investigaciones hace que éstas se prevean en plazos muy dilatados, por mucho que se propusiera el modelo "fast track" para acelerar su desarrollo. No obstante, y como habrá ocasión de comentar en su epígrafe correspondiente, los presupuestos dedicados a I&D en Fusión en la Unión Europea, que es el área geográfica más activa en este campo, son una fracción reducida de la totalidad de las primas dedicadas, contando sólo nuestro país, a la subvención de las Renovables actualmente. Análogamente, la Fisión avanzada necesita aún la ejecución de un intenso programa de I+D, planteado actualmente en términos muy modestos; y de momento ese sector está muy inmerso en el despliegue de la Generación 3, que necesitará la construcción de varias unidades para madurar en su curva de aprendizaje.

En todo caso, el ***desafío de la Renovables***, que empezó a divisarse con notoria precisión tras la crisis petrolífera de 1974, ha cristalizado como uno de los ejes

prioritarios en las agendas políticas de todo el mundo, si bien las reacciones particulares de los países han sido sustancialmente diferentes, y el desarrollo tecnológico y el despliegue de las diversa renovables haya sido también harto dispar. En este sentido cabe señalar que la ejecutoria española en el fomento de las renovables está siendo de las de mayor éxito, si bien acompañado de oscilaciones bruscas en algunos despliegues, y con menor acervo tecnológico e innovador que el que sería esperable de un nivel tan alto de actividad en el sector.

Obviamente esa actividad, con sus características actuales, fuertemente dependientes de subvenciones muy sustanciosas, difícilmente puede considerarse un verdadero "superciclo de negocio", que sería una condición esencial para la creación de riqueza a partir de su explotación, lo que sí conferiría a las Renovables el marchamo de 3ª Revolución Industrial. Mientras las Renovables no alcancen un nivel adecuado de prestaciones (en las que pesa mucho su variabilidad y falta de gestionabilidad) y un nivel económico solvente, no se estará en los umbrales de esa nueva revolución. Y habida cuenta de la insistencia con la que se empieza a usar este término de 3RI, conviene preguntarse por qué las Renovables, que son energías naturales que de siempre han estado sobre el planeta, no fueron capaces de alumbrar la 1ª RI, que fue obra del carbón. En los momentos incipientes de la maquinaria de vapor (Papin, Savary, Newcomen…) la leña (biomasa) era el único combustible realmente disponible, aunque la maquinaria necesitara, para dar buenas prestaciones, de la biomasa de mejor calidad en aquellas épocas: el carbón vegetal. Aún así, contando sólo con éste la 1ª RI se hacía esperar, y realmente despegó no sólo cuando se mejoró la maquinaria (Watt, Fulton…) sino cuando se dispuso de carbón mineral, que fue el verdadero agente que impulsó aquel cambio cuántico.

Tampoco estuvieron presentes las Renovables en la 2ªRI, que va asociada a la electrificación, los motores de combustión interna y el uso de derivados del petróleo (y más tarde gas natural) lo cual comienza lentamente a finales del siglo XIX y eclosiona extraordinariamente en el XX, creando hiperciclos de actividad económica que han producido niveles de bienestar impensables desde tiempos pretéritos; aunque ese bienestar haya sido casi exclusivo de los países que han llegado a dominar las tecnologías de esa revolución, y han accedido a energías convencionales en cantidad suficiente. El análisis de esa falta de participación de las Renovables en la 1ª y 2ª Revolución Industrial se escapa del alcance de este Estudio, pero es importante dejar constancia de ello, pues es una clara indicación de la magnitud del desafío que se ha de abordar. Más aún, en los albores de la 2ª RI hubo conatos de aprovechamiento de las diversas renovables, en particular de la eólica, utilizando molinos de viento para generar electricidad, pero sus características inherentes lo hicieron imposible, en unas redes de tamaño minúsculo,

y con ausencia total de almacenamiento de energía. De las renovables, sólo la hidráulica embalsada, de gran gestionabilidad dentro del recurso pluviométrico disponible, fue capaz de participar en la electrificación de la 2ª RI.

MARCO ACTUAL Y DECISIONES POLÍTICAS

Uno de los exponentes más claros de la actual decisión política de apoyo a las Renovables es la "**Directiva 2009/28 CE** del Parlamento Europeo y el Consejo, de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables", en cuya motivación cuenta casi más la lucha contra el calentamiento global que la apertura de una nueva era socioeconómica, si bien la Directiva pone mucho énfasis también en el desarrollo tecnológico.

Esto último se completa con acciones paralelas, y en particular el Strategic Energy Technology Plan (**SET Plan**) y la creación del "European Renewable Energies Council" (**EREC**), así como la promoción de Plataformas Tecnológicas Europeas en los diversos sectores de estas tecnologías, que en gran medida orientan las prioridades de los sucesivos Programas Marco de I&D.

Pero sin duda lo más señalado en la política de la Unión Europea en este campo es el **objetivo 20/20/20 para el 2020**, que comportaría la participación de las Renovables en un 20% en la energía primaria de la UE (y derivado de ello, un valor para cada país, correspondiendo a España exactamente la media, el 20%; lo cual significa que en electricidad hay que llegar prácticamente al 40%). Esta es la cuantificación de un desafío notable, por ser de plazo relativamente corto, en particular en relación con los tiempos medios de avance en las curvas de aprendizaje tecnológico-industrial; lo cual quiere decir que esos valores prácticamente habrá que alcanzarlos con las tecnologías disponibles, lo cual conlleva un problema económico no desdeñable, aún suponiendo que se recomponga pronto la economía europea y la nacional.

Como país, España ha sido y es uno de los más activos, dentro de la UE, en la promoción de energías renovables, básicamente con legislación en apoyo al Régimen Especial, del cual la parte más importante hoy día son las ER. Junto a ello hay que anotar los Planes de Fomento de las ER, que curiosamente no han solido acertar, en unos sectores a la baja, y en otros al contrario. En valores globales, la realidad ha superado las previsiones, y ***el efecto llamada de la legislación*** subvencionadora, como el **RD 661/2007**, ha provocado avalanchas importantes de inversiones, saturando y sobrepasando los cupos previstos, con un subsiguiente efecto péndulo en algunos casos que no ha favorecido precisamente la estabilidad y supervivencia del sector afectado.

En nuestro país el gobierno ha presentado el proyecto de **Ley de Economía Sostenible**, que incluye de manera sobresaliente la atención al modelo energético, y que en su desarrollo subsiguiente incluirá una Ley de Energías Renovables, que desarrollaría los principios y planteamientos que la **LES** contiene en este campo, que son relevantes, como a continuación brevemente se indica: la LES dedica su Título III a la Sostenibilidad Medioambiental, y el capítulo I de ese Título se refiere al "**Modelo energético sostenible".**

En su art. 98, dedicado a "Planificación energética indicativa: generación", se establecen, entre otros, los siguientes objetivos para el año 2020 (aunque como tales objetivos deberían ser más duraderos):

a) Maximizar la participación de las energías renovables en la cesta de generación energética y, en particular en la eléctrica

d) La participación de las diferentes tecnologías en el largo plazo tenderá a reflejar la competitividad relativa de las mismas, entendiendo por ésta una medida comprensiva de los costes y beneficios

Para ello la LES obligará al gobierno a establecer los incentivos públicos necesarios para satisfacer los objetivos fijados, lo cual implica una política que tenga en cuenta los siguientes aspectos prácticos:

a) Garantía de un retorno de las inversiones en las tecnologías del régimen especial

b) Consideración de las curvas de aprendizaje de las distintas tecnologías hasta alcanzar la paridad de red o punto de competitividad con el coste del consumo de la energía, con el fin de fomentar los cambios tecnológicos que mejoren la estabilidad de la aportación de energía al sistema eléctrico por las energías renovables.

c) Progresiva internalización de los costes que asume el sistema energético para garantizar la suficiencia y estabilidad en el suministro

d) Priorización en la incorporación de instalaciones que incorporen innovaciones tecnológicas

Vista esta formulación desde el plano teórico de un análisis de economía energética, no parece nada cuestionable, sino muy plausible. La mayor dificultad proviene de la experiencia acumulada en estos últimos años, esencialmente los primeros de este siglo, donde el avance se ha materializado a veces en "burbu-

jas" de inversiones sobre-estimuladas, en los que la innovación, las curvas de aprendizaje y la maduración tecnológica no han estado ni mínimamente a la altura de lo esperado, con una movilización de recursos económicos y primas tan exorbitada. En ese sentido, la futura Ley de Energías Renovables debería tener en cuenta la experiencia adquirida durante estos años con este tipo de políticas de promoción, imposibles de mantener, y la necesidad de responder al reto tecnológico, con una verdadera dinamización de la cadena Ciencia-Tecnolgía-Industria. La LES dedica precisamente su capítulo IV del Título II a "Ciencia e Innovación", pero aquí no se puede sino subrayar de nuevo que la cadena no se quede en esos eslabones, como ocurre en la actualidad, sino que llegue a la maduración industrial.

En resumen, las Renovables se han constituido en una pieza básica de la política energético-ambiental del país, y en menor medida ocurre algo similar en la UE, aunque sólo Alemania y Dinamarca han tenido desarrollos mayores que los nuestros, y no en todos los sectores. Sin embargo, la apuesta por la innovación ha sido mucho más modesta que el nivel de inversiones estimuladas por las subvenciones, y el marco de promoción de las renovables parece, en ese sentido, algo descompensado. Si el objetivo es cumplir estadísticamente con un objetivo numérico, el camino emprendido parece correcto, pero muy caro, y desde luego no conducente, por sí solo, a una nueva Revolución Industrial. No está garantizado que se pueda hacer ésta, pero desde luego no se hará sin mejoras tecnológicas sustanciales, que es una pata que flojea muchísimo en el andar del país de cara a este desafío.

¿TECNOLOGÍAS DISRUPTIVAS?

Con carácter general, se podría decir que no son necesarias tecnologías disruptivas, totalmente diferentes a las conocidas, para el despliegue de las renovables; aunque obviamente hay algunas de ellas, en especial la fotovoltaica y la solar térmica, donde el campo verdaderamente explorado hasta la fecha es sólo una fracción del total de posibilidades científico-técnicas identificables en estas tecnologías. Eso no quiere decir que no se hayan producido mejoras en las diversas renovables en estos años de despliegue, especialmente en materiales ad hoc y herramientas de diseño y cálculo, pero podría decirse, por ejemplo, que prácticamente todos los componentes de un aerogenerador eran conocidos hace cuarenta años.

A pesar de esta aseveración general, quizá muy contundente en forma y fondo, hay que precisar que dicho despliegue ha venido precedido y acompañado por un avance significativo en las curvas de aprendizaje, aunque algunos de los espe-

cialistas de estos sectores señalan que uno de los motivos de ese avance ha sido la mera economía de escala, pues ha permitido fabricar series mayores con mejores máquinas y mayor control de calidad. Esta replicabilidad de los equipos, que ha permitido las grandes series, sobre todo en eólica y fotovoltaica, es una de las causa más claras de éxito en estos despliegues, que han sido incluso mayores que lo buscado por la promoción política.

En las curvas de aprendizaje conviene distinguir dos clases: las referidas al avance ***científico-tecnológico***; y las referidas al nivel ***industrial-comercial***. Los estudios especializados señalan mucha mayor rapidez de avance en las primeras que en las segundas, que por razones elementales dependen mucho del atractivo comercial para jugarse el dinero intentando avanzar por ellas; lo cual en general no se produce si no hay una estimulación por subvenciones. Cuestión ésta de la que ha habido claros ejemplos en nuestro país, primero en la eólica, y posteriormente en la fotovoltaica y solar-térmica. Pero ese avance en el nivel industrial-comercial aparece muy desfasado de los avances que se van produciendo en las innovaciones científicas, sobre todo en las energías solares. En estas parece existir cierta desconexión entre los equipos innovadores y los agentes industriales inversores, que obviamente han de lograr la ***financiación de sus instalaciones con tecnologías suficientemente maduras***. Este es sin duda uno de los grandes dilemas, e incluso una importante cortapisa, pera responder al desafío de que las renovables propicien la 3ª Revolución Industrial. De ello no se puede culpar simplemente al sistema industrial-financiero, que lógicamente ha de tomar sus cautelas ante inversiones cuantiosas, pero sí es imprescindible señalar que hay que encontrar ***mejores y más eficientes mecanismos y herramientas***, sufragadas con dinero público, para ***posibilitar el avance tecnológico y su trasvase*** a la aplicación industrial-comercial.

EL DESPLIEGUE EXPLOSIVO

A pesar de la escasa madurez industrial que había (y hay) en las tecnologías de las renovables, hay que señalar la enorme vitalidad de sus sectores para responder exponencialmente ante un marco adecuado de subvenciones. En países como Alemania y Dinamarca ha sido así (especialmente en eólica, pero también en la fotovoltaica alemana) pero posiblemente el país donde las reacciones positivas han sido más explosivas ha sido España. Lo fue en el caso eólico, aunque venía cebado de años atrás; y lo ha sido, espectacularmente, en el caso fotovoltaico en los últimos meses de 2007 y todo el 2008, aunque en el 2009 se haya sufrido el pendulazo, y las inversiones sean exactamente nulas. Aún así, en menos de 18 meses se pasó de valores insignificantes (medidos en MW; y expresando el

mayor de los respetos para los pioneros) a más de 3.000 MW(p). En el 2008, más de la mitad de toda la inversión fotovoltaica mundial, se realizó en España. Obviamente la cifra no cabía mantenerla así indefinidamente, aunque el sector, más los financieros, estaban dispuestos a continuar en esa línea, siempre que se lo pagaran. Y el problema empezaba a ser el pago.

En la tabla siguiente se muestran las primas en euros dadas a los explotadores de las diversas renovables. A ello habría que añadir los otros componentes del Régimen Especial, y en particular la Cogeneración, que recibió en 2008 la cantidad de 2.095 M€, de los 7.777 M€ pagados en total al régimen especial (RD 661/2007).

Tecnología	Potencia, MW	Energía, TWh	Primas, M€	Retribución total, M€	Primas, c€/kWh	Total, €/MWh
Eólica	15.595	31,89	1.261	3.203	3,95	100,4
Solar(PV+T)	3.460	2,54	976	1.152	38,4	453,5
Mini hidro.	1.980	4,63	149	446	3,21	96,3
Biomasa	587	2,49	129	290	5,18	116,4
Residuos	569	2,73	65	239	2,36	87,5
Total	22.191	44,28	2.580	5.330	5,82	120,4

Subvención a la producción eléctrica con Renovables, 2008. Fuente: www.cne.es y elaboración propia

Para el año 2009, la Solar (en la cual, las estadísticas oficiales tendrán que empezar a discriminar entre PV y Térmica) recibirá una prima mucho mayor, pues muchas de sus instalaciones comenzaron a funcionar muy a finales de 2008; mientras que la Eólica, debido a la menor intensidad de los vientos en la mayor parte de 2009, recibirá una prima menor que la del año 2008; y con seguridad la PV, con poco más de la quinta parte de potencia instalada, recibirá en total mayor prima que la eólica.

La valoración de estos datos es algo totalmente abierto, subjetivo y cuestionable. Desde luego el monto de las primas es significativo respecto de la facturación total del sector, que es de 31.000 M€. Dado que estos extra-costes han de ser soportados por el sector, repercuten al alza en el precio de la electricidad. Contra ello hay que valorar los aspectos positivos, que podrían resumirse en varios efectos:

- Contribución a la disminución de emisiones de CO_2
- Reducción de la dependencia de los hidrocarburos
- Contribución a la creación de un nuevo sector energético de mayor sostenibilidad
- Contribución a la creación de un nuevo tejido productivo con resultados importantes en la creación de empleo, estimándose esto último en 90.000 puestos de trabajo, de los cuales un tercio serían de empleo directo en el sector eólico.
- Reducción, moderada pero apreciable, del precio del pool cuando funcionan las renovables, según se comenta después.

No obstante, hay cierta unanimidad en que el modelo de despliegue de las Renovables tiene que modificarse, para ser en sí mismo económicamente sostenible. Por un lado hay que apostar por una mejor regulación del sector, para que no haya estos sobresaltos como el de la "burbuja fotovoltaica" del 2008; y por otro se ha de estimular la innovación y el traspaso de ésta al campo industrial-comercial.

Como hito adicional en la regulación, que habrá que ir estudiando para lograr su formulación más eficiente y equitativa, a mediados de noviembre 2009 el gobierno acordó aprobar los 2.300 MWe de proyectos de solar termo-eléctrica que cumplían los requisitos del Registro abierto para este tipo de instalaciones, descartando otros 2.000 que estaban registrados pero no cumplían, y relegando a futuras decisiones otros 10.000 MW que habían depositado avales, pero no habían iniciado los trámites del Registro. De esa manera se cerraba la burbuja termosolar, extendiéndola hasta el 2013, pues se han dado cupos de conexión secuencial hasta ese año, cubriendo los 2.300 MW antedichos.

Cabría concluir este apartado señalando que el sector energético español ha demostrado una ***enorme capacidad para explotar la tecnología***, una vez ésta ha demostrado suficiente madurez (generalmente en el extranjero) y las entidades financieras aceptan los supuestos del proyecto. Pero no termina de establecerse un mecanismo eficiente, que no puede depender sólo de las compañías explotadoras, para que España de verdad alcance un puesto de liderazgo tecnológico en este campo que, casi inequívocamente, habrá de alimentar energéticamente al siglo XXI y más allá, y podría (o debería) alumbrar una 3ª Revolución Industrial.

Aunque este Estudio esté referido a las Renovables, no cabe olvidar el contexto de la que será un Sector Energético Sostenible, donde, en función de los conocimientos

físicos que se tienen, la Fusión Nuclear sería la otra gran baza de suministro. Pero ya se ha comentado que no está esta energía en situación comparable ni remotamente a las Renovables, pues la Fusión sí que será una tecnología absolutamente disruptiva respecto de los precedentes energéticos. Ello implica intensas tareas de investigación, que a menudo parecen muy caras de presupuesto; pero cabría indicar que el ITER, que el el reactor experimental más importante en ese campo, y el que concita toda la atención internacional de I&D en fusión magnética, tiene un presupuesto global de 11.000 M€, para su construcción, y eso equivale a cuatro años de las primas dadas, sólo en España, a las Renovables. Sin querer hacer análisis comparativos estrictos, sí conviene tener las ideas claras de los esfuerzos en cada línea.

HACIA LA PARIDAD DE RED

Cada energía renovable tiene sus peculiaridades, aunque posiblemente la más peculiar sea la fotovoltaica. En los demás casos, se construyen instalaciones que, si bien son de potencia unitaria modesta respecto de lo convencional, se pueden catalogar como centrales eléctricas, aunque puedan estar conectadas a redes de media tensión. Muchas de las instalaciones PV, particularmente los llamados "huertos solares" pueden ser también catalogadas como centrales; pero muchas otras instalaciones son de potencia tan pequeña, y están tan embebidas en una red local que tiene su propio consumo, que se pueden considerar "consumidores negativos" en vez de propiamente centrales. Y ello da lugar a plantear un supuesto que es muy típico de esta fuente, pero cuyo efecto económico debe reflejarse en todas las renovables. Se trata de la "paridad de red", que es la situación en la cual a un pequeño productor PV que tiene su instalación generadora en paralelo a su instalación consumidora, y ambas enchufadas a red, le da económicamente lo mismo vender la energía a la red, que autoconsumirla, y ahorrarse así parte del recibo de la luz.

Este tipo de autoconsumo introduce una distorsión no pequeña en el desarrollo de la PV, y por ejemplo una de las patronales de ese sector, ASIF, ha elaborado un estudio para superar esa distorsión, de modo que ni siquiera a efectos fiscales el autoconsumo de PV fuera algo inaceptable o distorsionador. Esta misma cautela habría que expresarla con la generación distribuida en general, y no es nueva en la cogeneración, donde la situación ha ido variando, de una situación inicial donde la mayor parte se autoconsumía, y se vendían los excedentes, a otra en la que la mayor parte se vende, sobredimensionando el equipo cogenerador.

El efecto positivo del concepto de "paridad de red" radica en la convicción PV, pero que todas las renovables deberían tener, de que hay que ir convergiendo con los costes convencionales de generación (lo cual no es exactamente la pari-

dad de red, donde se compara el coste de lo auto-generado con el recibo íntegro de la "luz"). Por supuesto, la eólica está mucho más cerca de esa convergencia, aunque se evidencian resistencias claras a avanzar en la línea de reducción de las primas. En este terreno hay dos aspectos adicionales que comentar, por su incidencia económica: cuando hay mucha renovable en funcionamiento, se produce menor demanda de energía convencional, y ello implica que la última central convencional en entrar en funcionamiento para satisfacer la demanda, no es tan cara como la que entraría si no funcionaran las renovables. Ello hace que ***el precio del mercado eléctrico es menor cuando funcionan las renovables***, lo cual es un efecto positivo no siempre considerado.

Por otro lado, y con mayores implicaciones económicas, hay que señalar que las renovables directas (solar, eólica, ondumotriz,…) necesitan **potencia de respaldo**, típicamente de centrales de gas, lo cual supone una inversión extra nada desdeñable. En el caso PV o solar térmico sin almacenamiento, el respaldo ha de ser del 100%, pues las puntas de invierno se dan en horas sin sol. Para la eólica se puede admitir un porcentaje de disponibilidad en puntas, no nulo, aunque cuanto mayor sea el grado de confianza que se requiere en la satisfacción estadística de la garantía de suministro, menor es ese porcentaje; lo cual significa que se ha de disponer de una potencia de respaldo casi del mismo nivel que la renovable directa instalada; lo cual a su vez significan inversiones muy considerables, que por fortuna se han moderado gracias al despliegue de la Centrales de Gas de Ciclo Combinado. De hecho, sin la enorme eclosión de estas centrales que se produjo desde principios de los 90 (mundialmente, y en España con cierto desfase) no se habría podido soportar el desarrollo vertiginoso de la eólica. Las CGCC tienen además la peculiaridad de unos costes de inversión muy bajos (y por el contrario, muy caros los de combustible) y una gran flexibilidad de maniobra y arranque, de modo que han sido compañeras idóneas de las renovables.

LA REGULACIÓN LEGAL. INCONSISTENCIAS EN LA (NO) PLANIFICACIÓN

Aunque el sector eléctrico esté liberalizado, y la planificación en generación no sea vinculante, lógicamente necesita una regulación general, y dentro de ella algunas regulaciones específicas, para tratar casos especiales, como son los contemplados en el Régimen Especial. Sin impulso político traducido en ventajas económicas, no era factible un despliegue de renovables de entidad apreciable, y ello llevó a sucesivos RD que ciertamente han tenido éxito en su objetivo principal, si bien haya habido un coste.

En el análisis de los hechos acaecidos se aprecia cierta inconsistencia en la materialización de la política de promoción; particularmente en los casos Fotovoltaico y Solar Térmico, donde se fijó un objetivo de instalación de 500 MW en cada caso, pero la sobre-estimulación inducida por el marco legal fue tal que se sobrepasaron los objetivos muy ampliamente, La reacción ministerial, que no fue tan rápida como la actividad de los inversores, detuvo la avalancha PV, y las nuevas inversiones quedaron casi congeladas en 2009, pero eso tampoco es bueno para el sector.

Los propios lobbies de renovables (patronales incluidas) están respondiendo a esa situación de burbuja explosiva con propuestas para poner orden en el caos, y permitir un desarrollo del sector que sea estimulado pero competitivo, y a su vez ayude a avanzar en la curva de aprendizaje, para ir reduciendo costes.

Un problema que merece atención muy particular en este contexto es el de las diferencias entre **períodos de amortización y vida útil de las instalaciones**. Es lógico que en esta etapas tan incipiente haya incertidumbres sobre este último valor, como las hay acerca de los costes de O&M, pero es muy probable que la vida útil de la mayoría de las instalaciones estén por encima de los períodos de amortización, que están condicionados por la duración de los créditos recibidos para la construcción de la central. No es común encontrar financiación a más de 17 años, lo que resulta crucial para estimar el coste del kWh generado en estas instalaciones, que se suele estimar para devolver el préstamo en ese plazo. Esos costes de generación han orientado el nivel de primas a recibir, junto al valor de la inversión inicial específica (€/W) asociado a cada energía en función de su madurez pre-comercial; pero así como el coste de inversión sí ha podido acotarse relativamente bien en su valor presente, la duración de la vida útil de la instalación puede exceder, como hemos dicho, del plazo de devolución del préstamo. Y eso llevaría a la situación, no nueva del todo en el sector energético, de aparición de unos beneficios extra, pues a partir de dicho plazo, la instalación no tendría ya costes fijos procedentes de la inversión inicial. En las renovables directas (eólica, solar,…) sólo quedarían los costes de O&M. En la Biomasa habría que añadir el combustible, por supuesto. En definitiva, convendría efectuar cálculos cada vez más precisos sobre el valor de las primas lógicamente asumibles, a medida que se pueda estimar mejor la vida útil de las instalaciones. (Contra este argumento se podría esgrimir que algunos parques eólicos se han desmontado antes de acabar el plazo del préstamo, con objeto de repotenciarlos, instalando aerogeneradores más altos y de mayor potencia; pero lógicamente eso no hace sino transferir a la segunda inversión parte de los costes de la primera; que por razones obvias habría sido de mucho mayor inversión específica).

Otra característica importantísima del despliegue experimentado por algunas renovables en estos años en España es la **vitalidad de las ingenierías y entidades financieras** para responder ante el estímulo de promoción que representan las primas a la producción. Ciertamente se dirá que eso procede de la convicción de que en ese nicho había un claro ciclo de negocio, peo con esa identificación, por sí sola, no se materializa el ciclo. Ha habido un enorme esfuerzo de las ingenierías y fabricantes de componentes (no siempre del país, pues mucho material ha sido importado, como es lógico en un mercado tan globalizado como el de los componentes energéticos) y montadores, y eso ha de reconocerse como un activo muy importante de la capacitación técnica española. La cual procede en gran medida de un esfuerzo continuado en un sector que ha abordado, más o menos secuencialmente, el desafío de las grandes presas, de la industria petrolífera, de las centrales nucleares, de los ciclos combinados, etc., sin pretender hacer una lista exhaustiva.

LOS HORIZONTES 2020 Y 2030

Cualquier ejercicio de prospectiva es discutible, y cabe cuestionarlo de raíz. Más aún, las evoluciones recientes de algunas renovables, aunque hayan sido "burbujeantes" en algunos casos, muestran la existencia de una vitalidad y una capacidad de respuesta del sistema industrial-comercial que puede dejar en ridículo cualquier expectativa. Pero también se tiene evidencia de lo contrario: el Plan de Fomento de Energías Renovables de 1999 puso una confianza en el desarrollo de la Biomasa para electricidad que luego no se ha cumplido ni de lejos. Incluso la corrección a la baja efectuada por el Plan 2005-2010 dista mucho de cumplirse, pues a menos de dos años de su cierre, no se ha alcanzado ni el 50% de lo proyectado. Por el contrario, la evolución de las solares, sobre todo de la fotovoltaica, que tiene tiempos de proyecto y ejecución realmente cortos, y es muy replicable de una instalación a otra, ha dejado ridículas las previsiones que se hicieron hace ahora 10 años. El efecto llamada del RD 661/2007 y el hecho de que no se necesitase ninguna tecnología disruptiva, sino que en principio bastaba con lo disponible, facilitaron una respuesta masiva, que hay que encauzar.

Aún con todos estos inconvenientes para pronosticar, se propone a continuación una matriz de energías y horizontes temporales como resultado de un ejercicio de valoración global de la potencialidad intrínseca y la prospectiva tecnológica de cada fuente; condicionadas a la gran incógnita que representa la integración en el sistema eléctrico de tanta potencia no gestionable y esencialmente variable e intermitente. Aunque las redes eléctricas van a cambiar considerablemente en el futuro, y el almacenamiento energético puede y debe ampliarse a valores muy

superiores a los actuales, la garantía de suministro impondrá requisitos no livianos al despliegue de estas energías.

La tabla siguiente se soporta en consideraciones detalladas que se han efectuado en el Estudio, contando siempre con la opinión de los expertos del sector como referencia básica; aunque dichas opiniones hayan sido contrastadas con otros criterios y ponderaciones acerca del potencial natural (el recurso energético) la evolución tecnológica, y el abaratamiento de costes. En el caso del potencial, es obvio que las primeras instalaciones de cada tipo de fuente se han situado en emplazamientos privilegiados, y la calidad de éstos disminuye, en general, a medida que el parque aumenta. Eso puede ir haciendo menos interesantes las instalaciones subsiguientes, particularmente respecto de la rentabilidad ofrecida por emplazamientos vírgenes en países que están iniciando el despliegue en una determinada energía; lo cual puede llegar a ser un factor de peso que ralentice la subsiguiente expansión en nuestro país.

Fuente	MW 2008	GWh 08	MW 2020	GWh 020	MW 2030	GWh 030
Eólica	15.995	31.890	30.000	60.000	60.000	120.000
Fotovolt.	3.400	2.500	15.000	22.000	25.000	37.500
Solar térmica	60	45	10.000	22.000	20.000	60.000
Hidros	1.980	4.632	2.500	5.000	3.000	6.000
Biomasa	587	2.488	1.500	7.500	3.500	17.500
Residuos	569	2.732	1.000	5.000	1.500	7,500
Total	22.191	44.287	60.000	121.500	113.000	248.500

Prospectiva de potencia instalada (MW) y energía generada (GWh), en los años 2020 y 2030, con renovables.
Fuente: elaboración propia, con datos de www.fundacionenergia.es

En la Eólica está pendiente de madurez y despliegue (en España) la eólica marina. Han quedado identificadas las zonas protegidas donde no se permite su instalación, y posiblemente a ellas habrá que sumar requisitos específicos de los análisis particulares de impacto ambiental. Aún así, el potencial de esa modalidad eólica es muy elevado, y no hay ningún motivo evidente o conocido que pueda cercenar su desarrollo de raíz, si bien se llevan varios años en cierto compás de espera, antes de abordar su despliegue. En ello parece pesar la propia

especificidad de esta modalidad, pues aunque su maquinaria sea en gran medida replicable de un lugar a otro (similarmente a como ocurre en la eólica terrestre), la implantación de esa maquinaria en un lugar dado es, en terminología internacional, "site-dependent", y no es fácil extrapolar de una geografía a otra (por ejemplo, de las costas danesas a las españolas) la experiencia adquirida.

En el desarrollo de la eólica terrestre jugó un papel primordial la asimilación de tecnología, particularmente por acuerdos con empresas danesas, aunque había habido un desarrollo previo propio, incluso investigando tipos de máquinas que no llegaron a competitivas, como las de eje vertical. En la años 70 y primeros de los 80 no estaba aún claro que habría una opción ganadora entre toda la tipología de máquinas, pero desarrollos norteamericanos, alemanes y daneses pusieron en evidencia la superioridad del aerogenerador elevado sobre torre y con tres palas tipo avión (y no helicóptero, como también se intentó). En el caso de la eólica marina u "off-shore", el problema es el arriba indicado, de tener una parte del problema muy "site-dependent", lo que exige desarrollos propios, complejos y caros, en los que otras experiencias son válidas sólo parcialmente. No obstante, merecerá la pena abordar ese desarrollo, por la mayor persistencia del viento en muchas zonas marinas no muy alejadas de la costa. Eso significará mayor número de horas de funcionamiento al año, revertiendo la tendencia contraria de la eólica terrestre, en la que las horas de funcionamiento nominal van decreciendo a medida que los parques son de menor calidad eólica.

Por lo que corresponde a las solares, entre los dos tipos hay una diferencia sustancial, pues la térmica puede almacenar directamente su "combustible" (el calor; o más exactamente, la energía térmica) y la fotovoltaica no. Por descontado, su electricidad generada se puede almacenar (por bombeo, en baterías electroquímicas, etc,) pero en esa faceta no se distingue de cualquier otro generador del sistema. Ello confiere a la Solar Térmica (o heliotérmica) una mayor gestionabilidad, un mayor número de horas de funcionamiento anual, pues puede almacenar la energía térmica en los momentos de mayor insolación, cuando esté por encima de la nominal de la planta, y utilizar esa energía en el atardecer y tras la puesta de sol. De ahí que las horas de utilización anual sean superiores,

En el apartado "Hidros" de la tabla anterior se han incluido las energías marinas, que no ofrecen un potencial semejante a las renovables citadas explícitamente, ni están a su altura en madurez tecnológica. También quedaría por contabilizar la geotérmica, que adolece de problemas similares, y previsiblemente tendrá una contribución marginal, bastante menor que el nivel de incertidumbre que hay en las solares, por ejemplo, que pueden experimentar cambios muy drásticos en su evolución, según se ha visto ya.

La verosimilitud de las cifras anteriores dependerá muy fuertemente de cómo se resuelvan dos temas que esencialmente han de acompañar al despliegue de las renovables: la ***potencia de respaldo*** (que ha de suplir el funcionamiento de las renovables, cuando no se dispone del recurso natural, sea sol o viento) y las ***capacidades de las redes*** para acoger esta potencia de no pequeña variabilidad. En este momento, la tarea del respaldo recae casi por completo en las centrales de gas natural. En un futuro podría pensarse en nucleares con capacidad de seguimiento de carga, pero este planteamiento requiere su digestión. También la requiere el conjunto de cambios a introducir en las redes para dotarlas de la fiabilidad indispensable, con las redundancias necesarias, para ser la base de la garantía de suministro.

EL GRAN DILEMA: ¿CRECER CON LO QUE HAY O INVESTIGAR PARA CRECER?

En octubre de 2009 el gobierno presentó al Congreso de los Diputados su **Estrategia Estatal de Innovación**, E2I, que señala a este campo como uno de los más deficitarios en la actividad española; proponiendo, tras el diagnóstico, una serie de ejes de actuación que han de cambiar sustancialmente este ámbito, hasta llevar al país al 9º puesto mundial en innovación, para estar en consonancia con la condición de G9 que se tiene en economía, y también en producción científica.

Es bien conocida la llamada "paradoja europea", que es aún mas incisiva como "paradoja española", de que tanto la UE como nuestro país contribuyan de manera muy señalada a la creación de bibliografía científica, pero relativamente poco (en nuestro país, muy poco) a la creación de tecnología industrialmente explotable. Esa es una carencia esencialmente estructural, y que se revela más difícil de cambiar que el tema científico, en el cual se comenzaron a poner cierto tipo de incentivos y requisitos a los investigadores hace ya 30 años, y los investigadores supieron reaccionar ante ellos. ¿Cómo se definen y materializan los incentivos y requisitos para que funcione bien toda la correa de transmisión de la cadena ciencia-tecnología-industria?. ¿Y cómo se concreta en el campo de las energías renovables, que deberían ser protagonistas principales de la 3ª Revolución Industrial?

En el análisis efectuado por el gobierno en la E2I, uno de los aspectos que más destaca negativamente es el número de patentes europeas concedidas por la EPO, por cada millón de habitantes; pues la media de la UE27 es de 106, y el valor de España no llega a 30. La escasa cultura de invención de nuestro país (sin que de ello haya que culpar a las genialidades de Unamuno y el "que inventen ellos"), la escasa involucración de las empresas españolas en materia de propiedad industrial,

y la inexistencia de apoyos eficientes para los laboriosos y caros trámites internacionales de las patentes, explican esa enorme falta de convergencia de España con la UE; siendo posiblemente el área donde la divergencia es más espectacularmente honda. Más aún analizado el despliegue de la eólica en España, que ha sido un éxito rotundo en ingeniería y rentabilidad, se encuentra un número verdaderamente exiguo de patentes. Bien es cierto que en los años 70 finales y 80 principios hubo varios pioneros que exploraron ideas novedosas, generalmente con muy pocos medios y por tanto con clara incapacidad de llegar a un nivel suficiente de madurez tecnológica en sus realizaciones. La gran eclosión se fraguó hacia 1990, merced a acuerdos tecnológicos con empresas extranjeras, especialmente danesas, apostando ya por la máquina que se perfilaba como la ganadora de esa peculiar carrera tecnológica, que fue el aerogenerador de tres palas. No era el primer ejemplo, ni seguramente será el último, de que España es un país especialmente eficiente en la asimilación de tecnología; pero ello no debería hacernos tirar la toalla en el desafío de la innovación propia.

Más aún, se ha citado el tema de la eólica marina como un campo donde va a ser necesaria esa investigación, en parte "site-dependent"; y desde luego en el caso de la solares podría abrirse una mayor esperanza a la innovación, entre otras cosas porque no parece claro que vaya a haber un "winner" tan rotundo como el aerogenerador de tres palas en el caso eólico. En fotovoltaica es común hablar de la "célula campeona" como la de mejor rendimiento, pero ese parámetro no va a ser determinante del desarrollo de la PV, y otros factores también intervendrán, pues al final la medida será el coste. Tampoco queda claro si en la solar térmica va a haber una modalidad ganadora, aunque en estos momentos la mayor parte (casi en monopolio) de las centrales abordadas son de colectores cilindro-parabólicos, imitando la tecnología de las plantas SEGS en el desierto de Mohave, California, instalada, la primera de ellas, hace más de veinte años, lo que confiere a esta modalidad un marchamo suficiente para obtener financiación bancaria. Aún así, las plantas parecen mejorables en muchos sentidos, incluido el ambiental, y las alternativas de torre central o de torre longitudinal son candidatas a tener en cuenta, junto a otras modalidades de mayor concentración de la radiación, como son los discos parabólicos.

EL IMPACTO LABORAL Y ECONÓMICO

Aunque una parte importante de los componentes de las instalaciones de energías renovables proceda del mercado globalizado, y pueda venir de cualquier parte, otra gran fracción de las inversiones es de ensamblaje final y montaje, y eso se ha de hacer a pié de obra. Como además estas energías son de

baja densidad superficial de potencia, comportan el uso de grandes extensiones de terreno y de material, pero ello a su vez implica un número importante de horas-hombre en la instalación, y por ende de empleo. Y como además las ubicaciones suelen estar en comarcas agrarias, el efecto social del empleo es aún mayor, de cara al equilibrio interregional. Todos estos factores se han evaluado en diversos estudios, unos de carácter muy genérico, y otros, quizá de mayor interés, derivados de regiones específicas, con casos prácticos.

Aunque antes se haya señalado el capítulo primas como relevante, la valoración socioeconómica de las renovables resulta más compleja, y hay que estimarla a varias escalas: desde el impacto específico de boom económico en algunas localizaciones con gran potencial eólico, al efecto dinamizador global que podrían llegar a tener si verdaderamente se despliega una 3ª RI. Ante esto, el país (a través de la industria involucrada) debería posicionarse en líder tecnológico-industrial, para rentabilizar integralmente los esfuerzos realizados. Piénsese que *España está soportando, a través de las primas pagadas, una buena parte del avance en la curva de aprendizaje*; y que de ese avance se beneficiarán otros, pues la reducción de costes ya será una realidad. Si en esos nuevos mercados la industria española logra una participación significativa, como en cierta medida ya está ocurriendo, la inversión en primas tendrá un efecto multiplicador, Pero en ese reto hay que mantener siempre una posición de vanguardia tecnológica, además del valor de la experiencia y de la economía de escala que supone venir de un pasado con buena cartera de pedidos. En definitiva, la realidad socioeconómica de las renovables, a veces demonizada por las primas y el déficit tarifario, a veces sacralizada como una contribución imponderable al desarrollo sostenible, se ha de aquilatar en sus justos términos, teniendo en cuenta la complejidad del asunto, que va desde lo muy local y circunstancial, a lo muy global y de largo recorrido. En cada nivel actúan agentes que pueden ser distintos, pero en común está siempre el tronco tecnológico-industrial, que ha jugar el papel fundamental en este desafío, y que ya hemos dicho que lleva asociada una creación de empleo muy estimable, que de momento totaliza unos 90.000 nuevos puestos de trabajo, siendo la eólica la de mayor impacto, con un tercio de ellos de manera directa.

Existe por último una realidad que también se ha de subrayar, por las implicaciones económicas en la balanza comercial española, y por la incongruencia que se ha generado con una promoción de las renovables con primas tan diversas, y es el hecho de que la Fotovoltaica, que es la más primada, comporta unas importaciones de gran calado, que en el año 2008 ascendieron a más de 5.000 M€, y que en general representan unos 2€ por Wp instalado. Por el contrario, la Eólica, que es la menos primada (y la única verdaderamente madura) representa una exportación de unos 1.300 M€ anuales, que es prácticamente el orden de

las primas recibidas. Estos datos manifiestan la imperiosa necesidad de graduar la entrada masiva de las renovables en el sistema, en función de la madurez alcanzada en el mundo en general, pero particularmente en España.

SÍNTESIS FINAL

No cabe hablar de manera genérica de las Renovables en una síntesis macroscópica, pues las peculiaridades de cada fuente y su muy diferente desarrollo, exigen consideraciones específicas por sector.

En la **eólica**, el éxito español ha revelado una vitalidad enorme en los agentes involucrados, y aún así ha habido algunas críticas a los procesos administrativos, demasiado laborioso y largos para un sector en efervescencia. La posición mundial de la industria española es muy buena, pero precisamente la competencia de buenos emplazamientos que ofrecen zonas emergentes en esta actividad puede perjudicar el futuro despliegue español, que tiene en la eólica marina su mayor reto. Es un ámbito donde puede resultar difícil compaginar una colaboración abierta entre OPIs y empresas, por la fuerte competencia que ya se da en el campo mercantil. La repotenciación de emplazamientos originarios se perfila también como un área de interés. Por parte de la maquinaria, existen líneas de posible desarrollo innovador, pero hay que reconocer el buen nivel de las máquinas disponibles, y la tendencia de las empresas a rentabilizar los esfuerzos hechos en las líneas ya comerciales.

En la **Solar PV** hay una parte de la actividad, ligada al silicio purificado y otros elementos básicos, que está fuertemente globalizada; aunque este campo, como todos los de este sector, estén aún muy abiertos a la innovación. En el área de ensamblaje de módulos y montaje, las capacidades españolas son sobradas, como se demostró en la burbuja PV de los años 2007 y 2008. La PV tiene además un campo de aplicación variadísimo, yendo desde las fachadas y cubiertas a los huertos solares, lo que le da un plus en el despliegue, por flexibilidad y modularidad. También es reseñable su fácil mantenimiento, con pocas partes móviles, sobre todo en la generación en sí.

La **Solar Termo-eléctrica** ha planteado así mismo una burbuja en el 2008, pero al ser sus plazos de proyecto y ejecución más dilatados que los de la PV, el gobierno ha tenido más tiempo de reacción para reconducir la situación, tal como se ha comentado. Pero el conjunto de proyectos planteados y avales depositados es otra clara muestra de la vitalidad del sector, en el cual hay también un enorme campo para la innovación, y en unas condiciones que España debería aprovechar para liderar

mundialmente este sector. Téngase en cuenta que esta energía necesita radiación solar directa, que es la que se puede concentrar; y en Europa somos el país con más extensión de buena insolación. Al contrario que la PV, que funciona igualmente bien con la radiación difusa que puede haber en Alemania, la Solar termo–eléctrica ha de concentrar la radiación para conseguir temperaturas suficientemente altas en el foco caliente del ciclo termodinámico. Y en ello llevamos geográficamente mucha ventaja, aunque haya tecnólogos y planificadores de países de Europa Central que vean gran interés en desarrollar esta energía para ser explotada en el Sahara, y transmitida a Europa por medios no baratos, que incluso habría que desarrollar con tecnologías verdaderamente disruptivas. *Esa ventaja geográfica española se ha de materializar en superioridad tecnológica*, y en tal sentido esta área debería ser considerada como de alto valor estratégico para el país. Ello posiblemente comportaría su inclusión, muy señalada, en las prioridades de la ***Estrategia Estatal de Innovación***. Y en ello habría que contar con otra especificidad de esta energía, que es su gestionabilidad mediante almacenamiento de energía térmica. Ello daría además posibilidad de funcionamiento no sólo en horas de sol (ante puntas de verano a mediodía) sino algunas puntas (seguramente no todas) en horas posteriores a la puesta de sol.

La **biomasa** parece la cenicienta de esta historia, que no es un cuento de hadas, sino realidad incuestionable. Fue la esperanza fallida del Plan de Fomento de ER de 1999, y diez años después continua mostrando dificultades para experimentar un desarrollo hacia la plana madurez. Curiosamente es una energía muy gestionable, pues se puede almacenar su combustible, pero precisamente las cuestiones relativas a éste, tanto logísticas como mercantiles, parecen lastrar mucho su desarrollo. El *puente agrario-industrial* que habría que tender se revela más difícil de materializar que de concebir. Tampoco ayuda en este contexto la multiplicidad de combustibles y los diferentes mecanismos para aprovecharlos, aunque a su vez eso sea una puerta abierta a la innovación.

El resto de las energías renovables ofrecen en España, y en el mundo, un potencial mucho más discreto. Es obvio que merecen ser explotadas en las localizaciones específicas en las que haya un alto valor del recurso, pero no parece que ninguna de ellas vaya a generar un superciclo de negocio como los que muy probablemente se derivarán de las anteriores.

En esos superciclos, las renovables necesitarán ayudas de las **redes** y de otros complementos, como es el **almacenamiento de energía**. Todo este campo también se enfrentará a cambios profundos, debido a la electrificación creciente, que puede vivir otro largo e intenso boom con el despliegue del *coche eléctrico*. Esta área se escapa del alcance de este Estudio, pero está claro que habrá importantes condicionantes para el continuado despliegue de las renovables, que provendrán del sec-

tor eléctrico, pero que no siempre jugarán en su contra, pues en algunos casos, como el del coche eléctrico y las redes inteligentes, posiblemente jugarán a favor. En todo caso, y como elementos clave para promover eficientemente las renovables en España, y por ende en el mundo, parece importante atender a dos flancos:

- Una mejor ***armonización de la legislación promotora con la planificación*** del sector, que no puede seguir siendo tan abierta en materia de generación.
- Mucho ***mayor empuje a la I&D+i***, no sólo con carácter genérico, sino en líneas estratégicas que merecen especial atención:
  - Aspectos específicos de la eólica marina.
  - Integración de la PV en el sistema eléctrico como el elemento más prometedor de la generación distribuida.
  - La energía solar termo-eléctrica en toda su extensión, incluido muy especialmente el almacenamiento térmico.
  - El puente agro-industrial del combustible de biomasa para generar electricidad.

Las diferencias existentes en la madurez industrial de las diferentes energías, y las considerables diferencias de coste de generación (que actualmente se reflejan en las primas a la generación) señalan la pertinencia de hacer un ***despliegue de las renovables por escalones o fases***, comenzando por la explotación, tan masiva como lo permitan los recursos naturales, de las más baratas, que a su vez son las más maduras. En tal sentido, y en una escala que se tendría que revisar cada cierto tiempo, en función de cómo se avanzara en cada curva de aprendizaje, las fases podrían ser dominadas sucesivamente por:

- Eólica terrestre
- Eólica marina
- Solar-térmica
- Fotovoltaica
- Biomasa

aunque a su vez no hay que olvidar que, para avanzar en la curva de aprendizaje de una tecnología no es suficiente con la I&D, sino que es necesario cierto nivel de despliegue, y éste ha de estar lógicamente incentivado.

Como elemento final de esta síntesis, y buscando proyectar de una manera sinóptica el posible efecto de las Renovables en el sector eléctrico de nuestro país, se añade un escenario de *prospectiva de la generación de electricidad, relativo al 2030*. En él se han tenido en cuenta las consideraciones hechas sobre las distintas renovables, así como el objetivo de reducir sensiblemente las emisiones de gases de efecto invernadero, además de las características inherentes de otros tipos de centrales, como es el caso de las nucleares para el funcionamiento en base, o del gas como potencia de respaldo. Es un escenario discutible, como toda prospectiva, que parte de los 321 TWh de generación bruta de 2008, a los que se ha aplicado un crecimiento anual acumulativo de 1,5%, llegando a 450 TWh; y similarmente a la punta de potencia a cubrir, que alcanzaría los 60 GW en el 2030.

Fuente	Potencia, MWe	Horas	Energía, TWh	Factor en punta	MWe en punta	Mton CO_2
Eólica T.	40.000	2.000	80.	0,01	400	-
Eól. mar	15.000	3.000	45	0,10	1.500	-
Hidráulica	16.000	2.300	37	0,25	3.750	
Bomb. +	8.000	-	-2	0,95	7.600	
Solar PV	25.000	1.500	37,5	0.00	0	-
Solar Ter	20.000	3.000	60	0,15	3.000	
Biom. +	5.000	5.000	25	0,75	3.750	-
Carbón	0	-	-	-	0	0
Nuclear	10.000	8.000	80	0,85	8.500	-
Gas nat.	37.000	2.364	87,5	0,85	31.500	35
Total	176.000	-	450	-	60.000	35

Prospectiva de la generación de electricidad para el 2030

No es ocioso señalar algunas características de este escenario; entre ellas, el hecho de que la emisión de CO_2 que se deduce de él sería un tercio inferior a las cantidades actualmente emitidas por nuestro sector eléctrico, lo que sería una contribución muy significativa a la prevención del cambio climático. Y el porcentaje de energía renovable alcanzaría el 63 % del total (en la "Biomasa" se incluyen los residuos, y en "Bombeo" los otros modos de almacenamiento energético).

Este escenario comportaría cambios tan radicales que verdaderamente se le podría asociar el término de **3ª Revolución Industrial**. A ella se podría añadir la Fusión unos decenios más tarde. Pero ni la Fusión ni las Renovables van a alcanzar su plena madurez si no se tiene éxito en ***un desarrollo tecnológico desafiante***, que ciertamente parece más cercano y asequible en las Renovables que en la Fusión. Lo hecho hasta ahora en las Renovables es encomiable y muy representativo, pero no suficiente para lograr una meta tan ambiciosa. En el camino hacia ella habrá de mantenerse un ***adecuado equilibrio económico*** entre costes, sobrecostes primados y precios, teniendo en cuenta además las limitaciones técnicas de las redes, y la situación de las centrales que proporcionen la ***potencia de respaldo*** a las renovables, lo cual se fía al gas, bien con ciclos combinados convencionales, bien con turbinas de arranque rápido. En ambos casos los costes de inversión inicial serían moderados, seguramente los menores de todo el parque, pero tendrían al mismo tiempo los costes de combustible más altos, lo que en cierto modo justificaría su bajo número de horas de utilización. Aún así, el marco retributivo tendría que reformularse, pero eso no es nuevo en el sector eléctrico, que a lo largo de siglo y pico ha experimentado cambios profundos.

También se debería guardar un equilibrio cuidadoso en la ***estimulación de las inversiones*** en renovables, que debe ir desapareciendo gradualmente, pero en lo cual se habrá de competir con el atractivo de otros países, con emplazamientos más rentables que los marginales que haya en España. Y sobre todo, se habrá de avanzar decididamente en la I+D+i de estas tecnologías, buscando además reducir el retardo en ***pasar de la curva de aprendizaje científico a la de despliegue industrial***. Para ello, como paso urgente, habría que mejorar las infraestructuras de investigación sobre las que desarrollar proyectos representativos y trasferibles a la explotación, en las áreas identificadas como estratégicas, entre las cuales cabe señalar la eólica marina, la solar térmica de concentración, y la fotovoltaica de menores requisitos de material semiconductor (en g/W), así como su integración en el sistema.

Conviene también señalar que el escenario anterior va 10 años más allá de lo visualizado por el gobierno, según el documento elaborado por I.D.A.E. en diciembre de 2009, en la preparación del Plan Nacional de Actuación que cada gobierno tiene que presentar a la Comisión antes del 30 de junio de 2010, en cumplimiento de la Directiva 2009/28/CE; y cuyo cuadro general se recoge a continuación. En las previsiones de IDAE, según se aprecia en el cuadro siguiente, las EERR para generación de electricidad representarán 13,5 Mtep, que a su vez según indica dicho informe, representaría el 42 % de la generación eléctrica del país. Al margen de que la metodología de equivalencias energéticas oficial (de la AIE) sea criticable, parece que el IDAE confía enormemente en la contención del

consumo energético, y ello le lleva a un valor moderado de demanda eléctrica, equivalente a 32 Mtep.

El cuadro de generación eléctrica previsto en este Estudio y expuesto anteriormente, implica una generación de electricidad de 38,7 Mtep; de las cuales 25 serían de origen renovable, esto es el 64,5 %, pero nótese que es para 2030, no para 2020 (todo ello medido en equivalencia Joule simple (0,086 tep por MWh; como pide la AIE). Quizá conviene señalar como arriesgada en la previsión de IDAE es el crecimiento de las EERR para calefacción y para el transporte, pues en este sector se pretende multiplicar por 6, de aquí al 2020, el consumo de biocarburantes, cuya tecnología de segunda generación no está tan madura como las de generación de electricidad; pero en todo caso el tema se escapa del alcance de este Estudio.

A. Consumo final de energías renovables	2008	2012	2016	2020
Energías renovables para generación eléctrica (Art. 5.1.A.) (ktep)	5.342	8.477	10.682	13.495
Energías renovables para calefacción/refrigeración (Art. 5.1.B.) (ktep)	3.633	3.955	4.740	5.618
Energías renovables en transporte (Art. 5.1.C) (ktep)	601	2.073	2.786	3.500
Total energías renovables (ktep)	9.576	14.504	18.208	22.613
Total energías renovables corregida según Directiva (ktep)	10.687	14.505	17.983	22.382
B. Consumo final de energía final (ktep)	2008	2012	2016	2020
Consumo de energía bruta final (Art. 5.6)	101.918	93.321	95.826	98.677
% ER / E final	10,5%	15,5%	18,8%	22,7%

Energías renovables / Energía final (metodología Comisión Europea)

ACTUACIÓN ESPECÍFICA EN LAS RENOVABLES

Si en verdad se desea confiar a las renovables una alta fracción del suministro de la electricidad demandada, es preciso poner en marcha unos mecanismos de innovación y desarrollo tecnológico acordes con el enorme desafío que supone ese objetivo; que además ha de cumplirse con características que se ajusten sufi-

cientemente bien a las características de la demanda, y con unos costes de generación verdaderamente competitivos, para no penalizar el bienestar individual y colectivo, ni la actividad económica. Por supuesto, el futuro previsiblemente registrará alzas notorias de los precios internacionales de la energía ($/barril de petróleo) lo cual facilitará la competitividad de las renovables; pero incluso en ese marco, se ha de buscar una reducción significativa de costes, que no debe considerarse irreal, pues en muchas tecnologías es muy escaso el esfuerzo de I&D&i realizado hasta la fecha.

Este convencimiento, derivado del análisis realizado en este Estudio, y de las prognosis realizadas por muchos especialistas de las diversas energías, lleva a proponer la iniciativa pública, con arrastre de los sectores privados, de una **Actuación Específica en las renovables,** que encauce la vitalidad ya demostrada en varias de estas energías, activando las capacidades del país en la creación de tecnologías innovadoras que puedan contribuir a una reducción de costes y a una explotación eficiente y racional de estos recursos naturales, que requieren un uso masivo de territorio.

Esta Actuación estaría enmarcada en la estrategia E2I, pero en cierto modo iría más allá de ella, pues tendría que involucrar muy señaladamente a Industria y Energía, pues los avances logrados en Ciencia y Tecnología han de transvasarse y hacerse efectivos en la explotación industrial.

Para lograr un incremento revolucionario (digno de la 3ª Revolución Industrial) de las prestaciones reales de las renovables, se debe estimular extraordinariamente las I&D&i en áreas seleccionadas, para lo cual sería preciso:

- Un Debate Técnico de Base (que podría ser gestionado o coordinado por la propia F2E)
- Elaborar Mapas de Alternativas por sectores.
- Establecer Programas y herramientas, gestionadas por las adecuadas agencias presupuestarias, no siendo descabellado pensar en la creación de una Agencia ad hoc para este fin, por requerir peculiaridades muy señaladas, que no posee ninguna de las entidades existentes.

Es un hecho evidente que en el último decenio se ha producido un cambio positivo extraordinario en el despliegue de las renovables. En ese cambio ha tenido mucha influencia la I+DT, que ha ido aclarando qué dispositivos o mecanismos ofrecen las mejores prestaciones dentro de cada familia energética; aunque aún

quede mucho camino por recorrer, que es precisamente el que se ha de abordar en **una nueva etapa de I+DT**. Etapa que tiene su **ventana de oportunidad en estos momentos**. Por supuesto que seguirá habiendo siempre necesidad de investigar y mejorar, pero la mayor parte de ese esfuerzo debe hacerse ahora, y los países y empresas que mejor respondan a este reto en este momento, más y mejor rentabilizarán sus esfuerzos.

Para responder por parte de nuestro país a este importantísimo reto, ***las herramientas y presupuestos actuales de I+DT no sirven***. Las renovables, cada una con sus especificidades que se señalan es este Estudio, necesitan un tratamiento individualizado, basado en una diagnosis completa de cada una de ellas (a lo que este Estudio pretende contribuir) y estructurado teniendo en cuenta todos los agentes tecnológicos que puedan participar, y todos los vacíos que hay que cubrir, y todas las opciones prometedoras que hay que indagar. Puede parecer una ***tarea de dimensiones sin precedentes en la tecnología española***, que requerirá entidades que ejerzan un verdadero liderazgo, de nivel internacional, como dinamizadores y coordinadores de las actividades a poner en marcha en cada área; pero merece la pena intentarlo, y nuestro país cuenta con elementos para hacerlo, aunque no se puede ignorar las dificultades y esfuerzos que comportaría una actuación de tal magnitud. Pero los riesgos, si es que se puede llamar así a no recuperar todo el dinero invertido en I+D, merece la pena: Las energías renovables van a contribuir de manera señalada al **verdadero despliegue del Desarrollo Sostenible**, y cubrirán en ello dos misiones importantísimas: la ***satisfacción de una parte sustancial de la demanda de energía***; y la constitución de ***un sector industrial de alta productividad y creación de empleo***. Estas posibilidades son las que han hecho calificar a las renovables como los cimientos de una 3ª Revolución Industrial.

CAPÍTULO 1. MARCO ACTUAL Y PROSPECTIVA ENERGÉTICA

Capítulo 1. Marco actual y prospectiva energética

1. PLANTEAMIENTO: CRISIS, CAMBIOS Y OPORTUNIDADES

En este documento se hacen propuestas para el desarrollo de las energías renovables en España a medio y largo plazo y, eventualmente para la colaboración en su aplicación al sistema energético mundial; en lo cual la industria española puede y debe aprovechar las capacidades adquiridas en el despliegue propio. A estos efectos parece razonable hacer una reflexión para situarnos en el contexto actual, y saber cómo hemos llegado a él, para establecer las bases por las cuales se hace una apuesta firme por las energías renovables; las cuales han dejado de ser ese adorno que en ciertos momentos se proponía para el sistema energético, para pasar a ser una necesidad así como una parte sustancial del mismo.

Nos encontramos en una situación de crisis amplia, en la cual hemos de reconocer dos aspectos básicos: el significativo deterioro ambiental de la Tierra, del cual se recibe información fehaciente desde al menos hace tres décadas, y la quiebra del modelo económico que admite diferentes puntos de vista, en cierta medida relacionados con la posición ideológica del pensador en cuestión. En esta última cuestión económica aparece como un factor añadido el de las previsiones de una baja oferta de hidrocarburos en relación a la demanda teórica que se prevé de los mismos. Esto, junto a la crisis ambiental, es un aspecto básico en nuestra línea de reflexión a favor del desarrollo de las energías renovables.

En el caso de España estamos inmersos además, como consecuencia de la crisis económica, en una crisis de empleo, la cual ha sobrepasado la cifra de cuatro millones de personas en edad laboral en paro; hay opiniones que apuntan además a que esta situación se agravará a lo largo del año 2010 y posiblemente a finales de este año estemos en parámetros de 20% de desempleados ó unos cinco millones de parados. No es éste el lugar de análisis de la peculiar situación de

España, pero sí de tenerla en cuenta para las reflexiones que se hagan en este documento en relación al binomio: energías renovables y empleo.

Un planteamiento como el que se propone en los capítulos siguientes ha de tener en cuenta diferentes aspectos, entre ellos la viabilidad económica de las soluciones que se propongan; pero esta no puede ser la resultante de un análisis a corto plazo y con valores de hoy, cuando el cambio que se presupone en el mundo va a ser significativo y dará al traste con diferentes esquemas que hoy nos parecen inmutables. Parece preciso intuir oportunidades y tomas soluciones valientes; las energías renovables nos aparecen en esa línea de pensamiento.

La crisis económica incluye una situación de descontrol y desconfianza en el sistema financiero, en el cual la libertad de circulación de capitales en el mundo saca del mínimo control de los estados a un volumen de activos y flujos financieros que tiene como mínimo el valor del producto global bruto del mundo. Se ha constituido así un poder difuso que es mayor que el correspondiente a la mayoría de estados y por ende de la ciudadanía mundial. Al ser un poder desestructurado y que además tiene una cultura y "moral" especuladoras, resulta difícilmente predecible, y al mismo tiempo afecta a numerosos planteamientos políticos y en particular a las decisiones energéticas. Esta realidad se habrá de tener presente en el cambio de modelo energético que se proponga para el futuro.

Ya a principios del siglo XX, el gobierno norteamericano tuvo que dictar las leyes que obligaban a una compañía energética, la Standard Oil a dividirse en las famosas "siete hermanas", intentando evitar con ello que el consejo de administración de una empresa tuviera más poder que el propio Gobierno del país que ya se apuntaba como el de más capacidad de decisión en el mundo. Ahí ya se vio claro que las grandes empresas, o eventualmente los grupos financieros, podrían en algún momento actuar por encima de la voluntad de la ciudadanía y por tanto hacer que esta tan citada "democracia" no fuera ni mucho menos lo que decimos de voluntad popular.

En España, en fechas cercanas a las correspondientes a las que supusieron el cambio citado en el párrafo anterior, se crea CAMPSA, Compañía Arrendataria del Monopolio de Petróleos; entidad que tiene un carácter de gestión de impuestos en el contexto energético y, de otro, más importante si cabe, de hacer valer en los mercados la capacidad de compra de un país, en este caso España, frente a las empresas petroleras que tratan de imponerse sobre los estados medios o pequeños.

No hay que olvidar, a colación de estas reflexiones que el sistema energético es intensivo en capital y, dentro de ese sistema energético, la parte correspondiente al subsistema eléctrico es la de mayor peso. En conjunto, las inversiones necesarias

para hacer que el sistema energético evolucione en el actual esquema suponen el 3% del Producto Global Bruto del Mundo, tal como recoge la figura nº 1 tomada de un estudio de la Agencia Internacional de la Energía, la cual mostraba su preocupación por que no hubiera flujos financieros disponibles suficientes para atender las necesidades de inversión energética en el mundo para atender las necesidades del periodo 2000 a 2030. El sistema eléctrico se quedaba con los dos tercios de esas inversiones, lo cual es otro punto a tener en cuenta en nuestras reflexiones.

Esa llamada de atención de la AIE se ha de complementar con la atención que merecen realidades relevantes, y especialmente dos, una de corte social, otra eminetemente económico-energético: una cuarta parte de la población mundial no dispone de energía eléctrica; y el desarrollo del sistema eléctrico se está basando y se basará en buena medida en el uso del gas natural como combustible, opción tecnológica propiciada por la inversión específica más baja: 700 €/kW neto instalado.

Conviene adelantar que las empresas eléctricas han tenido tradicionalmente una fuerte interrelación con la banca o el sistema financiero en muchos países;

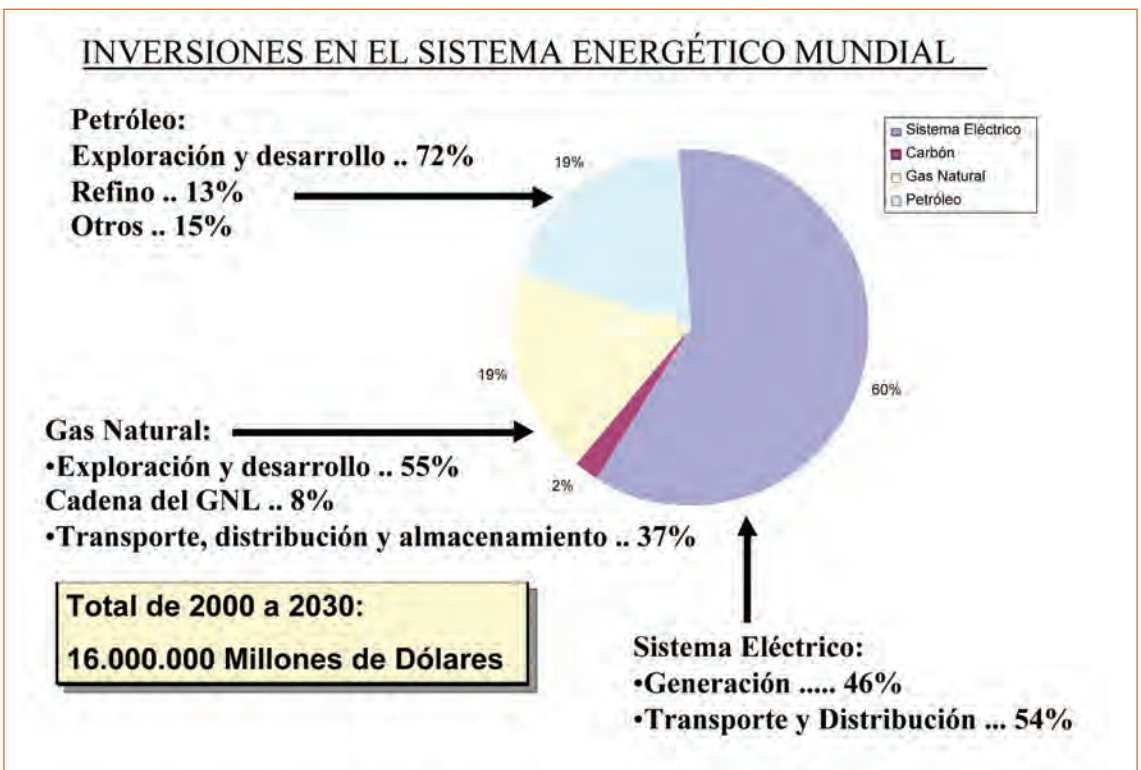


Figura 1.- Una estimación de las inversiones necesarias en el sistema energético global del año 2004. Fuente: Agencia Internacional de la Energía. Nota: Gráfica elaborada en el año 2000. Hoy habría que multiplicarla por 1,5.

aunque en algunos casos esa conexión ha sido matizada por una presencia fuerte del Estado. Esa relación se ha manifestado de diferentes formas, que han configurado diferentes esquemas reguladores, muy en consonancia con la tendencia de reducir el intervencionismo del estado e incrementar el poder del mercado. Hay que anotar, sin embargo, que el desarrollo de las Renovables en los países del mundo que han sido pioneros en esta línea, no se ha basado en el mercado, sino en los incentivos de primera magnitud que se han decretado desde el estado. No cabe ignorar eso en un estudio sobre estas fuentes de energía. Ciertamente lo ideal es que lleguen a convertirse en verdaderos ciclos de negocio y de creación de riqueza, pero ciertamente se ha comprobado que el mercado en sí carece de medios e incentivos para propiciar élmismo este importantísimo cambio.

En el desarrollo del sistema eléctrico conviene citar además que ha habido algunos momentos históricamente singulares, en los cuales el factor determinante no ha sido sólo la inversión, sino que han concurrido otras consideraciones, lo cual es importante de recordar, ya que en la actualidad nos encontramos en un momento de cambio como los que se citan a continuación:

a) En la década de los años treinta del siglo pasado se produjo una situación de crisis global similar a la actual. Las propuestas de Lord Keynes para salir de ella se unen en cierta medida a la inversión estatal en energía; que en el caso de Estados Unidos cuajan con la constitución de una empresa, Tennesse Valley Authority, TVA, que sigue siendo uno de los pilares del sistema eléctrico en dicho país.

b) A mediados de la década de los años cuarenta, en España el sistema hidráulico no es capaz de suministrar electricidad a lo largo de todo el año; surge la Empresa Nacional de Electricidad, S.A. que nace con una fuerte inversión en generación con carbón, en principio sólo utilizable en verano y otoño, cuando no se disponía de agua en los embalses, pero que debería garantizar la operación del sistema eléctrico peninsular, como así fue.

c) Después de la Segunda Guerra Mundial, varios países europeos: Francia, Gran Bretaña ó Italia, estructuran empresas eléctricas públicas que integran otras anteriores de carácter privado con el objeto de ofrecer a la ciudadanía uyn servicio eléctrico fiable.

Las expectativas de que la oferta de crudo en los mercados internacionales sea menor que la demanda a nivel mundial es un factor añadido de crisis, el cual parece que será una realidad de peso significativo antes de mediados de este siglo. Hace un par de años, el precio del barril de petróleo alcanzó la cifra de 140 $/bbl, mien-

tras que el coste de extracción en: el Golfo de México, Venezuela u Oriente Medio se sitúa por debajo de 10 $/bbl. No queremos creer que ello es única y exclusivamente un fenómeno especulativo: pensamos que hay razones que llevan a limitaciones en los previsibles intentos de aumentar la capacidad mundial de extracción.

Sí que podemos pensar que ese precio de 140 $/bbl pudo ser uno de los alfileres que pinchó el globo financiero mundial. En febrero de 2010, el petróleo se vendía en el mercado internacional a unos 70 $/bbl. Esto hace factible la extracción de crudos atípicos de las arenas bituminosas de Alberta, Canadá, cuyo coste de procesado exige que el petróleo a que va a sustituir se mueva por encima de 60 $/bbl.; este nuevo recurso energético es ya el 2% de petróleo que utilizamos. La creencia de que el "pico del petróleo" se situará entre 2030 y 2050 parece reforzada con esas y otras señales, confiando además en que la violencia, sea de quien sea, no quiebre la salida de crudo de áreas en conflicto, particularmente de Oriente Medio.

La menor disponibilidad de petróleo incidirá en la movilidad y el transporte, en particular mermando el desarrollo del turismo y del comercio, que son dos motores de la economía y, que en el caso de España tiene en el turismo un particular peso en nuestro Producto Interior Bruto, 12% del PIB.

Es previsible que el gas natural y otras opciones energéticas avancen para cubrir las deficiencias en el suministro de petróleo. El uso del gas natural, como ya ocurre en diversos países: Argentina ó Brasil, reducirá las posibilidades de generación de electricidad con dicho combustible, que como se dijo anteriormente ha sido la opción preferida por el modelo energético económico en el cual estamos inmersos: crecimiento de la potencia instalada en ciclos combinados, tal como ha ocurrido en España en los recientes años pasados.

Es previsible que en el suministro mundial de gas natural aparezcan las tensiones que se viven en el mercado del petróleo, hay signos de ello, por ejemplo en ese corredor teórico que podría llevar el gas desde Asia Central al puerto de Karachi en Pakistán. Pero lo que sí se puede apuntar es que también aparecerá un pico de extracción, quizás a mediados del siglo XXI. Hemos pues de ahorrar en el uso de ambos hidrocarburos: petróleo y gas, con el fin de alargar su vida y, a qué en paralelo lleguen a esos países que no tienen otras opciones energéticas, tanto para la movilidad y el transporte como para otros usos.

Más adelante se mencionarán esas opciones tecnológicas para suministrar energía a la movilidad y el transporte. Se verá que pueden conectarse a esquemas que apuntan a las energías renovables, pero hay que anticipar que aparecerán dificultades que pueden cuestionar algunas de esas soluciones.

- Mi señor Don Quijote, ¿no iremos ahora contra estos gigantes?

- No, buen Sancho, en aquella historia que narró don Miguel había motivos para ir contra los molinos de los banqueros flamencos.

- ¿Ahora no los hay?

- Espero que no haya razones para ellos, pues quiero creer que hoy prima el interés general frente al de esos que son primero buscadores del lucro particular.

- ¿Es cierto que se precisa la energía eólica en todo el mundo?

- Habría que extenderla aunque no se ganara tanto dinero con ella.

Figura nº 2.- Reflexiones hacia el cambio: Petróleo por energía eólica. Parque eólico de Sotavento (Fotografía y reflexiones de Emilio Menéndez).

Época de crisis: economía, demografía, medio ambiente

Los comienzos del siglo XXI han visto aflorar diversos tipos de crisis, en gran medida larvadas desde decenios anteriores, pero evidentes y con impacto creciente en este siglo. Posiblemente la crisis más relevante mediáticamente hablando sea la económica, ya citada en párrafos anteriores, y que podría tener en el sector energético, incluidas las Renovables, una de las claves de su solución.

La crisis demográfica es un tanto paradójica y más compleja, tal como de aprecia en los documentos y estadísticas del Fondo de las Naciones Unidas para la Población (*www.unfpa.org)* pues manifiesta un crecimiento muy considerable en la muchos países en vías de desarrollo, particularmente africanos y asiático-musulmanes, al tipo que se aprecia una retracción poblacional enorme en diversos países, que en unos casos se compensa con una inmigración de grandes dimensiones, como es el caso de España, y en otros resulta difícil esa compensación inmigratoria, como es el caso de Rusia. Como dato peculiar se aprecia que Europa (esencialmente la Unión Europea) se perfila como un "shrinking continent" que irá perdiendo peso relativo en todos los órdenes, particularmente en % de población respecto del

mundo, aunque también perderá cuota en consumo energético y en producto interior bruto. Como ejemplo, se prevé que la población de sólo dos países africanos, Nigeria y la República Democrática del Congo, tendrán para el 2050 más habitantes que toda la UE. Lo que eso termine significando en el balance de poder comercial y en las presiones migratorias es muy difícil de predecir y se escapa del alcance de este estudio, pero supone una referencia fundamental, pues el fuerte aumento poblacional general se enraíza en países con muy bajo nivel de renta y de consumo per cápita. Si estos países iniciaran consistentemente una senda de industrialización parecida a la del llamado primer mundo, las implicaciones en economía y en energía serían formidables. Este es un razonamiento adicional para confiar en las Renovables como base de la ampliación energética del futuro. Y de no entrar por la senda de cierto desarrollo, las presiones migratorias se dispararían posiblemente, por el fuerte gradiente de rentas existente, cada vez más fácil de provocar efectos, en un mundo cada vez más globalizado y mejor comunicado.

Como resumen de presentación de esta crisis, es muy procedente copiar literalmente lo que el Fondo declara actualmente, copiando la presentación del apartado "Population trends" del citado website:

> We are living in a world of unprecedented demographic change. After growing very slowly for most of human history, the world's population more than doubled in the last half century to reach 6 billion in late 1999. By 2006 it had reached 6.7 billion. Lower mortality, longer life expectancy and a youthful population in countries where fertility remains high all contributed to the rapid population growth of recent decades.
>
> According to the 2008 Revision, the world population is expected to rise by 2.53 billion people, to reach a total of 9.1 billion in 2050. The increase alone is close to the total world population in 1950. Essentially all of the growth will take place in the less developed countries, and will be concentrated among the poorest populations in urban areas.
>
> By contrast, the overall population of the more developed countries is likely to show little change over the next 41 years, remaining at about 1.2 billion. Fertility is below replacement level (2.1 children per woman) in all 45 developed countries or areas, as well as in 28 developing countries including China. The population of developed regions is ageing and would actually decline were it not for migration. The populations of Germany, Italy, Japan and most of the successor states of the former Soviet Union are expected to be lower in 2050 than they are today.

España no es citada textualmente junto a Alemania, Italia y Japón como países en declive demográfico, pero ello se debe a la fuerta inmigración experimentada en el último decenio antes de la aparición de la crisis económica. La realidad es que durante muchos años, a finales del siglo XX y primeros del XXI, España ocupaba el puesto más bajo en el ranking mundial de fertilidad.

La otra crisis global que marca la entrada al siglo XXI es la ambiental. Tiene connotaciones diferentes a la que se expone en los párrafos anteriores, y quizás los puntos más significativos a citar respecto a ella son: por un lado que en gran parte viene del modelo económico de consumo en el cual un tercio de la Humanidad está inmerso; y por otro, que no se escuchan las voces de los que advierten del continuado deterioro ambiental, las cuales son sobrepasadas u ocultadas por el miedo a los problemas derivados de las crisis económicas.

Ese deterioro del entorno global lo hemos de asumir como un problema de hoy, pero sobre todo de herencia para las generaciones venideras; nos lleva a dar un salto sobre las ideas clásicas de las filosofías de solidaridad social tradicionales, sean religiosas o políticas, que se focalizaban en lo que podíamos hacer el "tiempo presente" para introducir la visión de un "tiempo más amplio", el concepto de la responsabilidad inter generacional, el cual si bien aparece de alguna forma también en esas doctrinas clásicas, hoy se hace más patente en la definición de eso tan poco asumido que es la "sostenibilidad" ó "sustentabilidad", las cuales aquí hemos puesto juntas pero que tienen matices que las diferencian , aunque no es éste el momento de profundizar en ellos.

Cualquier actividad humana incide en su entorno, con deterioro del mismo o con introducción de agentes contaminantes cuyos efectos se harán visibles a corto o largo plazo. Esa capacidad de alteración del medio se ha disparado a lo largo del siglo XX en el cual la Humanidad multiplica por seis el número de individuas de su especie y además el devenir tecnológico le proporciona herramientas con capacidad de fuerte incidencia ambiental; por ejemplo los medios de transporte que definen la vida de un buen número de personas: automóvil o aeronaves.

El deterioro ambiental tiene muchos aspectos a considerar: erosión y desertización, mala gestión de aguas y contaminación de las mismas, emisión de contaminantes a la atmósfera, gestión de residuos, agresión a la biodiversidad, riesgos químicos y genéticos, emisión de gases de efecto invernadero, etc. La valoración global de la misma es difícil de cuantificar, aunque hay un cierto consenso en el mundo científico en utilizar el concepto de Huella Ecológica, la cual mide la superficie de la Tierra necesaria para suministrarnos todos los recursos que con-

sumimos y a la vez para digerir todos y cada uno de los residuos que emitimos en nuestras actividades, sean estos del tipo que sean.

En la figura nº 3 se recoge un desglose de la misma elaborado por unos investigadores, el cual no se diferencia de forma significativa del que proponen otros. A nosotros nos importa que en las diferentes versiones de cual es nuestra Huella Ecológica aparece que la energía es la mitad aproximadamente de la misma y, que el sistema de combustibles fósiles supone la mayor parte de esta. Sin olvidar que en añadidura los usos de la Tierra para alimentación son el otro gran concepto a tener en cuenta, esto se ha de tener en cuenta al reflexionar con ciertos planteamientos energéticos que se comentarán más adelante, en concreto la agroenergía.

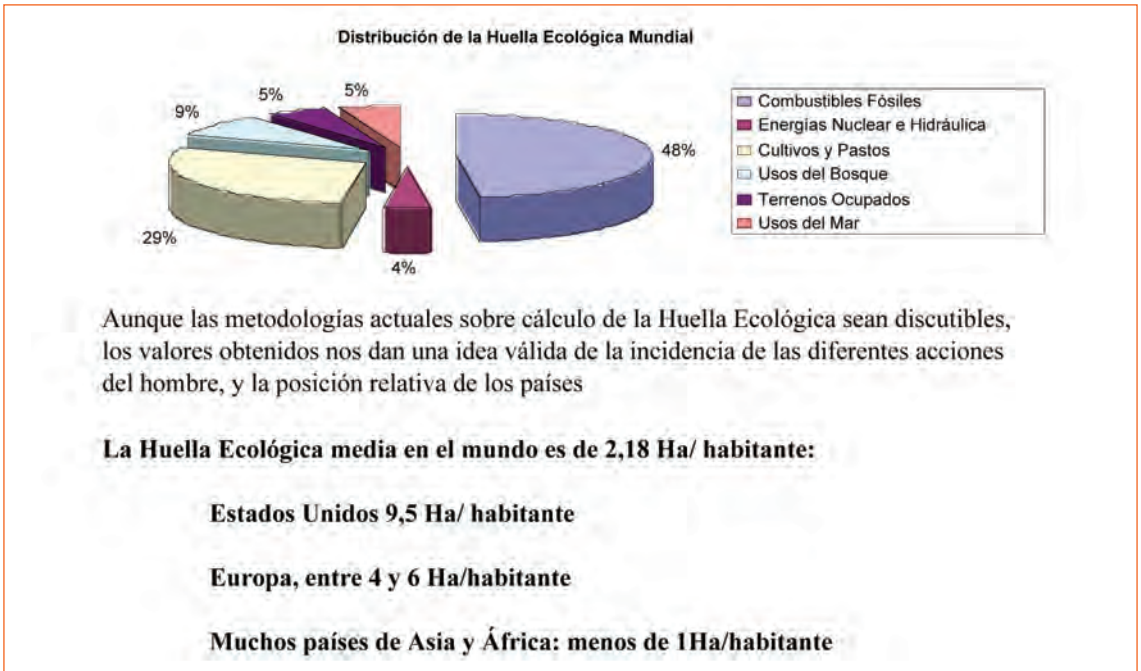


Figura 3.- Desglose por conceptos de la Huella Ecológica de la Humanidad, valorada al año 2004. Fuente: Martín Palmero, Federico. Con datos de: Venetoulis, Chazan y Gaudet (2004).

Las distintas valoraciones de la Huella Ecológica desde diferentes investigadores sugieren que ya sobrepasa la capacidad de respuesta de la Tierra, posiblemente en torno a un 25% de ésta. Se estima que a mediados de la década de los ochenta del siglo pasado se llegó a esa situación en la cual la huella y capacidad de respuesta eran similares. Si esto es así, ya nos encontramos en clara posición de insostenibilidad y es preciso con urgencia volver hacia atrás. Algunos pensadores consideran que no es factible ese retorno sólo con medidas de cambio o

mejora tecnológica y que es preciso ir hacia otros modelos sociales y económicos, desde luego de menor consumo e incluso de decrecimiento, cuyo planteamiento en la actual posición de fuerte crisis de empleo no es fácil.

El sistema energético global está basado en la actualidad en los combustibles fósiles, las cuatro quintas partes del aporte de energía primaria. Las emisiones de CO_2 en la transformación y uso de estos combustibles son el aporte principal de gases de efecto invernadero que se unen al calentamiento global o al cambio climático, problema que se percibe como uno de los más críticos a los que se ha de enfrentar la Humanidad en el siglo XXI. En el conjunto de los gases de efecto invernadero se incluyen en primer lugar el CO_2, el CH_4 como segundo actor del fenómeno de calentamiento, el N_2O en tercer lugar, más otros varios; el conjunto de todos ellos se valora como concentración de CO_2 equivalente.

El calentamiento global

La Tierra tiene un sistema climático global que está condicionado por diferentes factores que no mantienen constantes sus parámetros de referencia, evolucionan continuamente desde el origen de la Tierra; entre ellos hay que considerar la situación de la corteza del Sol y su radiación hacia nuestro planeta, los campos electromagnéticos en la Tierra, la situación de ésta en su órbita alrededor del Sol y, la estructura de la atmósfera terrestre, en particular la de los gases de efecto invernadero.

Nuestro conocimiento de la evolución reciente de la Tierra y su sistema climático nos indica que a lo largo de los últimos 600.000 últimos años la concentración de CO_2 equivalente se mantuvo entre 200 y 300 partes por millón, ppm; las concentraciones más bajas se asocian a periodos glaciares, cuya extensión unitaria ha sido del orden de los 100.000 años, y las puntas más elevadas de concentración, no superiores a 300 ppm, a periodos interglaciares cuya duración media ha sido de unos 20.000 años. El actual periodo interglacial se inició hace unos 15.000 años.

A mediados del siglo XIX la concentración de CO_2 equivalente era de unas 250 ppm, valor acorde con esta historia reciente de la Tierra y su situación climática. En la actualidad esa concentración ha sobrepasado el valor de 388 ppm y, en función de las emisiones habidas en los años últimos y previsión de las correspondientes a los más próximos, se estima que a finales de este siglo XXI esa concentración de CO_2 equivalente no será inferior a 450 ppm; esto supondría según los modelos climáticos que la temperatura media de la Tierra sería 2 ºC por encima de la actual, pasaría de 15 a 17 ºC de media.

La preocupación más crítica no es que tengamos ese incremento de 2 ºC, sino que la concentración de CO_2 equivalente sobrepase ese nivel de los 450 ppm y se acerque a otros mucho más preocupantes, en torno a los 600 ppm. Las distorsiones climáticas serían muy significativas y previsiblemente dramáticas, incrementando las condiciones de baja habitabilidad de amplias zonas de la Tierra.

En la actualidad nos situamos en un nivel mundial de emisiones en torno a 30.000 millones de t de CO_2 de origen energético, mientras que el total de gases de efecto invernadero se evalúa en casi 45.000 millones de t de CO_2 equivalente. Se dibujan diferentes esquemas de reducción de estas emisiones para frenar el fenómeno del calentamiento global. Aquí tomamos la propuesta de que al año 2050 esas emisiones se reduzcan un 50% y al año 2080 la reducción sea de al menos un 80%; todo ello sobre la base de que el incremento de emisiones a nivel mundial se frene antes del año 2020 y a partir de esa fecha se inicie el proceso de reducción.

No será fácil conseguirlo a nivel mundial salvo que los países más desarrollados económicamente nos pongamos a trabajar muy en serio. El conjunto de países que en su día se denominaron "en vías de desarrollo" hoy avanzan con crecimiento económico que da oportunidades de desarrollo a sus poblaciones, pero ello en paralelo supone un aumento de emisiones de gases de efecto invernadero; lo cual no es posible evitar aunque si moderar, mediante invención y aplicación de opciones tecnológicas de uso más eficiente de la energía, que se les pueda transferir Además de esa importantísima senda, por ahora apenas hollada, del ahorro la eficiencia energética, otro vector esencial en esa luchas lo constituirán las energías renovables. Pero es obvio que antes de transferir éstas hacia países con escasos medios financieros y bajo nivel tecnológico, es preciso un esfuerzo propio que ponga en explotación el gran abanico de opciones a las que se podría recurrir; pero que en estos momentos no resultan de interés, por disponerse de otras tecnologías e inversiones que hay que amortizar. La cuestión es que alguien ha de mirar a más largo plazo que lo común en el mercado, y en el propio calendario político, que no ve más allá de cuatro años.

Los países desarrollados nos comprometimos a una contención y reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero, Compromiso de Kioto, que algunos han conseguido cumplir, pero que en una gran parte de los casos no se ha cumplido, por ejemplo en el caso de España tal y como muestra la figura nº 4; llegamos a este año de referencia de 2010 con unas emisiones de un 28% por encima de las habidas en 1990, mientras que el objetivo era quedarse en sólo un 15% por encima de esa referencia.

El reto para el futuro de todos los países ha de contemplar dos opciones básicas, por un lado y en primer lugar esquemas de uso eficiente de la energía y

modelos culturales que eviten el derroche de la misma, de otro lado el desarrollo intensivo de las energías renovables.

Esta segunda opción de energías renovables y en su aplicación al sistema eléctrico es la que se contempla en este documento, ya desde el inicio de las reflexiones que a continuación se exponen se indica que la solución de energías renovables en el sistema eléctrico, al igual que otras opciones de no emisión directa o indirecta de CO_2, supone aumentar sensiblemente el nivel de inversiones en el desarrollo del mismo, lo cual choca en un principio con la situación actual de crisis económico financiera en la cual estamos inmersos. De aquí esas reflexiones que se han puesto como introducción al documento.

En todo caso, es importante constatar que existe una iniciativa tan sólida como la que representa el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (www.ipcc.ch) y si bien las reflexiones y conclusiones de este Panel no pueden adoptarse como dogma, y en muchos casos son solo una pieza más con la que cuentan los gobiernos, lo cierto es que representa una tarea mundial, y no mal

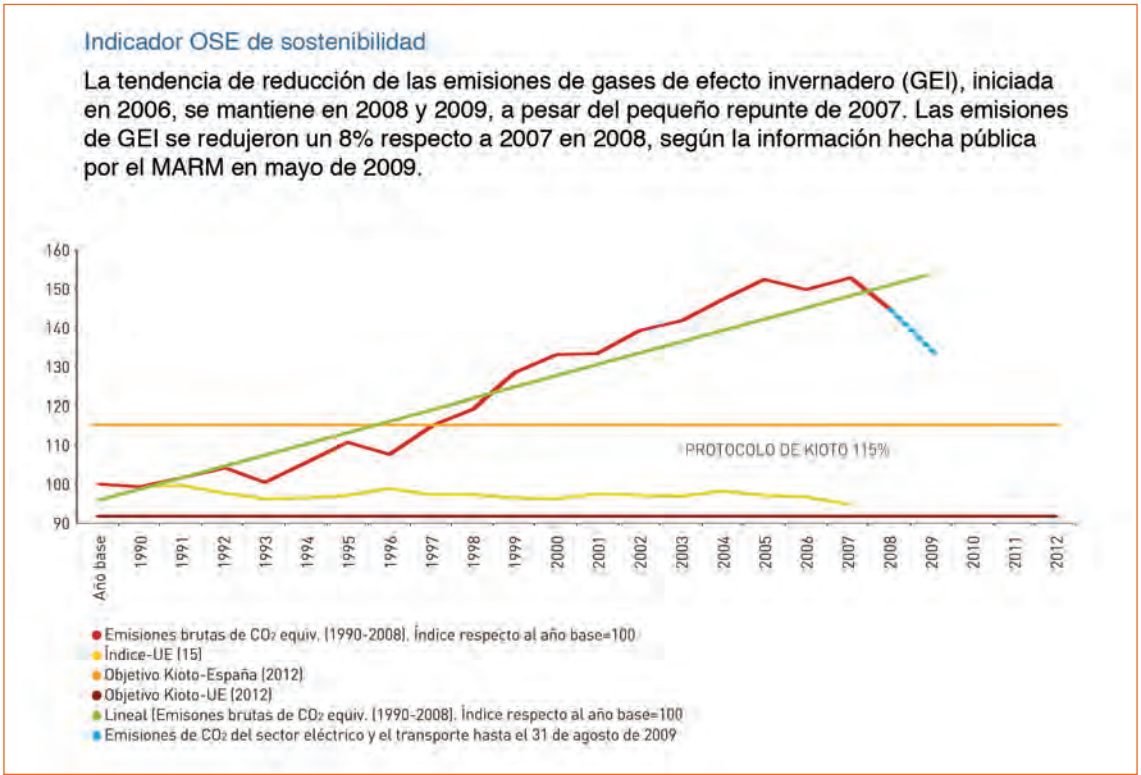


Figura 4.- Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en España. Fuente: elaboración OSE a partir de MARM 2009. Datos UE-15; Eurostat, 2009.

soportada presupuestariamente, para aquilatar las características del problema, cuyas dimensiones macroscópicas se pueden apreciar en el siguiente histograma de emisiones, tomado de www.ipcc.ch

Actualmente el IPCC se encuentra encarando las últimas fases de su Fifth Assessment Report, que actualizará el AR4, que se concluyó en 2007. Es importante reseñar la estructuración en tres grupos de trabajo (WG) dedicados a.

- WG I ; The Physical Sciences Basis
- WG II: Impacts, adaptation and vulnerability
- WG III: Mitigation of Climate Change

En este ultimo grupo es donde se ubica la respuesta tecnológica al cambio climático, que incluye como elemento esencial el despliegue masivo de renovables. Una de las conclusiones fundamentales de este WG, compilando las múltiples publicaciones que se han dado en este campo, afirma:

> Relevant literature implies that policies and measures may induce technological change. Remarkable progress has been achieved in applying approaches based on induced technological change to stabilisation studies; however, conceptual issues remain. In the models that adopt these approaches, projected costs for a given stabilization level are reduced; the reductions are greater at lower stabilisation levels.

No obstante, hay voces discrepantes que cuestionan la autoría humana en la reciente evolución del clima, señalando, como una base firme de su razonamiento, que el clima en el planeta ha cambiado drásticamente a lo largo de los tiempos

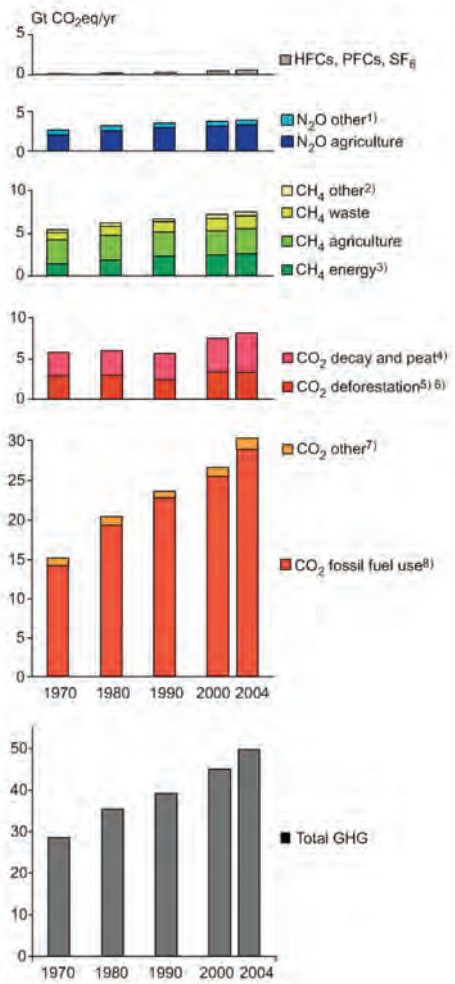


Figura 5. Evolución de la emisión de CO_2 mundial de CO_2 y otros GHG

geológicos, sin que la actividad humana tuviera nada que ver, pues la especie humana no había aparecido aún. Para aquilatar adecuadamente esta cuestión, de dar al César lo que es del César, el IPCC mantiene una línea de trabajo sobre la causalidad, al menos parcial, de la actividad humana en "este" cambio climático, aunque no tuviéramos participación ninguna en los anteriores, incluyendo la sucesión períodos glaciares e interglaciaciones de nuestra época geológica actual (últimos dos millones de años). En esa línea cabe citar una de las actividades más recientes del IPCC, específicamente el seminario siguiente:

> **IPCC WGI/WGII Expert Meeting on Detection and Attribution Related to Anthropogenic Climate Change**
> 14-16 September 2009, Geneva, Switzerland

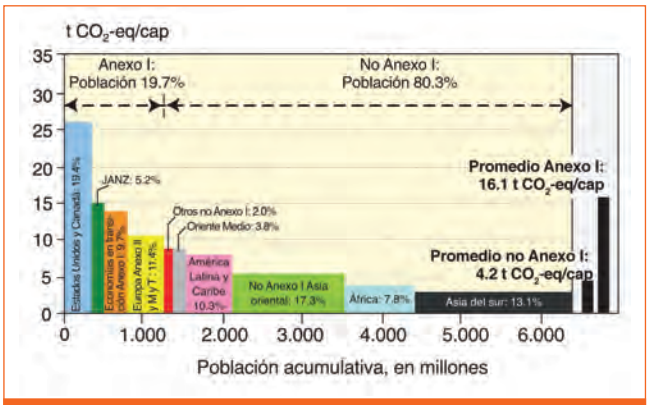


Figura 6. Emisión de CO_2 per cápita en diversas regiones del mundo (2004)

Una cuestión no menor en este contexto es la relación entre la generación de los gases de efecto invernadero, GHG, y la economía. Este es un aspecto a menudo olvidado, pero que hay que reseñar por cuestiones de equidad en todos los sentidos, pues no sólo importan los individuos como tales, sino por su capacidad de generar riqueza en sentido genérico, pues ello contribuye al bienestar personal y colectivo.

Respecto de las Energías Renovables, es importante citar de nuevo textualmente al IPCC, que lógicamente considera que estas energías serán un factor esencial en la lucha contra el cambio climático, pero no todas ellas están en el mismo grado de madurez ni con la misma capacidad de aportar parte de la solución:

> Renewable energy accounted for over 15% of world primary energy supply in 2004, including traditional biomass (7–8%), large hydro-electricity (5.3%, being 16% of electricity generated[1]), and other 'new' renewables (2.5%) (Table 4.2). Under the business-as-usual case of continued growing energy demand, renewables are not expected to greatly increase their market share over the next few decades without continued and sustained policy intervention. For example, IEA (2006b) projected in the Reference sce-

nario that renewables will have dropped to a 13.7 % share of global primary energy (20.8 % of electricity) in 2030, or under the Alternative Policy scenario will have risen to 16.2 % (25.3 % of electricity).

Renewable-energy systems can contribute to the security of energy supply and protection of the environment. These and other benefits of renewable energy systems were defined in a declaration by 154 nations at the Renewables 2004 conference held in Bonn (Renewables, 2004). Renewable-energy technologies can be broadly classified into four categories:

1) technologically mature with established markets in at least several countries:– large and small hydro, woody biomass combustion, geothermal, landfill gas, crystalline silicon PV solar water heating, onshore wind, bioethanol from sugars and starch (mainly Brazil and US);

2) technologically mature but with relatively new and immature markets in a small number of countries:– municipal solid waste-to-energy, anaerobic digestion, biodiesel, co-firing of biomass, concentrating solar dishes and troughs, solar-assisted air conditioning, mini- and micro-hydro and offshore wind;

3) under technological development with demonstrations or small-scale commercial application,

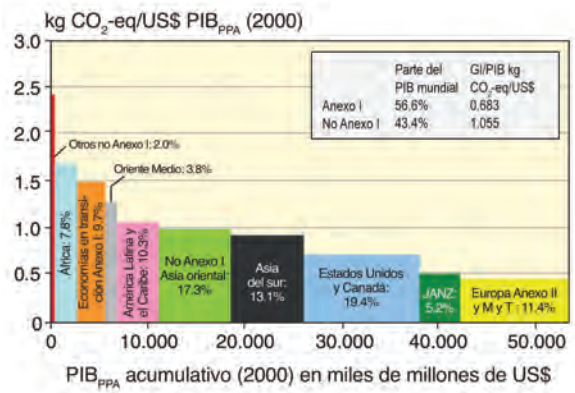


Figura 7. Emisión de CO_2 por unidad de PIB generado. en diversas regiones del mundo (2004)

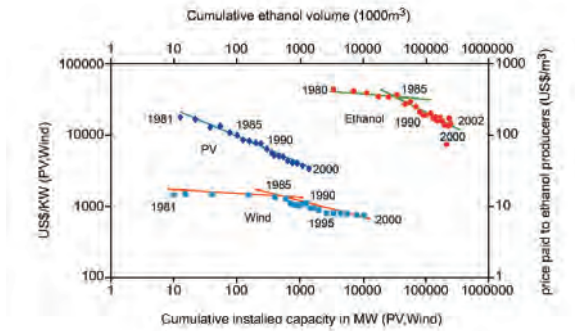


Figura 8. Curvas de aprendizaje utilizadas por el IPCC para valorar el potencial de penetración de las energías renovables. El caso del "etanol" merecería comentario aparte, por la controversia sobre los efectos ecológicos reales de la explotación de este biocarburante de 1ª generación. Por lo que corresponde a la PV y a la eólica, en este estudio se verá que el avance experimentado en el despliegue de estas tecnologías ha sido espectacular en este último lustro, y ha dejado atrás muchas de las previsiones sobre este despliegue.

but approaching wider market introduction:– thin-film PV, concentrating PV, tidal range and currents, wave power, biomass gasification and pyrolysis, bioethanol from ligno-cellulose and solar thermal towers; and

4) still in technology research stages:– organic and inorganic nanotechnology solar cells, artificial photosynthesis, biological hydrogen production involving biomass, algae and bacteria, biorefineries, ocean thermal and saline gradients, and ocean currents.

En gran medida, el efecto de las renovables dependerá de su capacidad de avance por la curva de apredizaje, en lo que el IPCC

2. LOS OBJETIVOS PRIMORDIALES DE LA POLÍTICA ENERGÉTICA

Actualmente existe un consenso casi unánime en considerar que los objetivos que tienen que dirigir toda política energética son:

- Garantía de suministro (o cobertura de la demanda, en el caso de la electricidad)
- Calidad medioambiental, en todos sus órdenes o niveles
- Local, minimizando los impactos in situ, tales como el hollín e inquemados de la combustión.
- Regional, por difusión de efluentes dañinos, como los causantes de las lluvias ácidas (SO_2, NO_x)
- Global, por emisión de gases de efecto invernadero, que son los causantes del calentamiento global debido a la intensificación de dicho efecto, y constituyen la primera preocupación en la agenda del Desarrollo Sostenible.
- Competitividad económica, por entender que los precios de la energía son un facto esencial en la buena salud económica de un país, y los precios bajos hacen más asequible la energía para las explotaciones industriales y para el bienestar personal, si bien es cierto que también animan al despilfarro y abuso del consumo.

Cuestión distinta es qué peso se atribuye a cada objetivo en un momento dado, y con unas condiciones socioeconómicas dadas (y de evolución previ-

sible, cuando no preocupante). Aparentemente, el primero de los objetivos es incuestionable, pues a estas alturas de la evolución de nuestro modus vivendi, sería inaceptable volver a tiempos de apagones y cartilla de racionamiento. Eso no quiere decir que sea fácil ni barato el aseguramiento del suministro, pero hay que reconocer que en los dos últimos decenios los mercados mundiales de materias primas energéticas han funcionado apreciablemente bien, aunque con precios crecientes. Situaciones esporádicas, como las interrupciones de suministro de gas ruso a Europa central y meridional, han sido causadas por motivos nada ligados al suministro en sí, sino al trasiego a través de terceros países. En la garantía de suministro importa mucho la diversificación de las fuentes; y así se ve en el caso español de suministro de gas, que ha ido extendiendo sus fuentes de origen, merced al incremento en la flota de metaneros, hasta ser la tercera potencia mundial en capacidad de regasificación de GNL, tras USA y Japón.

Y en este contexto es especialmente importante señalar la gran contribución de las renovables a la garantía de suministro, en cuanto a no estar sometidas a un suministrador exterior. El caso de la biomasa podría ser una excepción; pero precisamente la biomasa que parece menos aconsejable es la que depende, o dependería, de grandes canales globalizados de mercancía de materias primas biológicas, que interaccionarían con las cadenas de alimentación y con el uso del suelo. Hay que señalar, no obstante, que de cara a la garantía de suministro las renovables más directas (solares y eólica) presentan el gran inconveniente de su variabilidad, ciertamente aleatoria, aunque cada vez se conozcan mejor los métodos de prognosis de su disponibilidad en plazos de unas pocas horas, o un día, que es el factor más crucial para su integración en el sistema.

Las renovables son también factor primordial en la lucha contra el cambio climático, aunque en su valoración haya que incluir el ciclo de vida completo de las instalaciones y sus componentes, sobre todo el proceso de fabricación de éstos, que puede comportar un consumo muy alto de energía. Lo que en todo caso es cierto es la ausencia de emisiones de CO_2 en el funcionamiento de estas plantas, pues incluso el que se emite en la combustión de la biomasa es CO_2 reciclado naturalmente del contenido atmosférico.

El aspecto más cuestionable de las renovables es el factor económico, pues su despliegue, en los países que son relevantes a estos efectos, como Alemania y España, ha sido estimulado por una fuerte incentivación económica a la generación de electricidad por estos medios. De hecho, las primas recibidas por las renovables eléctricas (3.000 M€ en números redondos) son casi del orden del 10% de la cifra total de negocio en el sector eléctrico (31.000

M€), lo cual es una cantidad nada desdeñable, y que lógicamente produce preocupación por su proyección a muy largo plazo (pues esos compromisos de primas están otorgados para 25 años y más) con condiciones muy ventajosas para repotenciación y sustitución de equipos por otros más novedosos y eficientes.

Una cuestión particularmente llamativa en la promoción de las renovables es que se ha hecho sin n criterio claro de equidad entre ellas, ni tampoco se ha buscado la optimización económica del dinero invertido en esas primas. Hay renovables, como es la Fotovoltaica, que han recibido y recibirán unas primas enormes comparadas con otras fuentes, particularmente la eólica. En un ranking que pudiera establecerse de proporcionalidad entre primas recibidas y dificultades intrínsecas para explotar una determinada renovable, la PV saldría la más favorecida con diferencia, mientras que la menos favorecida sería la biomasa. Eso explica que la PV estallara de MW instalados en la "burbuja" del 2008, y al biomasa sea la cenicienta de las renovables, y tampoco vaya a cumplir los objetivos (modestos) del Plan de EERR 2005-2010, igual que no cumplió los objetivos del Plan de Fomento de EERR del año 99. Aunque puedan buscarse otras causas en ese incumplimiento de metas, como son las de tipo logístico, lo cierto es que la incentivación por primas ha sido muy parca con la biomasa, en comparación con las otras. Pero esa falta de equidad y de optimación económica es general, y puede decirse que, con el dinero gastado, se podría haber producido mucha más electricidad renovable con las tecnologías existentes. Este es un punto fundamental de reflexión, pues la política energética de nuestro país no puede seguir cometiendo errores tan de bulto.

La otra gran incongruencia económica de esa política ha sido el muy escaso apoyo prestado a la I&D tecnológica en renovables, en comparación con o gastado en promoción comercial. Ciertamente ésta ha permitido que España quede muy bien en las estadísticas mundiales del ramo, pero a costa de pagar caro, y sin asentar el futuro tecnológico de nuestra industria en este campo. España ha pagado, por así decirlo, gran parte del avance en la curva internacional de aprendizaje de la PV, como ejemplo notorio, pero en ese mismo tiempo ha hecho muy poco para asegurar una posición de liderazgo de nuestra industria y nuestras entidades de investigación. Esto se debe en gran medida a que estas dos funciones de promoción, la comercial y la tecnológica, están asignadas a ministerios distintos, sin que haya entre ellos el solape y entendimiento necesarios para optimizar los recursos disponibles. Ni que decir tiene que esta situación tiene que cambiar drásticamente, sobre todo a la luz de los desafíos que aún quedan en este campo, que no son pocos.

3. EL OBJETIVO DEL 20-20

Los países de la Unión Europea han manifestado repetidamente su preocupación por la evolución del Cambio Climático y la necesidad de tomar medidas individuales y conjuntas para frenar sus consecuencias. La publicación del Informe Stern encargado por el Reino Unido ya hace unos años fue una llamada de atención que incidía además en temas económicos, como por ejemplo estimaciones de caídas fuertes del Producto Global Bruto a medio plazo si no se tomaban medidas correctoras, que aquí hacemos una llamada para relacionarlas con lo expuesto al respecto en el apartado anterior.

En algunas instancias se ha considerado la pertinencia de que hubiera una política energética común en la Unión Europea, más si tenemos en cuenta el otro aspecto ya citado de posible crisis en el suministro de hidrocarburos. No existe dicha política común en la medida que los intereses de cada uno de los países no se ha tratado que sean coincidentes, al menos en el conjunto de la Unión; pero sobre todo hay que reseñar que sobre el poder de los estados se encuentra el de las empresas energéticas, que en algún caso dan cuenta a los gobiernos respectivos, pero en la mayoría de los casos no es así; en algunos países, como es el caso de España, la participación de capital foráneo en la estructura del sistema energético es creciente.

En ese sentido es de desear que poco a poco haya propuestas desde los órganos de gobierno europeo. Al respecto de lo que aquí nos trae, la Comisión Europea ha fijado unos objetivos en el campo energético que se ubican en el lado del consumo final dentro del esquema energético, e inducen a mejorar la eficiencia energética, a reducir el consumo final, y a una menor emisión de CO_2. Los objetivos se concretan en reducir al menos un 20% la emisión total en relación a la habida en 2005, y en el campo de las energías renovables, a que éstas supongan en el año 2020 un 20% del consumo final de energía.

Se analizan a continuación las tres áreas de consumo final, clasificadas por el tipo de energía final y sus posibilidades de contribuir a esa participación de las renovables. A pesar de que este análisis pudiera hacerse con total independencia de criterio, se asume como punto de partida el correspondiente del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio español, Secretaría de Estado de Energía, para la Comisión Europea que concreta la posición al respecto de nuestro país y preferimos hacer algunos comentarios sobre las propuestas que en él se recogen.

1) **Energía para el transporte.-** Es una cuestión que, indirectamente puede afectar claramente al objeto de este estudio, las energías renovables en el sis-

tema eléctrico. La primera opción que se manejó para dar cabida a las energías renovables en este sector fue la de llegar en el año 2020 a un 10% de energía procedente de los biocarburantes. Esta propuesta va teniendo progresivamente oposición desde diferentes ámbitos sociales e intelectuales, cuando no de rechazo claro.

Los planteamientos empresariales que se ven en el caso español son de masiva importación de materias primas para obtener los combustibles de uso final: cereal para las plantas de bioetanol y aceites vegetales para las de biodiesel; respecto a estas segundas hay que señalar que la capacidad industrial de transformación ya instalada demanda dos millones de toneladas anuales de aceites de importación. Bien es verdad que podrían usarse materias primas españolas, pero los costes finales serían más elevados y, de momento no se asume esa opción, aunque en España hay tres millones de hectáreas de tierras de retirada, es decir no cultivadas ahora.

La Comisión Europea plantea ciertas restricciones ambientales y sociales a la importación de materias primas buscando que no supongan una excesiva carga negativa en los lugares de origen, y demanda la existencia de certificados de ciclo de vida que están en curso de definición. Esa posición está marcada por esa cuestión citada al principio de este capítulo que relaciona los usos de la tierra con la huella ecológica y que pide ser cuidadoso con los nuevos cultivos agroenergéticos, por ejemplo no utilizar tierras de alto contenido en carbono ó no contribuir a la deforestación.

Parece lógico hacer esfuerzos en el desarrollo de nuevas tecnologías de obtención de biocarburantes, en particular los denominados de segunda generación; en España hay grupos que trabajan tanto en bietanol procedente de materiales lignocelulósicos, es decir de paja de cereal y otros residuos, como en la obtención de biodiesel a partir de de algas y otras materias primas que no colisionan con la alimentación humana o animal.

En el documento del Ministerio de Industria antes citado se propone que la energía de origen renovable con destino al transporte suponga 3,5 millones de tep en el año 2020. Bien, de acuerdo a la línea de reflexión que aquí se trae, una parte de esa cifra podría ser electricidad de origen renovable, la cual alimentaría a vehículos eléctricos. Podemos hacer los siguientes supuestos:

- El parque de vehículos eléctricos en el año 2020 llegue a dos millones de unidades. Su utilización será en cierta medida urbana o de recorridos en buena medida cortos.

Figura 9.- El girasol y la paja de cultivos en tierras españolas pueden darnos biodiesel y bioetanol (Fotografía Emilio Menéndez)

- Supongamos que así se llega a 20.000 millones de km anuales de recorrido total. A ellos se les podría asignar un consumo medio de 0,2 kWh (brutos) por km recorrido.
- Se consumirían en total unos 4.000 millones de kWh, 4.000 GWh, o lo que es lo mismo, habría que generar casi un 3% más de electricidad en nuestro sistema.
- Se podría sustituir así un consumo de combustibles convencionales de unos 100 millones de litros, los cuales preferentemente debieran ser de gasoil con la consiguiente reducción de emisiones de NO_x.

A efectos de este estudio ya debiéramos pensar en un sumando de energía renovable destinada al transporte en forma de electricidad, el cual se valora inicialmente entre 4.000 y 7.000 GWh anuales para el año 2020, con una proyección de futuro que debiera llevarnos a cifra del orden de 50.000 GWh anuales ya en el año 2040. No prejuzgamos ya a esas fechas más lejanas cual será la opción final de mayor peso, bien el coche eléctrico o bien el vector hidrógeno.

2) **Combustibles de uso diverso.-** Nos referimos a los aportes de energía en forma de combustibles para aplicaciones tan distintas como los usos domésticos o la industria pesada. Las formas energéticas renovables que pueden sustituir esos consumos son:

- **Biomasa**.- Ya se utiliza tanto en usos domésticos como en instalaciones industriales, suele ser residuo forestal proveniente del monte o de las industrias derivadas. Es una línea que tiene una eficiencia energética muy por encima del uso de la biomasa para electricidad, con rendimiento energético entre el 60 y 80% frente a valores de 18 a 30% que se dan en la generación eléctrica. Todo lo que favorezca esta aplicación de uso como combustible directo aparece como una opción de interés prioritario.

- **Energía solar**.- Nos referimos a los paneles de aportación de agua caliente y eventualmente vapor de bajo título, no sólo para suministrar agua caliente sanitaria, sino también para aportes de calor de proceso a baja temperatura. Hay desarrollo en ambas líneas aunque mucho más en agua caliente sanitaria que en aplicaciones industriales, siendo éstas segundas no obstante instalaciones significativas y que debieran potenciarse mucho más. A esto cabría añadir los sitemas de aire acondicionado mediante ciclos de absorción, que reducen mucho el consumo de electricidad respecto de los convencionales ciclos de compresión, pero requieren cantidades importantes de calor a temperatura moderadamente alta (unos 120 ºC) lo cual es asequible con paneles solares de calidad, a horas de mediodía en verano, que es cuando más demanda hay de aire acondicionado.

En la actualidad hay en España un millón de metros cuadrados de paneles, básicamente para agua sanitaria. Se propone llegar a cinco millones a lo largo de ésta década, pero los objetivos podrían ser más ambiciosos si se pensara en aplicaciones más diversificadas.

- **Recuperación geotérmica**.- Se empieza a extender por nuestro país la aplicación de sistemas de bomba de calor que toman como foco calienta el suelo terrestre a una profundidad de varios metros para con ello proporcionar calefacción de edificios; se parte de temperaturas constantes a lo largo del año cercanas a los 15 ºC lo que facilita calefacción consumiendo electricidad con esquemas de alto rendimiento, si esa electricidad es de origen renovable se reducen sensiblemente las emisiones específicas de CO_2, aparte de ahorrar el correspondiente combustible fósil.

No se dispone de evaluaciones sobre el crecimiento de esta opción, que quizás pueda ser muy significativo a partir de la tercera década de este siglo. Ese cambio significaría un nuevo consumo de electricidad que no está de momento cuantificado.

Todo este esquema de usos propone participaciones de las energías renovables muy variables según sea la percepción de quien haga los números. Aquí

de momento hemos de tomar las propuestas de la Secretaría de Energía que llevan los objetivos del año 2020 a 5,6 millones de tep en conjunto.

3) **Energía Eléctrica.-** Las anteriores propuestas hacen que la electricidad de origen renovable que es necesaria aportar al sistema sea de 13,5 millones de tep, para conseguir llegar en el año 2020 a una participación de las renovables de al menos un 20% en el consumo final de energía. Esto en primera instancia supone 157.000 GWh anuales netos, a los cuales habría que añadir la electricidad de origen renovable que se destinara al transporte y eventualmente considerar la que fuera consumida en los usos geotérmicos arriba citados.

   Parte de la electricidad bruta de origen renovable deberá ser almacenada en bombeos hidráulicos y otros sistemas, para dar estabilidad a la red eléctrica, esto supone una pérdida de electricidad bruta; no es fácil valorar esa electricidad a detraer, quizás, en razón del funcionamiento del sistema eólico y la actual experiencia de electricidad no generada en horas valle las noches de alta disponibilidad de viento debiéramos pensar en al menos 20.000 GWh anuales, de los cuales se recuperarían posteriormente unos 15.000 GWh en el turbinado hidráulico. En este contexto de necesidad de adicionar sumandos al valor antes citado de 157.000 GWH, se podría pensar en una generación bruta de electricidad de origen renovable de al menos unos 170.000 GWh anuales. En la figura nº 5 se propone un desglose para cubrir ese total.

La inversión en plantas de generación con energías renovables es elevada, por ello es necesario conseguir un grado de utilización óptimo, utilizando para ello el bombeo y otras opciones como la carga de baterías de vehículos eléctricos en horas valle. Aquí se han previsto los siguientes valores de horas de operación equivalente a plena carga y potencias instaladas las opciones más significativas o que implican mayor ampliación o extensión:

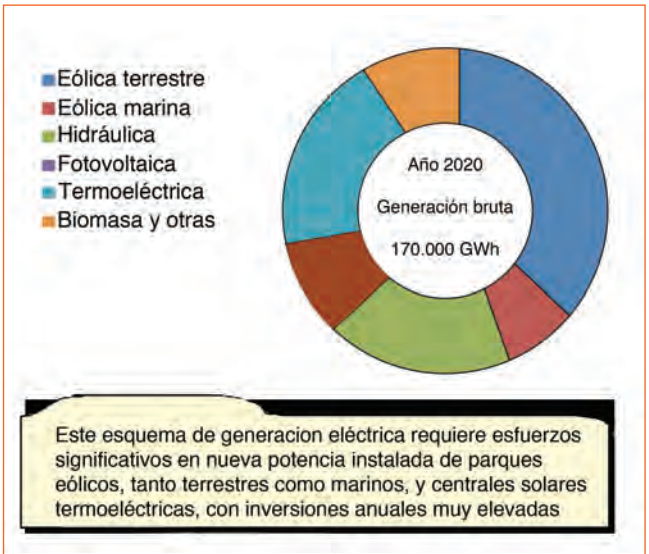


Figura 10.- Una propuesta maximalista de generación renovable al año 2020

- **Eólica terrestre**.- Se estiman de promedio 2.000 horas equivalentes a plena carga al año; se considera que los nuevos aerogeneradores a instalar serán de mejores prestaciones que la media actual; adicionalmente se asume que parte de los actualmente instalados, los de menor potencia unitaria, serán sustituidos por otros de mayor potencia unitaria, es decir se repotenciaían parques existentes. La potencia total se situaría en unos 25.000 MW
- **Eólica marina**.- Es previsible que el funcionamiento de promedio de estos parques llegaría a unas 3.000 horas equivalentes a plena carga anuales, la potencia a conseguir en esta década debiera ser de unos 5.000 MW.
- **Fotovoltaica**.- Nos debiéramos proponer como objetivo que la media de las instalaciones sobrepasara las 1.300 horas anuales equivalentes a plena carga. La potencia a alcanzar sería de unos 20.000 MW, y hay que tener en cuenta el hecho, se supone que irrepetible, de la instalación de casi 3.000 MW en doce meses, en la "burbuja " PV de 2008.
- **Solar termoeléctrica**.- En estas plantas, teniendo en cuenta las evoluciones previsibles en el diseño de las mismas, que mejoraran su eficiencia, aunque de otro lado habrá que contar con las mermas en ese parámetro en algunas de ellas por almacenamiento de energía, se podría considerar que de promedio operaran 1.500 horas equivalentes a plena carga. La potencia instalada debiera ser algo mayor de 15.000 MW, que son los ya avalados a finales de 2009, aunque sólo una tercera parte de ellos haya entrado en el Pre-registro de estas instalaciones.

Se plantean aquí unos valores muy difíciles de alcanzar a lo largo de esta década, esto es así ya por cuestiones técnicas de resolver un volumen significativo de proyectos nuevos, pero también nos aparece la cuestión de la inversión, que sería muy voluminosa difícil de conseguir su realización final en un momento de crisis financiera como el actual.

En este sentido volvemos a esa consideración anteriormente expuesta de que el sistema eléctrico es intensivo en inversión, que los cambios que en él se propongan habrán de tener muy en cuenta esa cuestión, la cual en determinados momentos ha implicado cambios en los esquemas económicos de los países, volvemos a citar la crisis económica y social de los años treinta y la de los precios del petróleo de la década de los setenta.

Las cifras de potencia final y energía generada a las que se llegue dependerán de diferentes factores, uno de ellos el grado de convencimiento que se tenga

sobre la necesidad de que las renovables supongan el camino para un cambio a largo plazo en nuestro modelo energético.

4. SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL

A la hora de encajar de forma significativa las energías renovables en el sistema eléctrico español aparecen cuestiones técnicas y sociales que es preciso analizar y considerar con detalle, bastante más que el que se va a exponer en estas páginas, en particular las relacionadas con el necesario diálogo social como se verá someramente a continuación..

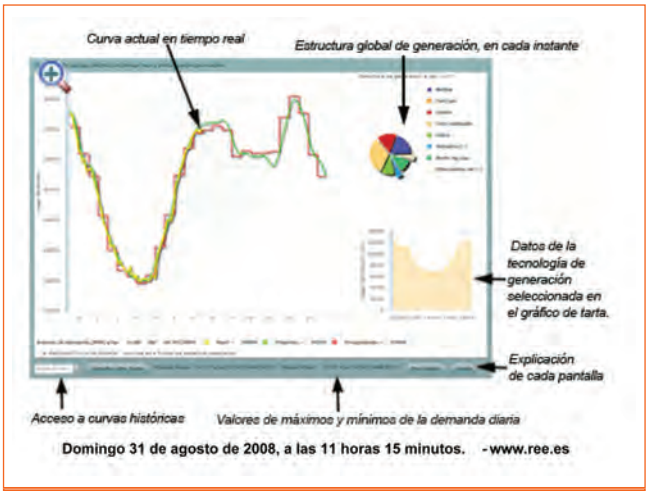


Figura 11.- Curva de demanda eléctrica en el sistema espa-

Entre los aspectos técnicos se ha de citar en primer lugar nuestra curva de demanda, que tiene un valle muy pronunciado y dos puntas que inciden tanto en el esquema necesario de generación, como en cuestiones relacionadas con la estabilidad de la red. Hay que señalar respecto a ello lo siguiente:

El valle se sitúa en la actualidad en menos de 25.000 MW, quizás en el futuro si se desarrolla una aplicación de carga preferente de los vehículos eléctricos en la noche, más una adecuada gestión de la demanda, pudiéramos hablar de valles por encima de 30.000 MW en el año 2020. Respecto a esto hay que señalar que la potencia eólica a esas fechas sería del orden de esos 30.000 MW.

En ese sentido es preciso ver qué tipo de generación de electricidad no renovable es necesaria en las horas valle para que el sistema sea estable. Hay que señalar que sí se mantiene la potencia nuclear actual en los años veinte de este siglo, habrá que parar parques eólicos en las noches ventosas, incluso contando con un bombeo de alta capacidad. No obstante, la ficha técnica completa para definir el parque de generación no puede basarse sólo en la consideración de los valles de demanda en noches ventosas, sino que ha de ser notoriamente más compleja, aspirando a cobertura de la demanda en toda condición.

En las puntas, en particular la de la caída de la tarde puede no haber en determinados días aporte significativo de electricidad procedente de renovables: eólica y solar. Esto obligará a disponer de potencia rodante de origen térmico en magnitudes significativas que no estará activa en otros periodos largos del año, también será necesario disponer de sistemas de bombeo hidráulico que en conjunto aporten potencia claramente disponible en diversos periodos del año.

Esto obligará a inversiones que claramente no serán atractivas en el actual marco regulador. El sistema generador se encarecerá obligatoriamente y ello obligará a reflexiones sociales y políticas de cómo deseamos sea nuestro esquema energético, no parece lógico apostar sin antes discutirlo de forma amplia por el uso de esquemas economicistas a la hora de dicho análisis; y quizás haya que inducir a caminar hacia formas regulatorias que ya hubo en otros momentos.

La estructura de generación eléctrica en el esquema geográfico español ha sido tradicionalmente asimétrica respecto a la demanda, aunque el desarrollo de los ciclos combinados nos ha llevado a esquemas más equilibrados, al menos en el conjunto peninsular, si bien en él hay diferencias claras entre comunidades autónomas; las hay que son claramente exportadoras de energía, mientras otras son importadoras. Esas diferencias serán de otro tipo en la medida que crezca la potencia instalada de energía eólica en determinadas zonas del país y por el contrario la solar en otras; esto necesariamente será así por disponibilidad diferenciada de recursos.

En el actual esquema de generación, y más en el avance hacia las energías renovables, va a ser muy importante la gestión del suministro de gas natural, que en nuestro caso puede presentar problemas técnicos de disponibilidad de infraestructuras de llegada: oleoductos y plantas de regasificación, más otras de almacenamiento de gas natural. Se ha tenido un desarrollo histórico asimétrico del esquema de llegada de gas natural a la Península, se dio preferencia al lado mediterráneo sobre las del lado atlántico, e incluso se cercenaron propuestas como la de un puerto exterior gasero en Ferrol en los años ochenta, para en cambio años después colocar un pequeño puerto interior gasero en esa ría con amplio rechazo social.

Pero sobre todo se ha de considerar que en la situación actual las cuatro quintas partes del suministro vienen de países del "mundo musulmán", lo cual es un riesgo potencial de fallo en el suministro nada desdeñable. En ese contexto es muy importante mantener todos los esfuerzos de política exterior para que nuestras relaciones al respecto sean siempre fáciles y transparentes; no es éste el lugar de hacer propuestas, pero si para recalcar la importancia del tema. Aunque no sea un tema específico de este estudio, la reflexión sobre el esquema gasista de futuro es muy necesaria para la seguridad energética de nuestro país.

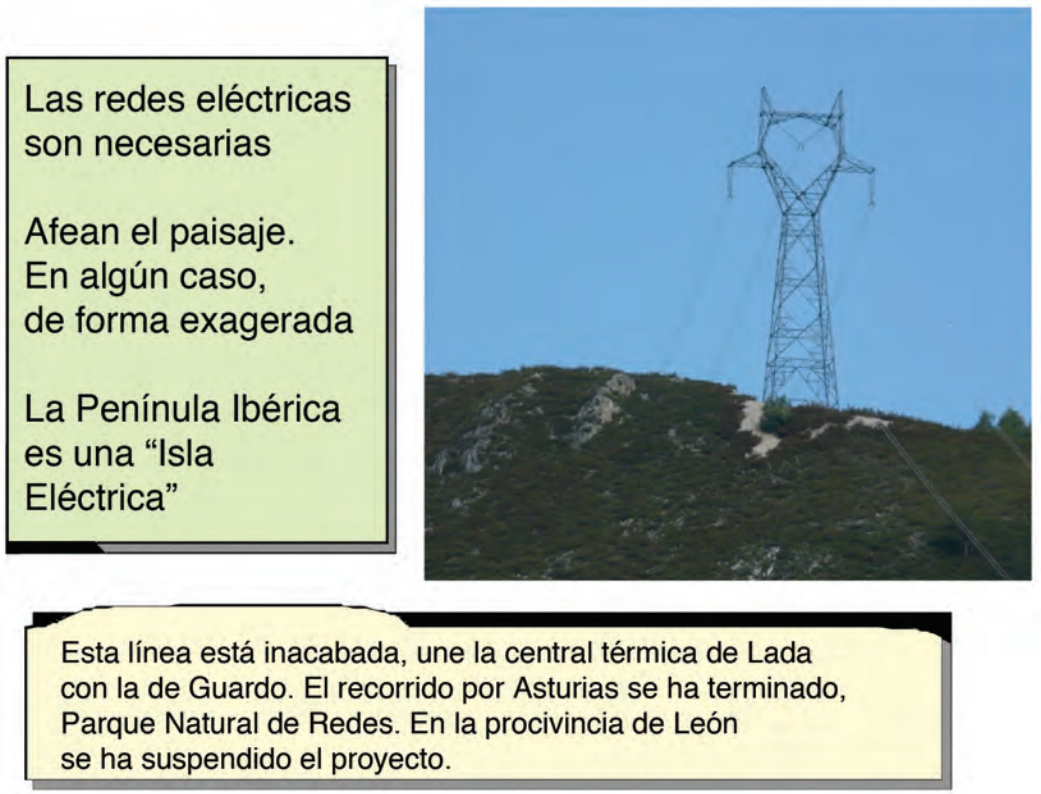


Figura 12.- Una línea eléctrica de transporte inacabada (Fotografía Emilio Menéndez)

La percepción de la sociedad sobre el sistema eléctrico y de las empresas que lo componen es muy heterogénea. Todo apunta a que existen núcleos sociales claramente discrepantes respecto a algunos temas en concreto o frente a un contexto más amplio. La Universidad española ha intentado varias veces trabajar en "La percepción del binomio energía y medio ambiente", pero los estudios específicos al respecto ó las tesis doctorales son hechos aislados y no han creado un cuerpo de análisis estructurado, la percepción de quien escribe estas líneas es que desde el sector eléctrico no ha habido un claro interés en profundizar en dicha temática.

A primeros del año 2010 se ha vivido un esquema socio político respecto a: "¿Quién quiere cobrar por recibir el cementerio nuclear?". Ese planteamiento en sí puede no ser el mejor pues ya apunta a que determinadas actividades son negativas y hay que recibir compensaciones; cuando además la gestión del tema es desordenada y en ella, parte de los que se deberían considerar actores más directamente ligados a la industria nuclear o a la Administración del Estado no aparecen en primera línea de discusión, todo indica que se está delante de algo que fomentará futuras desconfianzas.

No olvidemos que parte del rechazo a determinadas opciones renovables se une a la percepción propia de que "no es necesario desde aquí enviar electricidad a otras zonas que viven mejor y a nosotros nos dejan una mala estética o incluso otros problemas ambientales; recordemos las confrontaciones respecto a la eólica marina en Cádiz hace muy pocos años.

La oposición a la construcción de nuevas infraestructuras para el transporte afecta a todo el sistema eléctrico y en particular o de forma indirecta al desarrollo de las energías renovables; para éstas sería conveniente o necesaria una mayor interconexión con Francia, pero también ampliar hacia futuro la red interna en nuestro país.

Otro tema necesario a dialogar es el uso del agua, tanto los bombeos entre presas que son imprescindibles para la extensión de la energía eólica, como para refrigeración de ciertas centrales térmicas, por ejemplo las heliotérmicas, y así mismo los ciclos combinados.

Pensemos que la necesidad de diálogo no es sólo por el hecho de que haya unos pequeños grupos atípicos, también son los partidos políticos de alta representatividad los que lo demandan. Así no hubo desarrollo eólico en Extremadura por oposición del gobierno autonómico a unas instalaciones feas que se añaden a una comunidad que debe soportar una central nuclear para ser una de las exportadoras de electricidad. O desde la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha su oposición tajante a la ubicación allí del Almacenamiento Temporal Centralizado de residuos radioactivo, no el permanente. En ambos casos la oposición ha provenido desde entornos del Partido Socialista Obrero Español. De todos es conocida la oposición a temas parecidos desde partidos del arco regionalista o nacionalista, por ejemplo el PNV, PSE y otros han aprobado que Euskadi no tendrá centrales nucleares. Quizás sólo dentro del Partido Popular hay un consenso mayor para asumir ciertos temas, pero eso no es total ni inamovible.

Es posible que falte diálogo social; y así mismo falta la base para el consenso político en temas que tendrían que estar por encima de la lucha de partidos, si bien el ámbito energético ha sido siempre proclive a convertirse en cuestión ideológica.

Este informe va esencialmente orientado a los aspectos tecnológicos y económicos de las energías renovables; que sin duda son esenciales para conseguir un desarrollo armónico y optimizado de las mismas. Pero los aspectos sociopolíticos no son de menor enjundia, si bien la subjetividad que les caracteriza hace difícil su estructuración como disciplina científica. Esta temática resulta difícil de abordar, incluso en su versión parlamentaria, que debería ser la más objetivable. Resulta un tanto contradictorio que se esté viviendo una crisis económica y laboral intensa,

que se declare prioritaria la búsqueda de soluciones, y al mismo tiempo sea prácticamente imposible alcanzar un consenso amplio, político y social, sobre el tema energético, que podría ser una de las claves para superar esta crisis.

5. RECURSOS DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA

El Sol nos envía de forma continuada energía, la valoración de la misma es tres órdenes de magnitud sobre nuestro actual consumo. La radiación solar que llega a la superficie del palneta es de unos 120,000 TW, cifra enorme comparada con los 13 TW que supone la actual generación antropogénica de energía. No obstante, la mayor parte de la radiación solar no es verdaderamente aprovechable, pues llega a los océanos, que son el reservorio de energía más grande en el contexto de la climatología. La cantidad bruta aprovechable es de unos 2,000 TW, pues gran parte de lo que llega a los continentes tiene un contenido exergético muy pobre.

Se puede asumir por tanto que podemos conseguir del Sol suficiente energía para todo nuestro consumo final, pero hay que asociar esta idea a la necesidad de ser eficientes en nuestros usos finales y en las transformaciones que hagamos de las energías renovables.

De hecho hay valoraciones, como la que se recoge en la figura nº 12, en la cual se refleja la disponibilidad de recursos en energías renovables de nuevo uso a nivel mundial para su transformación en electricidad. Se observa que el volumen total de estos es del orden de un millón de TWh, mientras que el consumo de energía final de la Humanidad es de algo más de 100.000 TWh, es decir la décima parte. De manera muy teórica podríamos llevar todo el sistema energético hacia la generación de electricidad y con esta atender nuestras necesidades; esto hoy es totalmente inviable, el nivel de inversiones necesarias para ello no podría ser acometido por la mayoría de los países del mundo; ya en el sistema energético convencional muchos

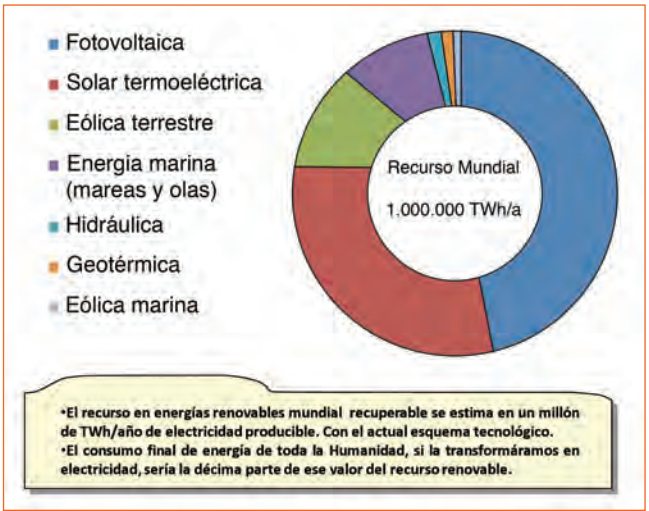


Figura 13.- Una primera visión del recurso energético renovable a nivel mundial

países no disponen del adecuado sistema eléctrico por no tener capacidad de hacer las inversiones necesarias.

Recordemos que a nivel mundial, la electricidad supone el 15% del consumo final de energía y, en el caso de España y otros países desarrollados esa proporción supera ligeramente el 20%. En muchos países el desarrollo eléctrico se inició con una energía renovable, la hidráulica, que si bien en una primera fase no dio lugar a controversias ambientales y sociales, en la actualidad tiene fuerte oposición en varios países: Brasil ó India por ejemplo. Hay que citar a título de llamada de atención que la proporción de la inversión destinada a cuidados o remediaciones ambientales y sociales no sobrepasa por ley el 0,5% de dicha inversión y a veces no se aplica. Esto hace que a veces la hidráulica no se considere renovable en razón del rechazo social que está suponiendo.

Los grandes recursos renovables que podemos plantear para este siglo XXI se basan en gran parte en la energía solar, bien sea fotovoltaica, buen sea solar termoeléctrica o heliotérmica. Su recuperación requiere inversiones específicas muy elevadas lo cual está retrasando su desarrollo. Muy pocos países tienen una presencia significativa de la electricidad de origen solar en su sistema. Los países más ricos poco a poco asumen la necesidad de avanzar en esta opción, tanto porque ya se considera que los sobrecostes pueden ser aceptados al menos para participaciones moderadas de la generación con este recurso, como por la confianza de que la extensión de las instalaciones hará que la tecnología mejore y que la inversión específica se reduzca.

La energía eólica ha vivido ya parte de ese periodo de aprendizaje y en la actualidad sus costes nos muestran que está cercana a los niveles de competencia con las opciones convencionales, sin considerar que sobre éstas se debiera aplicar un extra coste por sus externalidades negativas: ambientales y sociales. En cualquier caso ya se generan más de 200 TWh anuales y se supone que en el año 2030 se podría alcanzar los 2.500 TWh anuales, todavía menos de la centésima parte de lo que este recurso representa a escala mundial.

La energía hidráulica derivada de ríos u otros cauces terrestres disponible es de unos 20.000 TWh anuales, es decir un 2% de los recursos contabilizados en esa figura antes citada. Se recuperan unos 3.000 TWh anuales en el mundo y como se ha indicado existen problemas en diferentes países para avanzar de forma significativa en la instalación de nueva potencia. No obstante se supone que hacia el año 2040 se doblara la energía eléctrica actualmente recuperada.

Las valoraciones del recurso en energías renovables en el caso español cuentan con estudios de diferente origen que buscaban definir la posibilidad de atender el consumo energético español con renovables. Aquí en este documento se toma como base de partida el documento dirigido el prof. C. Dopazo para UNESA en el año 2005, que contiene una valoración muy cuidada del **potencial de nuestras fuentes renovables.** Obviamente no puede considerarse que con este estudio queda cerrado este tema, pues en el mismo se aprecian algunas lagunas de información meteorológico-geográfico, las cuales podrían completarse en el futuro, pero el estudio aporta una poderación muy cuidadosa del potencial renovable no sólo por sí mismo, sino en relación con la tecnología que lo pudiera aprovechar y con el uso de territorio que conllevaría. Su valoración global de los recursos en energías renovables se sitúa en torno a 30.000 TWh anuales, y sobre esa cifra hace una serie de restricciones tanto del estado de la tecnología y sus expectativas d evolución, como de los costes que se darían en cada caso, más las cuestiones ambientales que se plantearía, para reducir dicha estimación a unos 8.000 TWh anuales.

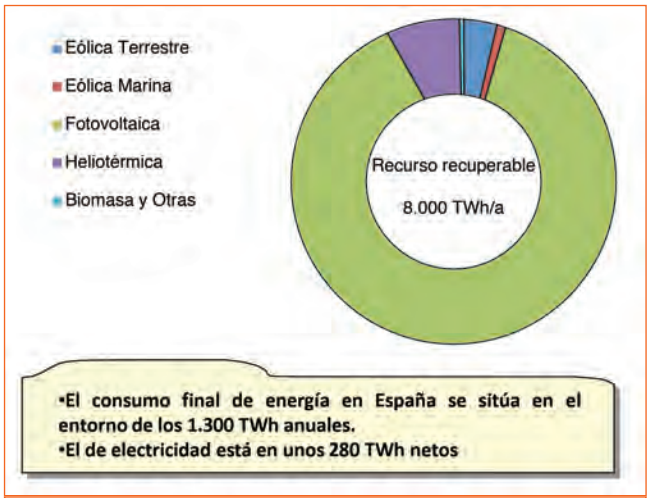


Figura 14.- Estimación del recurso energético recuperable en España con energías renovables. Fuente: Elaboración propia con datos del informe dirigido por César Dopazo

En la figura nº 13 se establece el desglose que propone dicho estudio. Se ve en él la participación tan significativa que representa la energía fotovoltaica, el 85% del total. Le sigue la energía heliotérmica y a continuación el conjunto de las energías eólicas tanto en tierra firme como en la costa. En conjunto estos 8.000 TWh anuales que se proponen representan unas cinco veces el consumo final de energía en España. No obstante esta buena noticia, que en su sentido más amplio es verdadera, muchos verán en ella un ejercicio esencialmente teórico, sin considerar inversiones financieras y otras limitaciones. Aún así, es muy importante para un país como España disponer de un estudio como este.

A la hora de valorar recursos hay que contar con la evolución tecnológica, que en general aumenta sensiblemente la cuantificación de los mismos, más la asunción de que las energías renovables son una necesidad, y sobre todo la experiencia de quien hace las valoraciones, que no son sólo un ejercicio académico.

En ese contexto y pensando en el caso español se pueden hacer una serie de valoraciones en cuanto al potencial de las energías renovables, apuntando a la situación tecnológica actual y su previsible evolución, lo podemos hacer pensando en el horizonte entre 2020 y 2050 que nos interesa como proyección a medio plazo y en el cual se han de considerar los siguientes temas:

a) **Biomasa.-** Los recursos de biomasa en España no son muy abundantes, y en ello inciden diversos factores como es el ritmo y nivel de precipitaciones acuosas o la tipología de suelos, aunque dichos factores aparecen de forma muy heterogénea en un territorio muy diverso. Respectos a los usos de la biomasa hay que pensar en dar preferencia en la medida de lo posible a: los combustibles de uso directo y a los biocombustibles sobre la generación de electricidad, tal como se dijo en un apartado anterior.

   La generación de electricidad parece que debiera abastecerse de residuos, los cuales dan opción para la construcción de plantas de pequeña potencia. El uso de combustibles procedentes de cultivos agroenergéticos no parece que sea una alternativa que pueda o deba extenderse de forma amplia, pero las capacidades de los investigadores en este campo quizá nos proporcionen sorpresas muy positivas, y la agroenergía arregle muchas cosas torcidas en el campo y los bosques españoles.

b) **Hidráulica.-** La construcción de presas de tamaño medio o grande no es una opción factible en nuestros ríos, que ya tienen cubierta en general esta opción. Las pequeñas instalaciones, minihidráulicas están encontrando rechazos sociales significativos, y su potencial energético no es muy importante. En este sentido la potencia eléctrica neta instalada en nuestro sistema hidráulico parece que debe ser considerada como un valor que ha llegado a sus límites. Una cuestión adicional a tener en cuenta es la variabilidad de las precipitaciones, tanto a lo largo de un año, como en periodos interanuales, esto junto a aspectos ambientales y una optimización del sistema eléctrico español obliga a repensar la gestión de nuestro sistema hidráulico, no sólo pensando en esquemas de subasta de la generación eléctrica que maximizan los beneficios de las empresas eléctricas.

   En este sentido es preciso pensar en la construcción de presas de bombeo para atender la regulación del sistema eólico. Existe potencial disponible en diversos ríos de nuestro país, más la posibilidad de construir embalses artificiales en ciertas zonas elevadas, de los cuales ya existe algún ejemplo. Sin que conozcamos un estudio específico al respecto, sí se puede adelantar que el potencial disponible al efecto puede sobrepasar los 20.000 MW, otra cues-

tión es el diálogo social y ambiental que será preciso llevar a cabo para hacerlo factible. Posiblemente para el 2030 se podría llegar a la mitad de esa cifra.

c) **Eólica terrestre.-** Los parques eólicos en España se emplazan en ubicaciones que cuentan con regímenes de viento que suponen entre 2.000 y 3.000 horas equivalentes a plena carga. La actual potencia instalada en nuestro país es de 18.000 MW y las propuestas son de sobrepasar los 30.000 MW en el año 2020, lo cual está de acuerdo con ese esquema del 20 – 20 anteriormente citado.

A la hora de valorar el recurso eólico terrestre en nuestro país hay que tener muy en cuenta la evolución de la tecnología, tanto en el crecimiento de la potencia unitaria de los aerogeneradores, como sus prestaciones e incremento de la eficiencia energética. La potencia media de las máquinas actualmente instaladas es de unos 600 kW, cuando ya se ofrecen aerogeneradores comerciales de más de 2.000 kW.

La gestión del sistema eléctrico peninsular ya debe ser pensada como la integración de los dos lados, el portugués y el español; esto es debe de ser

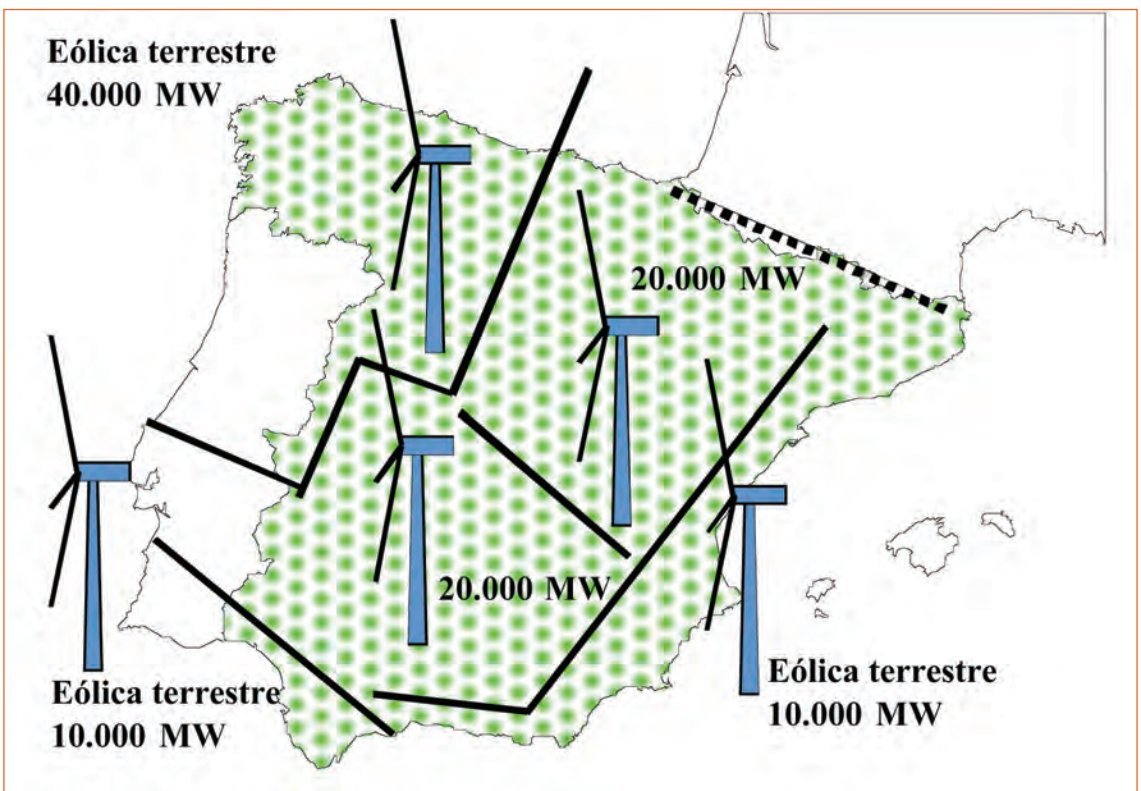


Figura 15.- Una visión de la distribución potencial de la instalación eólica en España en un futuro a medio

de especial atención en el caso de la eólica dada su variabilidad anual y por zonas geográficas. En ese sentido en la figura nº 14 se recoge la evaluación de la posible potencia instalable en la Península, sólo en eólica terrestre, se han tenido en cuenta los emplazamientos ya ocupados y las áreas que también han sido clasificadas como factibles, ubicando en todas ellas la mejor tecnología que previsiblemente se dispondrá en la próxima década.

Es factible pensar en un futuro a medio plazo, en torno al año 2040, en el cual sería factible instalar en torno a 100.000 MW, lo cual supone más de 200 TWh anuales en eólica terrestre. Para ello evidentemente es preciso adecuar la red eléctrica y conseguir un esquema de consumos eléctricos que lo posibiliten, quizás con alto peso de la electricidad en el sector transporte.

d) **Eólica marina.-** A nivel mundial se da en la actualidad menor peso a la eólica marina que a la terrestre, bien eso está ligado al hecho de que muchos países no se plantean construir parques marinos por disponer de amplios espacios en tierra firme donde poder ubicarlos y, que la tecnología marina, (off shore), no está suficientemente desarrollada; aunque respecto a esto segundo hay que citar que la aplicación de los conocimientos de la industria petrolera en relación al diseño de plataformas marinas puede dar un vuelco significativo a esta valoración.

En el caso español, las propuestas de construcción de parques marinos se encontró con rechazos sociales importantes, que planteaban posibles incidencias en los ecosistemas las cuales aparecían como cuestiones no analizadas y que merecen reflexiones al respecto, aunque en la medida que se avanza en su conocimiento y en la reflexión de lo que pueden ser en el futuro los parques marinos, con aerogeneradores separados entre sí más de 500 m, pasan a tener otras consideraciones de previsible menor preocupación.

Recientemente se ha publicado el mapa de valoración de las costas españolas a efectos de posibles emplazamientos de parques eólicos marinos, que si bien ha cerrado la posibilidad de instalación en determinadas zonas próximas a la costa, facilita el diálogo social hacia futuro y a la vez abre el camino a los emplazamientos a mayores distancias de la costa. La figura nº 15 recoge esa valoración ambiental de las costas españolas.

Hay que señalar que la prospectiva tecnológica en eólica marina ya considera la posible instalación de aerogeneradores amarrados al fondo con profundidades de 50 m, pero que además asume la implantación de grandes aerogeneradores en plataformas flotantes. La evolución de la tecnología abre posibilidades energéticas no pensadas.

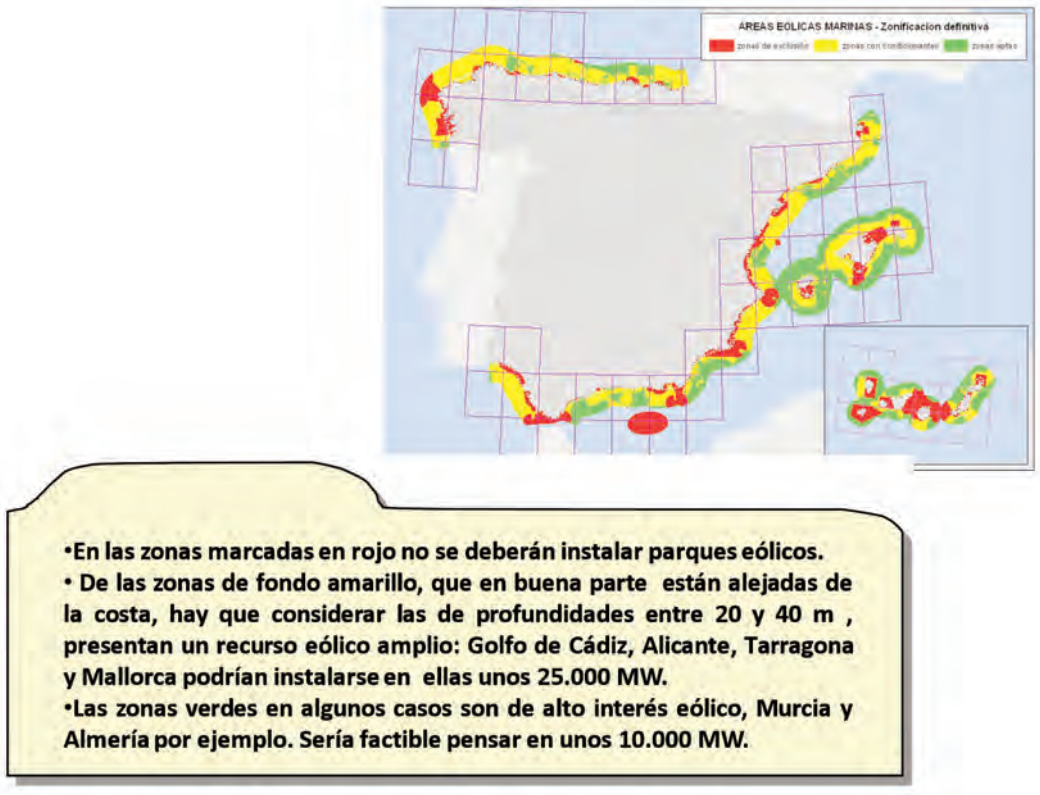


Figura 16.- Evaluación ambiental de los emplazamientos de eólica marina en las costas españolas

En el caso español, pensando en profundidades medias y con aerogeneradores amarrados al fondo hay que valorar en primer lugar las costas del golfo de Cádiz, donde se evalúa la posibilidad de instalar entre 15.000 y 20.000 MW. En las costas del Mediterráneo es factible pensar en potencias del mismo orden de magnitud, aunque allí quizás el rechazo ambiental puede ser mayor.

Cuando se planteen parques marinos a mayores profundidades y con tecnologías más elaboradas habrá que tener en cuenta ya espacios en el Atlántico gallego y en otras zonas del Cantábrico, así como en determinadas áreas del Mediterráneo alejadas de la costa.

Es factible así pensar que el tope del potencial eólico marino en torno a la Península puede ser de más de 50.000 MW y unos 150 TWh anuales de energía eléctrica recuperable, pero es imprescindible efectuar estudios detallados de la orografía submarina para identificar mejor los emplazamientos, que a su vez han de casar con zonas de alto viento.

e) **Solar termoeléctrica.-** Ya se indicó más arriba que el potencial teórico es amplio, y quizás las restricciones se unan a determinadas cuestiones relacionadas con la red eléctrica española y la actual tecnología aplicable en las plantas helioeléctricas, que demanda agua de refrigeración entre otros insumos. Hay que pensar en abrir las opciones tecnológicas, como por ejemplo la refrigeración por aire que no demandan agua de refrigeración y, además en aplicaciones de muy diverso diseño, tanto de gran potencia unitaria provistas de almacenamiento energético para operar todo el día, que den estabilidad a la red eléctrica, así como otras quizás de pequeña potencia, éstas sin necesidad de almacenamiento de energía de forma significativa y ubicadas en los nudos de la red eléctrica española.

   En ese contexto se puede reducir la cifra de potencial generación con sistemas termoeléctricos a valores en torno a 450 TWh, que por otra parte son aun mucho mayores que los que se citan en la mayoría de los estudios de promoción de las renovables; esto supondría una potencia instalada en torno a 300.000 MW que hoy es poco imaginable por las inversiones que se requerirían, en torno al billón de euros, es decir una cifra del orden del actual PIB español, y por el espacio ocupado: unos 6.000 km^2. Es preciso demandar mejoras en la tecnología que supongan reducción de inversiones y superficies ocupadas, pues hemos de considerar llegar a potencias heliotérmicas de este orden de magnitud para la segunda mitad de este siglo.

f) **Fotovoltaica.-** La potencia instalada en España es de unos 3.500 MW, mientras que que el "potencial energético factible de PV" en nuestro país se acerca a 7.000 TWh, A este valor se le pueden poner aun restricciones en función de la ocupación de espacios, y las inversiones a realizar. Situando estas últimas en una cifra similar a la del punto anterior, es decir el valor de nuestro PIB, pensando de otro lado en la ocupación de espacios edificados de buena calidad en relación a las radiaciones recibidas y además la construcción de granjas solares en buenos emplazamientos, se puede pensar en algo menos de 200 TWh anuales y una potencia instalada de 150.000 MW. Cifra que como en el caso anterior, hay que llevar como valor de referencia a la segunda mitad de este siglo XXI.

   No obstante hay que señalar que las diferentes opciones de cambio tecnológico que se observan en el sector fotovoltaico pueden ofrecer alternativas que incrementen de forma significativa estas propuestas anteriores.

g) **Energías marinas.-** Son un recurso energético de tecnología aún incipiente, la valoración de esos potenciales nos podría llevar a cifras significativas, pero previsiblemente tengan que afrontar exigencias y rechazos medioam-

bientales nada simples, y que en el plazo contemplado en este estudio no parece que vayan a pasar de un aporte minoritario.

Con todo ello es factible pensar en diferentes valoraciones en cuanto al recurso potencial que podemos dibujar como utilizable a medio/largo plazo. Aquí se propone el esquema de la figura nº 16 como estimación de los recursos para atender las necesidades del sistema eléctrico español

Se ha considerado para España un recurso de 800 TWh que es casi el triple de las necesidades actuales de energía para el sistema eléctrico. Podemos considerar que el crecimiento en la demanda eléctrica sea más rápido del previsto, bien por el avance de los vehículos eléctricos, bien por otras razones; pero el escenario identificado permite una considerable expansión de nuestra electricidad a base de renovables, hasta llegar a esos 800 TWh. Y debe recordarse que se trata de una valoración "reducida" respecto de los potenciales brutos de las energías renovables primarias, por lo que esta cifra cabría incrementarla con tecnologías más eficientes y con un mayor uso del territorio con fines energéticos.

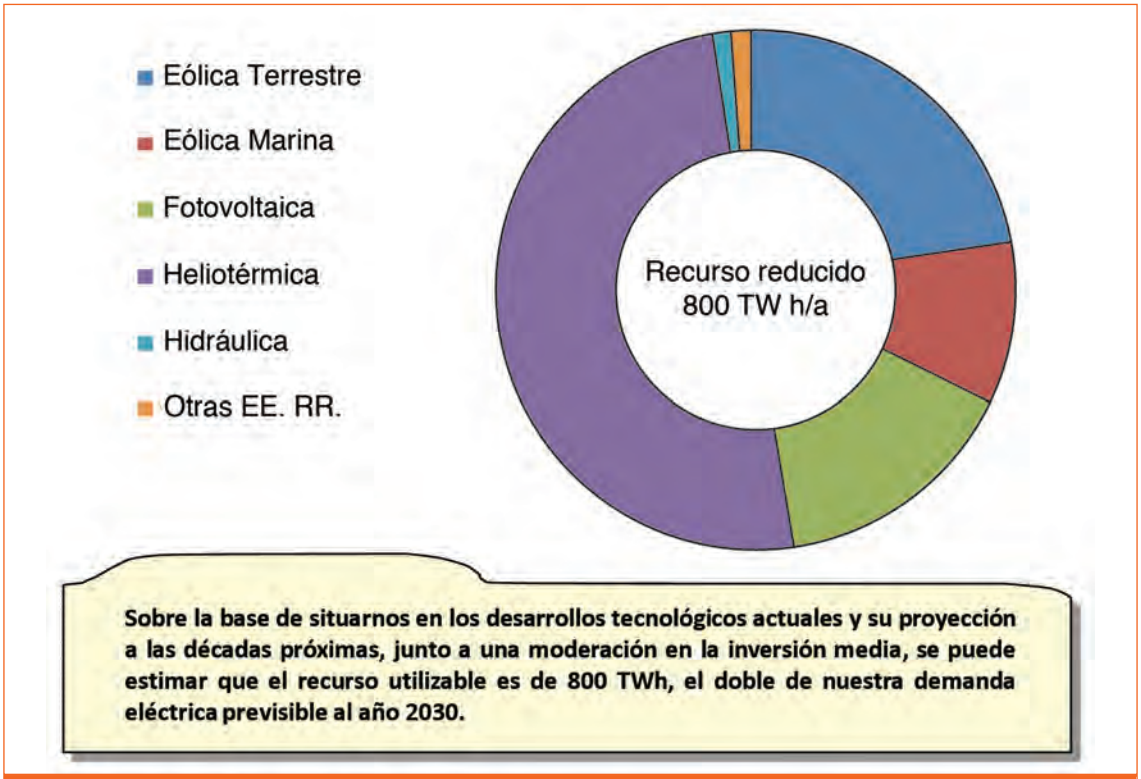


Figura 17.- Estimación del recurso renovable a considerar para un desarrollo energético a medio/largo plazo. Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 2.
LAS ENERGÍAS RENOVABLES: POTENCIAL ENERGÉTICO Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Capítulo 2. Las energías renovables: potencial energético y características principales

Vivimos en un mundo físico que está dominado absolutamente por las energías Renovables, que quizá más acertadamente deberían llamarse energías Naturales, por su presencia absolutamente unida a los procesos energéticos de la Naturaleza, especialmente los relacionados con el sol. Estas energías vivifican el planeta, dominan la meteorología y su potencia total (sumando todas ellas) excede de lejos el consumo energético de la humanidad. Este puede cifrarse en unos 13 TW, que en media e ininterrumpidamente la humanidad está extrayendo de diversas fuentes, aunque más del 80 % procede de los combustibles fósiles. Esos 13 TW son solo un diezmilavo de los más de 120.000 TW que llegan de radiación solar a la superficie de la Tierra, siendo esa la principal energía natural o renovable.

La mayor parte de las Renovables dependen de la radiación solar, o son conversiones a partir de ella; pero otras son geogénicas, como la Geotermia, y otras son de mayor predominio gravitatorio lunar, como las mareas. Pero éstas son casi irrisorias comparadas con la solar; lo cual no es óbice para que esas energías no solares sean aprovechables en emplazamientos especialmente relevantes a esos efectos.

Esa es otra de las características de las energías Renovables: son ubicuas (aunque sea una licencia del lenguaje, no del todo cierta) pero si se quieren aprovechar con buen rendimiento económico, dentro incluso de los regímenes subvencionados, se han de hallar emplazamientos en los que sus variables físicas significativas, como la velocidad del viento, sean muy altas. Lo mismo cabe decir para la intensidad de la radiación solar, o para la productividad de la biomasa en toneladas por hectárea. Si no se encuentran zonas donde la intensidad de su efecto energético sea muy superior a la media, difícilmente se podrá explotar esa energía.

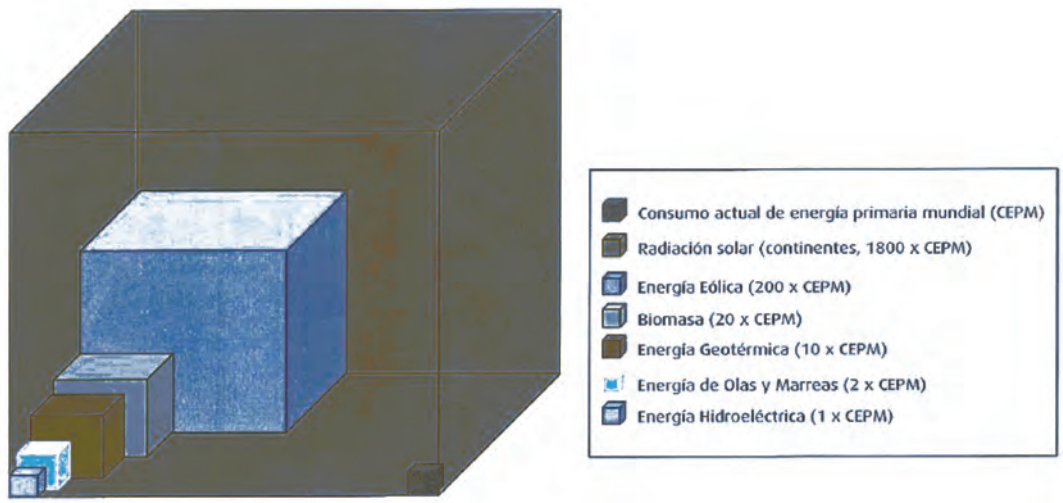
Las Renovables tienen varias **características negativas** para su explotación, como son:

- Su baja intensidad
- Su intermitencia
- La imposibilidad fáctica de su almacenamiento, salvo que hayan sufrido una transformación, como es el caso de la biomasa, o de la hidráulica embalsada, que procede de la evaporación del agua del mar.
- La dificultad de su prognosis, lo cual afecta sobre todo a sus emplazamientos a nivel individual. Cuando se cuenta con un número muy grande de instalaciones, como es el caso de la eólica en España, la prognosis del conjunto (en MWh producibles en las siguientes 4 ó 6 horas, por ejemplo) es muy fiable, como se explica en el apartado correspondiente de este Estudio.

Y tienen como **características muy positivas** el ser naturales, no contaminar (salvo indirectamente, por subproductos, etc,) y tener un combustible de precio cero (salvo la biomasa, y las que dependen del agua, aunque no porque su explotación hidráulica implique consumo de agua, sino por los usos alternativos de ésta; incluyendo la refrigeración de todo tipo de centrales térmicas, que sí consumen agua).

La renovación con la cual se reponen las Renovables no es infinita, sino acotada, como los propios procesos que las generan (caso de las reacciones de fusión en el sol, que son el origen de su radiación). Eso significa que su potencial está limitado, y es la primera cuestión a señalar. A nivel planetario, el potencial de estas fuentes tiene dimensiones relativamente bien conocidas, que se recogen en el cuadro siguiente, en forma comparativa con el consumo humano actual.

Conviene precisar que en ese grafo, a la energía Solar se le imputa un valor 1.800 veces el del consumo humano, mientras que en párrafos precedentes se había dado un factor 10.000. Ambas cosas son ciertas: este último número hace referencia a los procesos naturales en bruto, y muchos de ellos no se pueden aprovecharse directamente, pues la naturaleza los "invierte" en determinados procesos. Por ejemplo, de las 120.000 TW llegados a la superficie, unos 36.000 se consumen en evaporar agua del mar. Otras cantidades de transforman en energía cinética del aire, o de las corrientes marinas, etc. Además de eso está la dispersión geográfica, pues en el mar sería difícil explotar esas fuente de energía, y tampoco sería fácil en las cadenas montañosas. De modo que al final la cantidad de energía disponible es notoriamente menor que el recurso natural bruto; y aún se hace menor a causa de las limitaciones de la tecnología. Las máquinas no funcionan bien cuando la variable dinámica que las activa es de baja intensidad. Por ejemplo, las máquinas térmicas tienen muy bajo rendimiento, y no arrancan a



Energías renovables en el contexto energético. El teórico potencial físico de estas tecnologías es prácticamente ilimitado. Fuente: Nitsch, F. (2007): Technologische und energiewirtschaftliche Perspektiven emeuerbarer Energien, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt.

funcionar, si su foco caliente no tiene suficiente temperatura. Los molinos de viento sólo empiezan a girar cuando el viento tiene una velocidad que vence los rozamientos internos de los mecanismos. Lo cual nos lleva a señalar que el potencial real de las fuentes renovables depende precisamente de la tecnología disponible. No obstante, las mejoras tecnológicas no suelen ir dirigidas a ampliar el uso de esas fuentes para valores bajos de sus rendimientos, sino a explotar eficientemente estas energías en lugares de alta intensidad. La evolución de los aerogeneradores es un caso claro, yendo continuamente a unidades más altas, y de mayor potencia, con palas de mayor diámetro que barren los vientos de mayor altura, que son más fuertes.

Aunque el potencial de las renovables se vea muy voluminoso en relación con el consumo humano, según el grafo anterior, su valor real para una región o para un país se ha de aquilatar con mejor precisión, e identificando sobre todo los emplazamientos de mejores prestaciones. En **España**, una valoración muy cuidada del **potencial de nuestras fuentes renovables** la dirigió el prof. C. Dopazo para UNESA en el año 2005, y en este Estudio se ha empleado como referencia habitual. El acopio de datos futuros, tanto meteorológicos como de funcionamiento de instalaciones, irá mejorando la precisión de esos datos, y también se irán completando lagunas de los mapas de las diversas variables, pero el citado documento proporciona unos datos muy relevantes, que dan

clara idea de la capacidad energética natural de la que dispone el país en las distintas fuentes, lo cual se esquematiza en el cuadro siguiente, en el que se dan valores absolutamente de máximos (como cabe inferir de la cantidad de territorio involucrado):

- **Potencial de las renovables en E para generación de electricidad**
  - Eólica Terrestre : 1.100 TWh/a; 52% territorio
  - Eólica Marina: 300 TWh/a ; 11% ZME
  - Fotovoltaica: 20.000 TWh/a ; 57% terr.
  - Heliotérmica: 5.000 TWh/a; 30% terr.
  - Biomasa (y Res.): 300 TWh/a; 30-50% terr.
  - Hidráulica: 100 TWh/a
  - Ondumotriz: 1.000 TWh/a; 6.000 km costa
  - Otras ? : no relevantes, o especulativas

La explotación de estas fuentes sólo es posible, como se ha dicho, en emplazamientos seleccionados, de altas prestaciones en las variables relevantes. Ello además implica menores extensiones de terreno, lógicamente. En el cuadro siguiente se dan las cifras de la potencia (en energía anualmente generable) que de un modo factible se podrían explotar en España. Los datos también proceden del trabajo de C. Dopazo para UNESA:

- **Factibilidad de las renovables en E para generación de electricidad**
  - Eólica Terr.: 280 TWh/a; 7% terr; 87 €/MWh
  - Eólica Mar: 80 TWh/a; 2% ZME; 180 €/MWh
  - Fotovoltaica: 7.000 TWh/a; 15% t; 450 €/MWh
  - Heliotérmica: 600 TWh/a; 1,5% t; 250 €/MWh
  - Biomasa (y Res.): 50 TWh/a; 10% t; ¿?
  - Hidráulica: problemática del agua
  - Ondumotriz: problemática medioambiental

En el cuadro anterior se ha incluido también el nivel de coste al que está computada esa potencia. Lógicamente, si se aumenta el coste, se pueden poner más emplazamientos en valor, y el potencial factible sube. Para poner esos datos en perspectiva, téngase en cuenta que la generación actual bruta de electricidad en nuestro país es de unos 300 TWh/año.

Pero no todo lo de las renovables se restringe al potencial energético. Las **características intrínsecas de su tecnología** son también cruciales, y aunque lo específico de ellas está tratado en los apartados correspondientes, a continuación se muestra una tabla que relaciona las cinco grandes tecnologías con algunos aspectos de su implantación. Aunque es una clasificación en cierta medida subjetiva, ayuda a clarificar los resultados de los diferentes despliegues. Se vé, por ejemplo, que la FV está muy deslocalizada, y efectivamente no forma grandes unidades de producción (centrales) que gestionen una gran potencia unitariamente, como es lo clásico; lo cual es un aspecto negativo para la gestión de la red (por mucho que algunos hipervaloren las ventajas de la generación distribuida).

Por otro lado, el hecho de ser tecnológicamente muy sistemática y replicable, ha ayudado extraordinariamente a la expansión de la eólica terrestre. Por el contrario, en la eólica marina no se podrá replicar todo, pues una parte importante de sus instalaciones, la correspondiente a la obra civil, cimentación y demás aspectos constructivos, será muy dependientes del sitio en cuestión.

Análogamente, la STE tiene también especificidades para España, pues sólo funciona con irradiación solar directa, y de ese tipo, España tiene la mayor extensión de territorio, dentro de la Unión Europea. De las características clasificadas, dos tienen connotaciones negativas: Deslocalizada y Atomizada; y las otras dos positivas: Sistemática y con Especificidad para el país.

Tipo de tecnología / energía	Eolo Terrestre	Eolo Marina	Foto-voltaica	Helio-térmica	Bio-masa
Deslocalizada			- - - - -		
Atomizada			- - -		- - - -
Sistemática	+ + + + +	+ + +	+ + + +	+ + + +	+ +
Especificidad en España		+ +		+ + + +	+

Con el planteamiento general que se ha ido presentando, cabe formularse al pregunta: **¿Qué EERR nos interesa desarrollar?**

La contestación pasa por considerar los siguientes elementos de juicio:

- Potencial natural aprovechable
  - Uso razonable del territorio (energías con muy baja densidad de potencia)
- Potencial económico-tecnológico
  - aumenta a medida que se avanza en la curva de aprendizaje
- Gestionabilidad de la energía, para superar la variabilidad del recurso natural
  - Solar Termo-eléctrica: almacenamiento térmico
- Tecnología de cada renovable: características y curva de aprendizaje
  - Capacidad española, e incluso liderazgo por desarrollos propios
  - Asimilación de tecnología, o adquisición de productos globalmente
- Implicaciones y efectos adicionales para el país (como creación de empleo, reducción de importaciones de combustibles fósiles, reducción de emisiones de CO_2 y otros.

En principio conviene desarrollar energías con tecnologías sistematizables y específicas, por tener más posibilidades de convertirlas en ciclos de negocio propios: la más inmediata es la Eólica Terrestre; pero son muy interesantes las expectativas de casi todas las otras, aunque la Biomasa se está mostrando especialmente compleja, por cuestiones que se comentan en su apartado.

EL FACTOR ECONÓMICO

Para muchos, el talón de Aquiles de las renovables es el coste, e indudablemente sin el apoyo de una política de subvenciones de altos vuelos, las renovables no habrían despegado. En el cuadro siguiente se muestran las primas recibidas por las diversas tecnologías de generación en el año 2008, año un tanto especial en el que se dejó sentir el efecto llamada del R.D. 661/2007, que produjo las burbujas solares. La Fotovoltaica ya se dejó sentir enormemente en ese año 2008, pues los tiempos de maduración y ejecución de sus proyectos es muy corto, y el marcado globalizado muy largo, de modo que la distancia desde los paneles chinos a los

Tecnología	Aporte inercial	Regulac. primaria	Regulación secundaria	Regulación terciaria
Hidráulica	Sí	Sí	Sí	Límite disponibilidad
Nuclear	Sí	Sí	No habitual	Uso no habitual
Térmica carbón	Sí	Sí	Sí	Sí
Ciclo combinado (*)	Sí	Sí, con limitaciones	Se emplea el seguimiento "lento" de demanda	Sí
Minihidráulica	Sí	Viable por tecnología No se aprovechan por dispersión/atomización		
Reg. Especial térmico	Sí			
Eólica y fotovoltaica	No	No	No	No (podría emplear-se "a bajar")

(*) Un ciclo combinado es una central mixta con turbina de gas y caldera de recuperación con vapor, donde la máquina dominante es la turbina de gas.

emplazamientos españoles se redujo a cuestión de semanas. Mayores tiempos de maduración y ejecución tienen los proyectos termo-solares, en los que tampoco existe todavía un mercado globalizado tan extenso y vital como el de los semiconductores en todas sus facetas. Más aún, en 2008 la potencia STE instalada era exigua (20 MW) y no se discriminaba aún de la PV, a pesar de tener primas muy diferentes (notoriamente mayores para la PV), de modo que en la rúbrica en cuestión, van las dos juntas. Pero hay que advertir que el monto de la "burbuja STE" no fue menor que el de la PV, pues se depositaron avales, a lo largo de 2008, por valor de 15.000 MW; si bien el gobierno, con sucesivos RD y resoluciones, como la de noviembre de 2009 (BOE del 24), ha puesto cierto orden cronológico a esta eclosión, como se comenta en el apartado de STE. En todo caso, en el año 2008 ya se dejó notar notoriamente el epso de las primas, que totalizaron 2.580 M€, cantidad que es aproximadamente el 8 % de la facturación total del sector. En el año 2009 las primas han subido más aún en conjunto, por la mayor producción de la PV; pues muchas de las instalaciones de esa burbuja entraron muy a finales de 2008, en el que dieron de alta casi 3.000 MW de esa energía.

Considerando la diferencia entre primas por kWh para cada renovable, podría aconsejarse, en teoría económica clásica u ortodoxa, que esas inversiones públicas

Tecnología	Potencia, MW	Energía, TWh	Primas, M€	Retrib. Total M€	Primas c€/kWh	Total €/MWh
Eólica	15.595	31,89	1.261	3.203	3,95	100,4
Solar(PV+T)	3.460	2,54	976	1.152	38,4	453,5
Mini hidro.	1.980	4,63	149	446	3,21	96,3
Biomasa	587	2,49	129	290	5,18	116,4
Residuos	569	2,73	65	239	2,36	87,5
Total	22.191	44,28	2.580	5.330	5,82	120,4

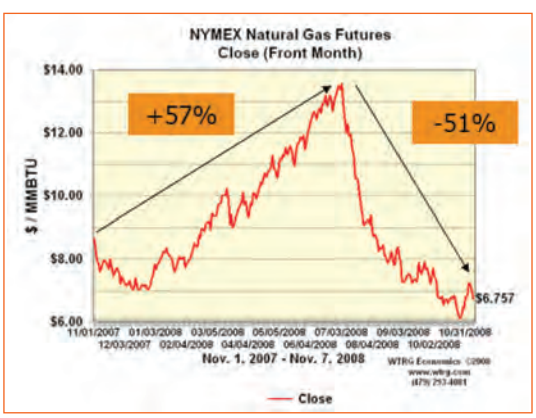
Subvención a la producción eléctrica con Renovables, 2008
Facturación anual del sector: 31.000 M€

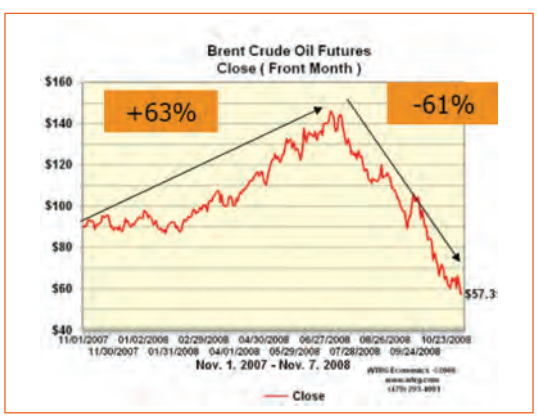
se centraran sobre todo (o totalmente) en la Eólica (terrestre) teniendo en cuenta además la buena reacción del mercado español de esa tecnología y su capacidad de exportación. Eso iría en línea con la evolución en ciclos de negocio, y el primero en las renovables, y de hecho lo está siendo, sería el eólico. También estaría esa práctica en consonancia con los "monocultivos" que han solido darse en la electricidad, pasando por el todo presas, todo fuel, todo carbón, todo nuclear, todo gas…

Sin embargo, la necesidad de ampliar la base y las opciones de generación con renovables, han conducido a la buena intención de sobreprimar las otras (en relación con las primas a la eólica) llegando a primar a la PV 10 veces más que a la eólica. Eso sólo tiene sentido para esa estimulación de base a la que se aludía, pero no puede mantenerse indefinidamente. Y aunque el gobierno había previsto en el PER (plan de Energías Renovables 2005-2010) que la estimulación de la PV sólo incorporaría 500 MW, la disposición legal (RD 661/2007) adoleció de no cerrar bien la puerta del negocio, y al amparo del RD se colaron seis veces más; y algo similar ocurrió con la STE. Esa ingenuidad legal ha sido reconducida en un caso y otro, pero ha producido tal vaivén en los sectores correspondientes, que algunas empresas españolas de fabricación y montaje, en ve de aprovechar la crecida del río, han sucumbido en la riada. Pero a pesar de esa reconducción (que para la PV se plasma en el RD 1578/2008 y para la STE en el RD 6/2009 y la resolución de 19 de noviembre de 2009), el efecto de las primas se va a prolongar en el tiempo casi indefinidamente, pues a los 25 años asegurados por el RD 661/2007, se le añade un período subsiguiente sin final, y la posibilidad de repotenciar las instalaciones, con muy pocas restricciones.

Esa política significa que la generación eléctrica va a estar lastrada de un sobrecoste enorme, que en el 2009 ya ha superado el 10% d la facturación del sector, y que tiene poco sentido cuando se hace una comparativa elemental entre unas primas y otras. Es obvio que resulta necesaria una reconsideración del conjunto de disposiciones legales, en las cuales unos "lobbies" han tenido más suerte que otros al ser escuchados. También es cierto que ha habido mucho mimetismo de lo hecho por Alemania, y en su caso también se observan diferencias enormes de unas primas a otras, y el sobrecoste de las primas a renovables viene a ser el 8% de la facuración.

Por descontado, el impacto económico de las primas en el futuro dependerá sustancialmente de la evolución de los costes de combustibles, siendo el gas natural la referencia fundamental en la generación de electricidad. Según es bien sabido, y según se aprecia en las gráficas subsiguientes, tanto para subida como para bajadas de precios (por el advenimiento de la crisis) el gas tiene sus precios muy indexados con el crudo de petróleo, que de forma continuada tiende a subir, si bien haya experimentado un retroceso por la crisis. Esto quiere decir que en un decenio o menos, según se relance el consumo, volverán a incrementarse los precios de la energía, y en ese escenario (que vendría acompañado de una expansión económica) las primas a las renovables no serían tan onerosas. Por lo contrario, sí lo serían si los costes de generación de electricidad van a la baja, como ha ocurrido en 2009. Dicho de otra manera: si la sociedad es rica (por no decir opulenta) se puede pagar las renovables; si no lo es, las renovables son inmantenibles. Esta es una paradoja, y una realidad, que no debe olvidarse al plantear el apoyo a todas estas tecnologías; apoyo que debería ser más gradual, más dirigido al avance tecnológico, y con una priorización adecuada, y proporcionada entre medios y fines.





2.1. Energía eólica

SITUACIÓN INTERNACIONAL

La industria eólica puede considerarse como un sector maduro internacionalmente, aunque su despliegue geográfico no sea uniforme ni mucho menos, y existan países, particularmente España que puedan considerarse de plena madurez, y otros muchos, incluso entre los industrializados, que están aún por empezar su andadura en esta industria.

Es de señalar que en el año 2009 se llegó a una cifra total de instalaciones en el mundo de 157.900 MW, con un volumen de nuevas plantas, en dicho año, de 37.500 MW, lo que supuso un incremento del 31 % respecto del año anterior. China fue el país con mayor número de instalaciones, llegando a 13.000 MW, lo cual supuso más que duplicar su potencia, pues a finales de 2008 estaba en 12.000 MW. Esta es una típica situación "a la China", con eclosiones de números altísimos en las actividades energéticas que se abordan, como ha sido el caso de las centrales de carbón a principios de este siglo, en las que en algunos años se superaron los 50.000 MW de nueva instalación. También es de señalar que en Estados Unidos de América se superaron los 10.000 MW instalados ese año, a raíz de la aplicación de la Recovery Act al sector eólico; aunque el mercado mayor, y de mayor expansión actualmente, sea el asiático, donde hay que contar además de los chinos, con 1.270 MW instalados en India y cantidades menores en Japón, Corea del Sur, y Taiwán, con lo cual se alcanzan los 15.000 MW en dicho continente.

El interés internacional por evaluar correctamente los recursos eólicos han llevado recientemente al Departamento de Energía a realizar una estimación actualizada del potencial de generación de energía eléctrica mediante el viento, lo cual fue encargado al Nacional Renewable Energy Laboratory (NREL, de Golden, Colorado) y la compañía AWS Truewind. Los resultados triplican el estudio ante-

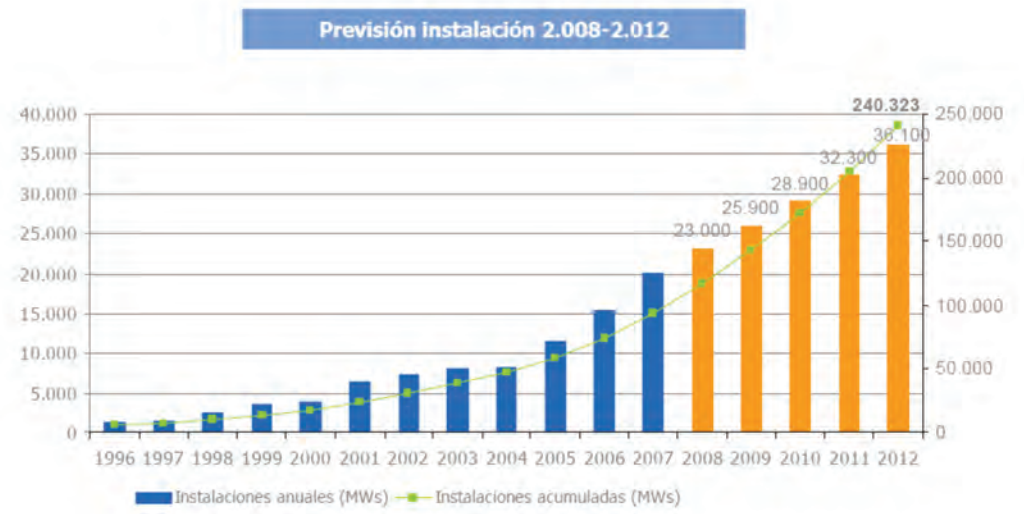


Figura 1. Evolución del parque eólico mundial. Efectivamente en el año 2009 se han superado los 150.000 MW. Fuente: GWEC

riormente realizado por el Departamento de Energía en 1993, lo cual se debe a varios factores, entre los que hay que destacar la mayor altura considerada para la valoración del potencial eólico, pues hace unos años se consideraban los 50 m de altura como el valor representativo para esa estimación, y hoy día, por los aerogeneradores disponibles, se ha subido a 80. También hay que contar con la disponibilidad de series obtenidas con mejores instrumentos en zonas de fuerte interés eólico, pero que por motivos de escasa demografía habían sido poco monitorizados meteorológicamente. En concreto, el estudio considera que en los 48 estados contiguos de la Unión, se pueden llegar a generar 37.000 TWh anualmente, lo cual es una cifra verdaderamente alta, pues en USA la generación total de electricidad por todas las fuentes alcanza hoy día los 4.000 TWh. Esto significa en números gruesos que la eólica podría satisfacer toda la energía necesaria, aunque para ello requeriría unos sistemas de almacenamiento energético de gran capacidad, lo cual queda todavía muy lejos de las posibilidades tecnológicas. En todo caso, la cifra va a alentar tremendamente el despliegue eólico norteamericano, en el que se pondrá énfasis en avanzar rápidamente con la curva de aprendizaje para reducir costes de manera significativa, realizando grandes series de unidades repetidas, y buscando los lugares de mayor número de horas al año de viento utilizable. Es decir, USA y Asia se configuran como los grandes mercados emergentes en la industria eólica.

Cambiando de continente, la situación en Europa se mantiene considerablemente bien, con una instalación en 2009 de 10.150 MW, lo que supone un incremento del 23 % respecto del año anterior.

Y dentro de esta situación europea es de señalar que España ha vuelto a ser en 2009 el país con mayor número de instalaciones, con 2.459 MW. A finales de 2008 se tenía una cifra de 15.595 MW operativos, y en Enero de 2010 ya se cuentan con 18.390 MW.

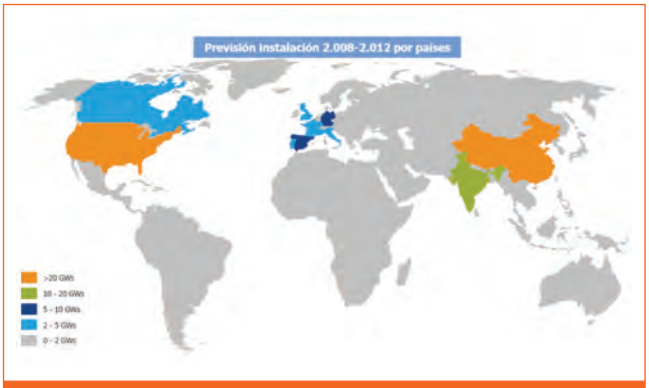


Figura 2. Áreas dominantes en la inversión eólica del próximo lustro.

El impacto económico de toda esta actividad eólica supone un volumen de negocio de unos 45.000 millones de euros en todo el mundo, estimándose por parte del Consejo Mundial de Energía Eólica (GWEC) en medio millón de personas el número de trabajadores de esta industria en todo el mundo.

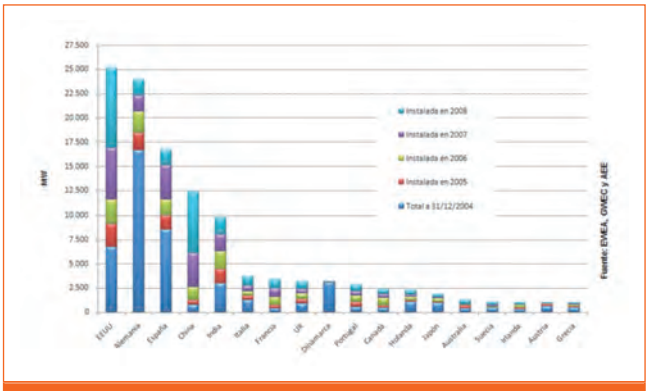


Figura 3. Instalación de energía eólica por países.

Aunque en función de estos datos la situación española es muy positiva y próspera, la realidad es que han aparecido incertidumbres en la comercialización de nuevas instalaciones por el cambio de legislación efectuado por el gobierno a lo largo de 2009, como consecuencia de la eclosión de renovables del año 2008, a raíz del efecto llamada del Real Decreto 661/2007.

Situación actual española

La situación española a principios de 2010 es un tanto contradictoria. Por un lado hereda el espectacular desarrollo habido en la energía eólica durante los dos decenios anteriores, con un nivel de nuevas instalaciones que superó los 1.000 MW en todos los años del siglo XXI; y por otro lado, debe afrontar las consecuencias de una nueva política de estimulación de las renovables, más ordenada, y que se plasma sobre todo en el RDL 6/2009, obligando al registro de preasignación en esta fuente de energía, que hasta la fecha había tenido un marco no encorsetado de desarrollo.

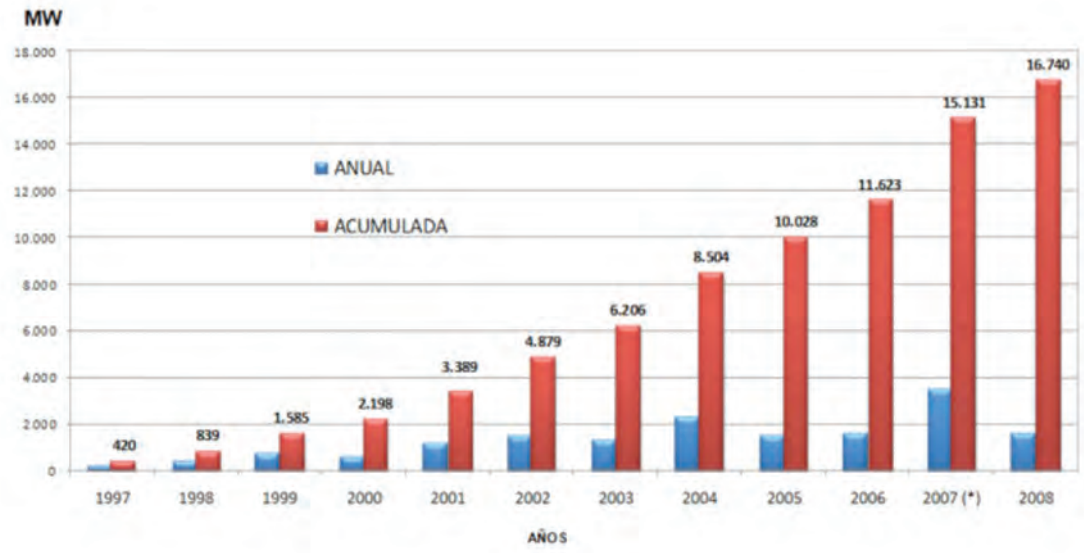


Figura 4. Evolución de la instalación de potencia eólica en España. Fuente: Observatorio Eólico AEE.

Aparentemente esta ha sido la causa de una reducción significativa de pedidos en las carteras de las empresas fabricantes de equipos eólicos en España, pues desde la creación del Registro de Preasignación publicado en el BOE el 7 de mayo de 2009 hasta 15 de diciembre de ese año, los promotores no supieron si sus proyectos habían superado o no ese trámite administrativo de la Secretaría de Estado de Energía. No obstante, el año 2009 ha sido notoriamente bueno en potencia instalada porque los parques inaugurados proceden de iniciativas comenzadas varios años atrás; y el Registro tendrá su efecto adverso, según la Asociación Empresarial Eólica, en los años venideros, cuando deberían entrar proyectos que no se han puesto en marcha en 2009.

No obstante, hay que señalar que por Resolución del Consejo de Ministros de 13 de noviembre de 2009 (BOE 283, de 24 de noviembre, 09), se abrieron unos cupos para la eólica que son de notoria entidad.

Indudablemente no cabe cuestionar que el gobierno está obligado a reglamentar mejor el proceso de fomento de las renovables, pues las primas que se están devengando, con derechos por más de 25 años, son un peso importante para el sector eléctrico, y prácticamente están ya en el 10 % de su facturación total.

Más aún, habría que reflexionar sobre el hecho de que tras 20.000 MW (en números redondos) la industria eólica siga considerando imprescindible la subvención a su producción; lo cual contrasta con el discurso que algunas empresas

Año	Eólica		
	Incremento energía vendida (%)	Incremento potencia instalada (MW)	Energía vendida (TWh)
1990			
1991	27%	1	0,002
1992	518%	30	0,016
1993	390%	1	0,08
1994	-8%	8	0,08
1995	132%	57	0,18
1996	107%	129	0,37
1997	86%	193	0,70
1998	94%	466	1,35
1999	99%	800	2,7
2000	74%	610	4,7
2001	48%	1.212	6,9
2002	39%	1.558	9,6
2003	26%	1.258	12,1
2004	33%	2.208	16,1
2005	32%	1.562	21,3
2006	9%	1.802	23,2
2007	19%	2.640	27,7
2008	16%	1.786	32,1
2009	13%	2.459	36,3

Tabla I. Evolución de la Eólica española.

fabricantes manifiestan para convencer a nuevos países de entrar por la línea eólica, a base de asegurar precios competitivos en el mercado.

Uno de los problemas inherentes a la eólica es precisamente el tamaño del mercado español, su crecimiento retraído por la crisis económica de estos últimos años, y las dificultades de incorporar cada año los 2.000 MW eólicos en un año, en números redondos. Esta es una cifra muy importante, que parecía absolutamente inalcanzable a primeros de siglo, cuando el sueño estaba en los 1.000 MW. La industria ha tenido una espectacular capacidad de reacción ante su propio éxito, y ha generado una maquinaria de muchísima solvencia técnica y de montaje; pero cabe cuestionarse si no está sobredimensionada para el mercado doméstico. En todo caso, como este mercado está ahora relativamente estancado, es obvio que las industrias españolas tendrán que primar la exportación, aunque puede resultar una tarea difícil para una industria que tiene unas pocas grandes empresas, y muchas entidades de porte local, muy asentadas en las comunidades autónomas, como luego se comentará.

Es obvio que habrá tensiones entre el gobierno y las empresas involucradas, y en particular la Asociación Empresarial Eólica, pero esta es una situación que podría considerarse normal por la doble necesidad existente: seguir estimulando el desarrollo de las renovables; y hacer éstas más competitivas, y si puede ser realmente rentables, como un ciclo de negocio para el país en general, y no como ciclo de negocio gracias a las subvenciones.

El problema sin embargo es de cierta complejidad por las implicaciones socioeconómicas y de empleo que comporta esa industria, que ha tenido un desarrollo muy ligado a las vocaciones eólicas de algunas Comunidades Autónomas, como se comenta en los apartados subsiguientes.

El desarrollo geográfico de la energía eólica en España

España ocupa el cuarto lugar en el mundo por potencia instalada, después de Alemania, EE.UU. y China, aunque previsiblemente pronto será sobrepasada por otros países asiáticos que aparecen ya como grandes mercados para esta fuente de energía. Nuestro desarrollo se inicia a mediados de los ochenta con el apoyo de IDAE y PIE, más el claro interés de algunas Comunidades Autónomas que veían en esta nueva industria una fuente de creación de empleo.

En España es factible encontrar recurso eólico en la mayoría de las Comunidades Autónomas. Las zonas geográficas de mayor potencial eólico son:

- **Cuadrante Noroeste**.- Fundamentalmente en Galicia y Castilla Y León, los vientos del Atlántico, en especial en invierno, proporcionan emplazamien-

tos con más de 2.500 horas anuales equivalentes a plena carga. Es factible que en el año 2020 hubiera unos 10.000 MW instalados en este entorno.

- **Valle del Ebro**.- Aporta los vientos generados por esta depresión geográfica y en paralelo las situaciones anticiclónicas. Navarra, La Rioja y Aragón tiene un buen desarrollo eólico. Es factible que se pudiera llegar a unos 5.000 MW en ese año de referencia, 2020.

Figura 5. Desglose de la potencia eólica instalada por Comunidades Autónomas.

- **Castilla La Mancha**.- Es la Comunidad de mayor desarrollo eólico, los vientos del Mediterráneo, asociados a "La Baja Ibérica" y otros fenómenos meteorológicos aportan zonas de buen potencial eólico. Previsiblemente aquí, aprovechando los amplios espacios llanos se llegue a más de 7.000 MW de potencia instalada en el año 2020.

- **Costa Mediterránea**.- Hay bastantes zonas, con altitudes medias, que presentan buen recurso eólico, aunque sólo la Comunidad Valenciana ha planteado un claro desarrollo de esta energía. Aspectos de rechazo ambiental y otros han creado barreras por ejemplo en Cataluña. Hacia futuro habrá que considerar la opción de la eólica marina, tal como se apunta más adelante.

- **Sur de Andalucía**.- Aquí son los vientos del Estrecho los que marcan el recurso eólico, afecta a toda la costa atlántica aunque se concentran en la provincia de Cádiz. Es preciso constatar que la disponibilidad de recurso eólico marino es más amplio que el terrestre, tal y como se comentará más adelante. En este contexto es factible considerar que en el año 2020 hubiera unos 4.000 MW instalados en Andalucía, la mitad de ellos en plataformas marinas.

- **Islas Canarias**.- El recurso eólico es muy bueno, ligado a los vientos Alisios que dan emplazamientos con más de 2.500 horas equivalentes a plena carga. El desarrollo inicial de la energía eólica en España estuvo directamente asociado a Canarias, aunque luego ese crecimiento se paralizó por varias razones.

Sigue latente allí el interés por el desarrollo eólico y, previsiblemente a medio plazo veamos allí la construcción de nuevos parques, bien en tierra o bien en el mar, no con las primeras generaciones de máquinas marinas sino con futuros diseños para aguas profundas, posiblemente plataformas flotantes, tal como se sugiere más adelante.

- Las Comunidades Autónomas buscan el desarrollo industrial con la instalación de fábricas de componentes ya que varias de ellas no consiguen la fijación de empresas de diseño.
  - Galicia avanza en ese sentido, aunque fracasa en potenciar el diseño de aerogeneradores en los astilleros de Ferrol, que sólo ha participado en el mercado con la licencia de la danesa Bonus hoy propiedad de Siemens.
  - Castilla La Mancha también cuenta con fábricas de componentes. Cuenta con una empresa de diseño en Los Yébenes, hoy propiedad de la multinacional General Electric que debiera incrementar su proyección al mercado.

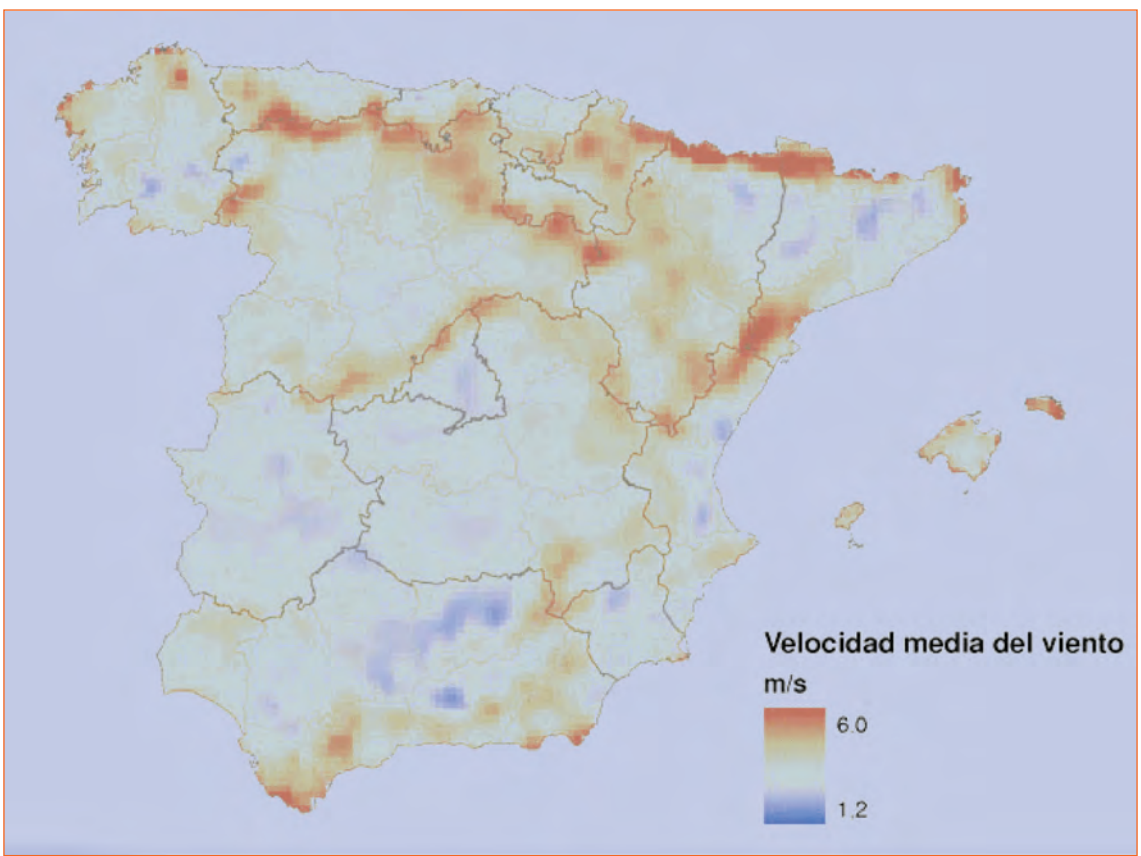


Figura 6. Potencial eólico en el territorio español. Fuente: trabajo de C.Dopazo para UNESA.

Prognosis del desarrollo eólico en España

Con estas consideraciones y otras se ha hecho una estimación de cómo podría ser la distribución de la potencia eólica instalada en España al año 2020, los 30.000 MW citados reiteradamente, la cual se recoge en la figura nº 7. No hay que olvidar que en varias de las Comunidades Autónomas hay propuestas de proyectos que en su conjunto sobrepasan esa cifra aquí indicada para el año 2020.

En la evolución eólica de España se sigue pensando en la ocupación de nuevos emplazamientos en tierra, y de hecho la mayoría de los proyectos que se proponen son de este tipo, no obstante hay que considerar dos temas nuevos respecto al desarrollo eólico, que en buena medida tienen relación con la evolución industrial y la estabilidad de la red, los cuales se analizan someramente a continuación:

- **Repotenciación de parques existentes**.- En los parques construidos antes del año 2000, en general con un buen recurso eólico, las máquinas instaladas tienen potencias unitarias por debajo de 660 kW, con respuestas deficitarias a posibles incidencias en la red, por ejemplo "huecos de tensión".

  Parece muy adecuado plantearse la sustitución de estas máquinas, en parques que ya están amortizados por otras de mayor potencia, ya de 2.000 kW; esto supondría incrementar sensiblemente la potencia instalada sin tener que recurrir a nuevos emplazamientos. Posiblemente se podrían tener así unos 5.000 MW de potencia adicional.

  Un planteamiento de este tipo debería dar una clara oportunidad de mercado a las industrias de componentes y diseño de aerogeneradores que trabajan en España.

- **Desarrollo de la eólica marina**.- Desde hace una década se han propuesto proyectos de parques en las costas españolas, en su momento el que alcanzó un mayor grado de definición se ubicaba frente a

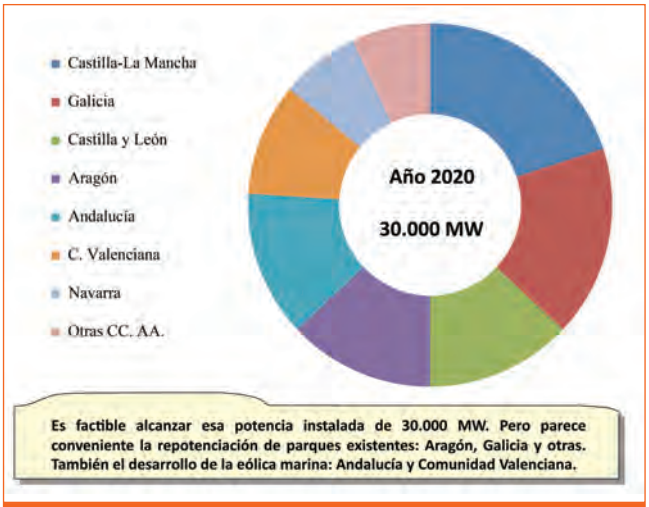


Figura 7. Un esquema posible de reparto eólico en España al año 2020.

Barbate a más de 12 millas de la costa en una zona de 30 m de profundidad, diseñado para una potencia total de 1.000 MW.

Las razones fundamentales para la no culminación de los proyectos fueron las discrepancias de tipo medio ambiental que surgieron. Hubo una oposición clara de los pescadores y su entorno, junto con un mal planteamiento del necesario diálogo por parte de las empresas involucradas en los proyectos.

La situación fue especialmente tensa en relación al proyecto de Barbate antes citado, los grupos ecologistas involucrados a favor de la eólica marina plantearon la conveniencia de instalar plantas de demostración con cuatro o cinco aerogeneradores a fin de mostrar la inocuidad de esos proyectos, pero la propuesta no fue adelante.

El hecho no es baladí ya que el potencial eólico en el Golfo de Cádiz es muy amplio se sugería la posibilidad de instalar entre 10.000 y 25.000 MW. De otro lado el desarrollo industrial que hubiera podido plantearse en los asti-

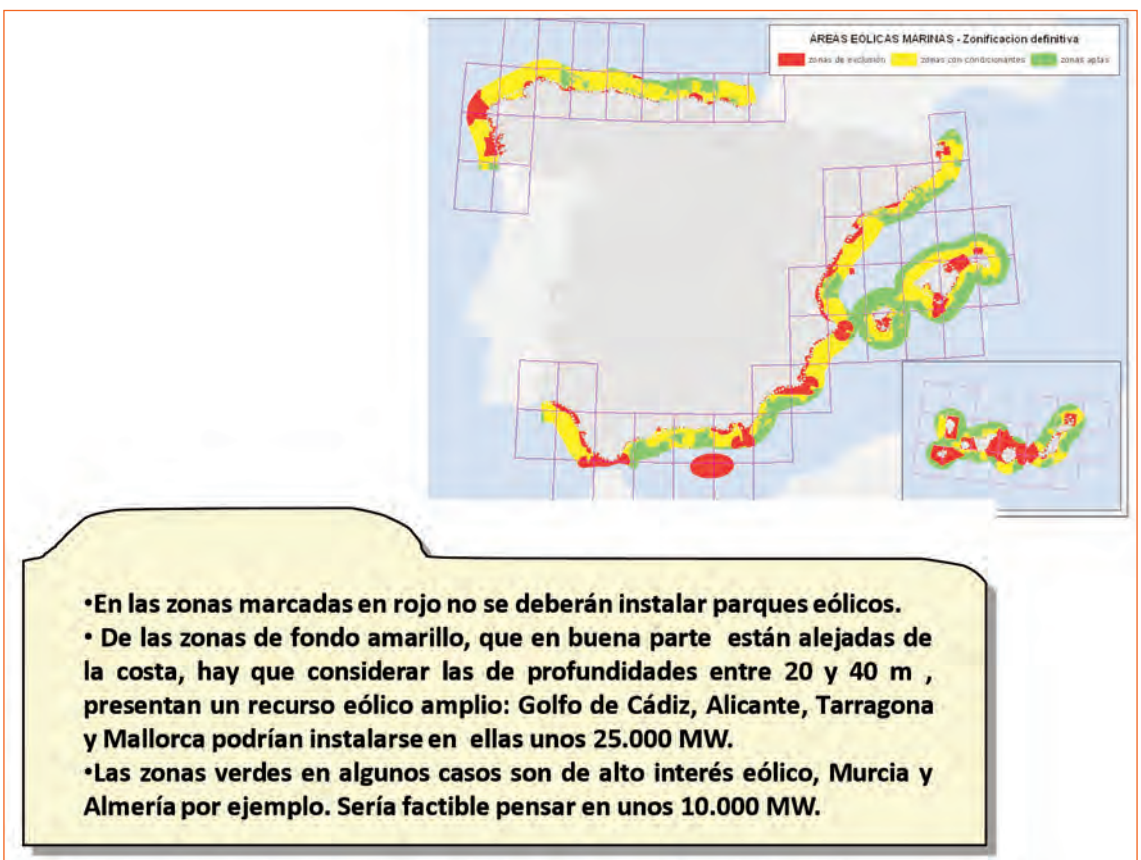


Figura 8. Calificación ambiental de las costas españolas a efectos de posible implantación de parques eólicos.

lleros de esa provincia podría haber sido una oportunidad de creación de empleo.

Todo ello, junto a las propuestas de proyectos en el Delta del Ebro y otros puntos del Mediterráneo, más la posición inicial de la Xunta de Galicia en el año 2005 contraria a los desarrollos eólicos, en particular los marinos; hizo que el tema pasara a una situación de olvido. Recientemente se ha publicado desde el Gobierno del Estado una valoración ambiental de las costas españolas a efectos de la implantación de parques eólicos marinos, que si bien reduce los entornos de posible ubicación, clarifica las cosas hacia futuro. En la figura nº 8 se muestra esa valoración.

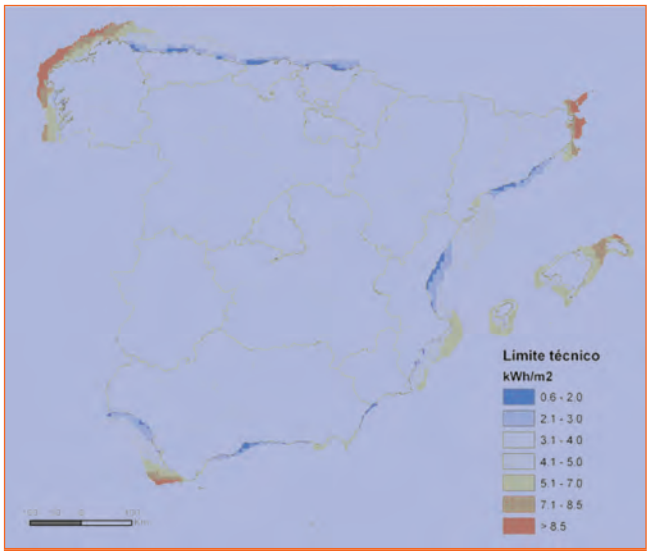


Figura 9. Potencial eólico off- shore en las costas españolas. Fuente: C.Dopazo para UNESA.

En este documento se estima que hacia el año 2020 se debieran haber construido algunos proyectos marinos, tanto en el Golfo de Cádiz como en la costa mediterránea. Es factible pensar en unos 5.000 MW de potencia total.

Con estas dos consideraciones arriba expuestas: repotenciación y eólica marina, se estima que no debieran ocuparse nuevos emplazamientos en tierra equivalentes a más de 5.000 MW.

La otra cara de la moneda: la Industria Eólica

La industria eólica española se desarrollo en paralelo al crecimiento de la potencia instalada, si bien en esa evolución ha habido claros y oscuros. Cabe reconocer que hoy entre las empresas punteras del mundo en el diseño y suministro de aerogeneradores hay una española, GAMESA, pero en el camino se han quedado oportunidades sobre las que es conveniente hacer algunos comentarios.

- En la segunda mitad de los años ochenta se inicia la aplicación de la eólica a la generación conectada a red en España. Hay tres ofertas empresariales:

- ECOTECNIA, que nace de una cooperativa de técnicos en Barcelona y que alcanza un muy buen nivel tecnológico propio, exporta equipos a terceros países. Pero finalmente se vende a una multinacional francesa ALSTOM. La nueva sociedad previsiblemente seguirá comprando componentes en España.
- MADE, filial de ENDESA, que se inicia también con tecnología propia, tiene buenos resultados en España y en los proyectos del extranjero, con fábrica propia en Medina del Campo. Pero es vendida a GAMESA.
- ABENGOA, que utiliza tecnología propia y foránea de AWP, no alcanza los éxitos esperados. Vende su negocio eólico a una empresa holandesa y se concentra en solar térmica de alta temperatura y biocarburantes líquidos. Se pierde una oportunidad de desarrollo industrial eólico en Andalucía.

La industria mundial de la energía eólica ha evolucionado desde las pequeñas y medianas empresas hacia las grandes corporaciones, lo que por un lado muestra el interés de éstas por el mercado de aerogeneradores y parques, y de otro plantea la creciente necesidad de herramientas financieras, y también tecnológicas, para competir en este mercado.

En la actualidad tres de esas corporaciones de bienes de equipo participan en la industria eólica: General Electric, Siemens y Alstom, es previsible que desembarquen otras grandes compañías a medio plazo; junto a ellas hay otras empresas específicas de gran peso en el mercado eólico: VESTAS, ENERCON y la ya citada GAMESA.

El mercado de la eólica en tierra es amplio y las diferentes empresas, en particular las grandes, tratan de extender sus exportaciones, pero en la mayoría de esos compradores potenciales surgen empresas propias, es el caso de China que si bien fue importador en el pasado no parece que continúe siéndolo en el futuro.

Una apuesta de futuro: la Eólica Marina

Hay que hacer una llamada de atención al desarrollo de la tecnología marina, cuyo potencial español ha sido comentado antes. Previsiblemente avanzará la instalación de parques en el mar por diferentes razones: las velocidades medias de viento son mayores, es factible instalar grande máquinas bien equipadas con sistemas electrónicos que las hagan más adecuadas para niveles de alta penetración en la red, es más fácil evitar el intrusismo en los parques y su deterioro. Por el contrario las inversiones en la actualidad son sensiblemente mayores: 3.000 €/kW instalado frente a los 1.300 €/kW en los parques terrestres.

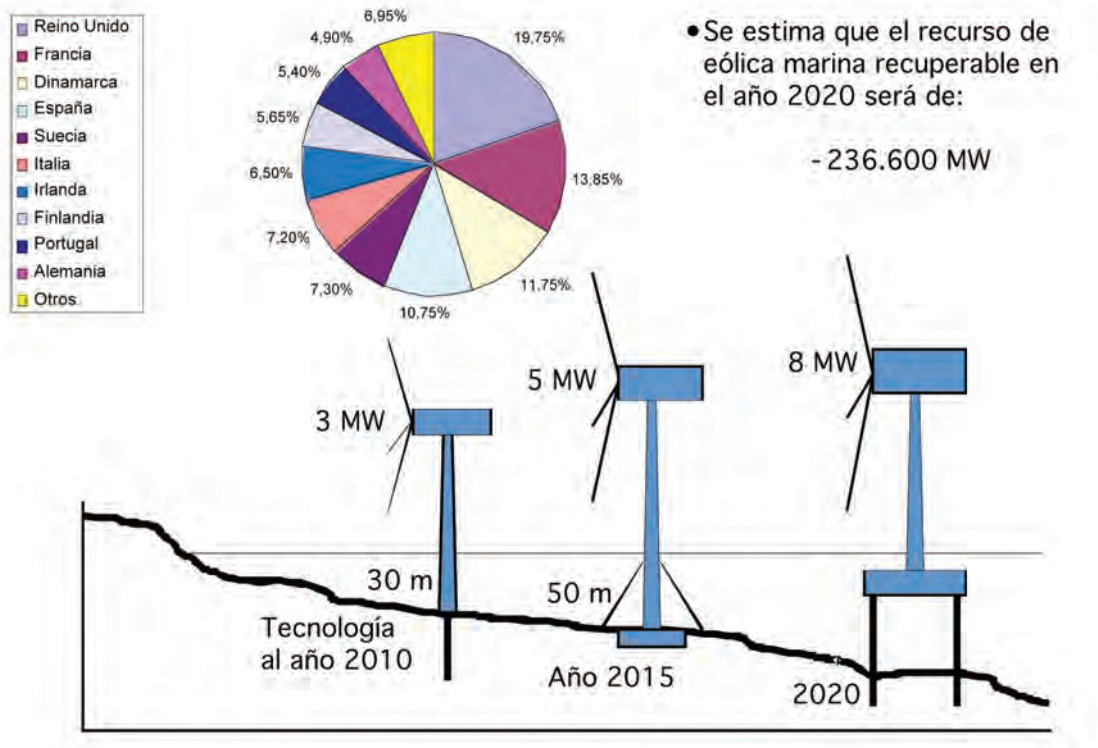


Figura 10. Esquema previsible de evolución de la tecnología eólica marina y potencial de la misma en diferentes países europea.

Ya se ha indicado anteriormente el potencial de la eólica marina en España, valoración que queda refrendada en la figura nº 10 correspondiente a un estudio europeo sobre esta materia. En esa figura se recogen además expectativas de nuevos diseños de los anclajes en el fondo del mar, que es un aspecto tecnológico importante, y de los tamaños previsibles de aerogeneradores en el futuro.

Uno de los temas pendientes en el esquema industrial español es el futuro de los astilleros, bien, aquí aparece una opción sobre la cual es preciso seguir estudiando y analizando las oportunidades de nuevos negocios y mantenimiento de empleo industrial, que evidentemente es de mayor nivel económico que el de la media española.

No hay que olvidar que en España se dispone de diferentes centros con elevada capacidad de investigación y larga trayectoria en desarrollo de la tecnología eólica: por un lado los de carácter estatal CIEMAT y CENER en Madrid y Navarra respectivamente, y otros autonómicos entre los cuales hay que señalar a ITC en Las Palmas e ITER en Tenerife.

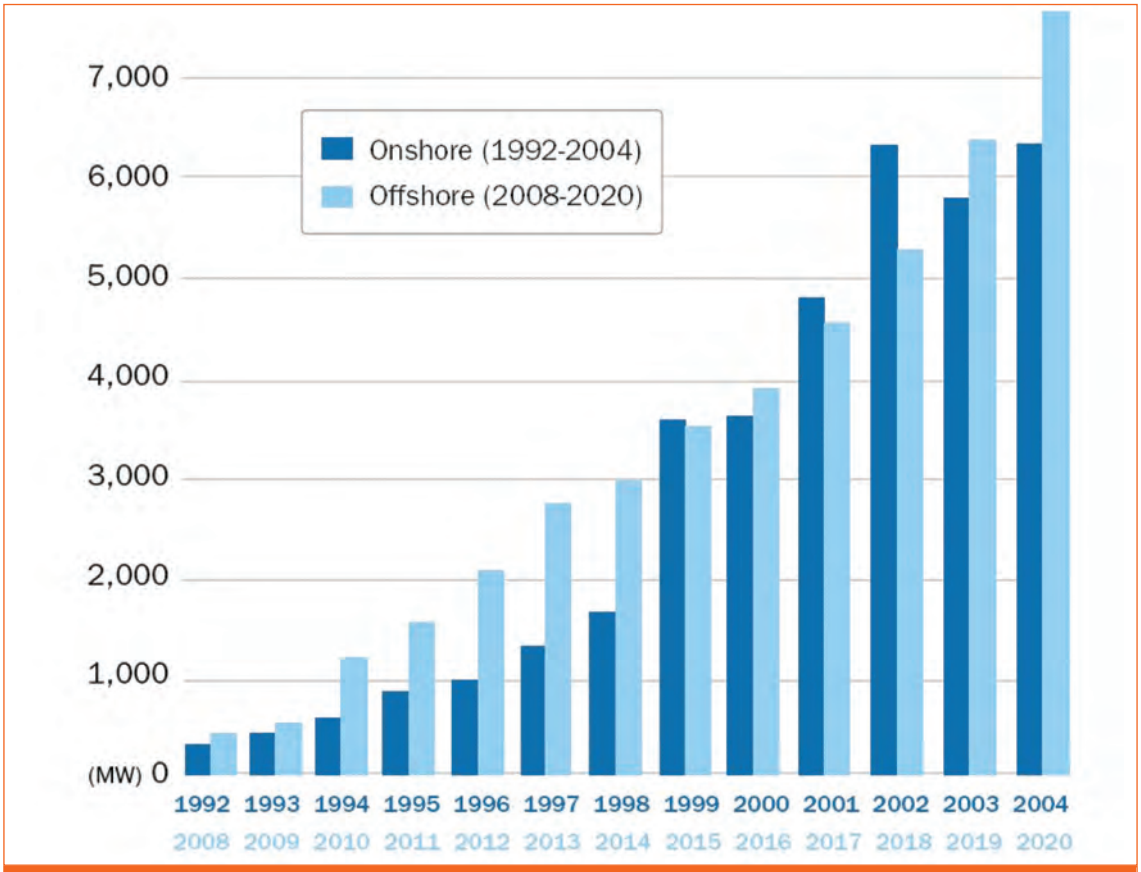


Figura 11. Estimación de la European Wind Energy Association acerca del posible despliegue eólico marino en Europa, tomando como referencia lo realizado en la eólica terrestre en años precedentes.

ECONOMÍA Y TECNOLOGÍA

En los años ochenta el desarrollo tecnológico de la energía eólica se decanta por la máquina de eje horizontal de tres palas y, a partir de ahí se avanza: por un lado en diseños de aerogeneradores de mayor potencia unitaria, en la actualidad los de 2 MW se consideran ya comerciales y hay equipos en demostración de hasta 5 MW.

En la evolución tecnológica previsible, los fabricantes ponen énfasis en los siguientes puntos:

- Incremento de la potencia nominal de los modelos para optimizar la producción de los emplazamientos.
- Mayor diámetro de rotor con las mismas plataformas para aumentar AEP con vientos medios/bajos

- Nuevos perfiles aerodinámicos e innovaciones en fabricación de palas (palas seccionadas, nuevos materiales, winglets, etc)
- Innovaciones en el control: control multivariable, optimización de algoritmos, estrategias de de-rating por temperatura.

Estimación CoE por tecnología (3Q07)							
	Producción (GWh)	Costes fijos		Costes variables [2]		Coste total	
		€/MWh	M€	€/MWh	M€	€/MWh	M€
Total	54.985	18,33	1.007.796	42,83	2.355.104	61,16	3.362.900
Hidráulica (1)	6.822	36,00	245.601	3,00	20.467	39,00	266.068
Ciclo combinado	18.734	11,73	219.765	56,91	1.066.214	68,64	1.285.979
Carbón	18.392	13,67	251.370	58,16	1.069.766	71,83	1.321.136
Nuclear	11.037	26,37	291.060	18,00	198.658	44,37	489.718

Tabla II. Costes de generación de electricidad por diversas fuentes. Según el estudio de Intermoney para la AEE, el CoE medio de la eólica en España en 2006 era de 62,15 €/MWh.

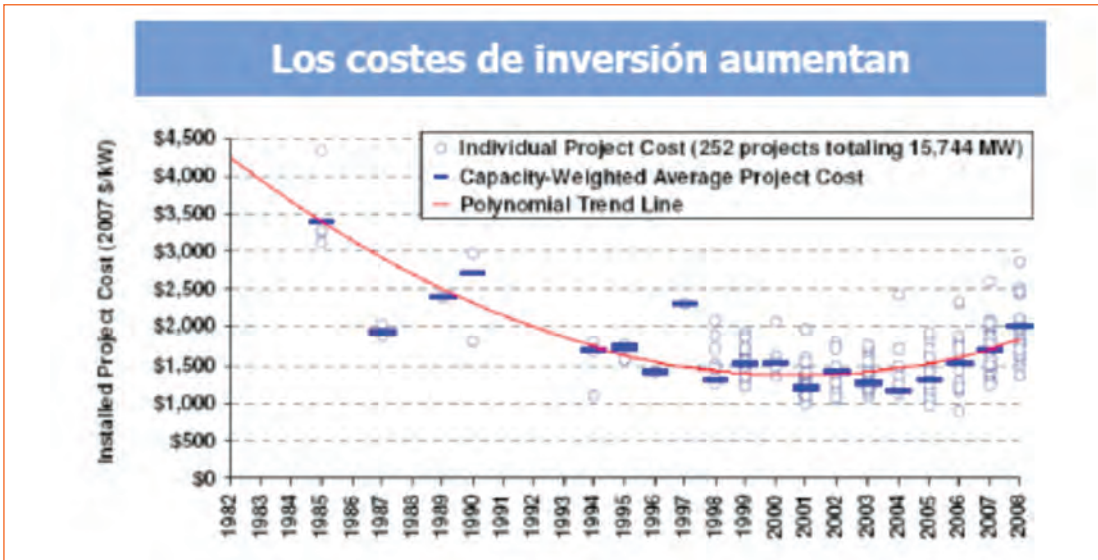


Figura 12. Efecto paradójico en la curva de aprendizaje de la eólica española. Como consecuencia de la maquinaria más compleja y de mayor potencia, los costes de inversión han aumentado después de llegar a un mínimo. Aparentemente esto no debería seguir ese camino, pero al ser una actividad subvencionada se vulneran muchos principios elementales de economía clásica. Fuente: Berkeley y Lab database.

Todo ello debe llevar a costes de inversión menores, aunque ya se ha señalado en la figura 11 la paradoja de la curva de aprendizaje, en la que se están aumentando los costes específicos de inversión, a medida que se van a máquinas más complejas, de mayor potencia, y con mayor calidad.

A ello se añade el interés de conseguir una importante reducción de costes O&M mediante:

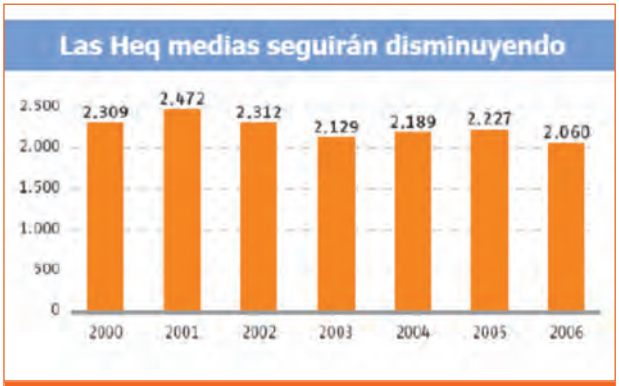


Figura 13. Evolución de las horas de funcionamiento en los parques españoles. Al margen de las oscilaciones meteorológicas, se percibe una pequeña tendencia a la baja como consecuencia de que los nuevos emplazamientos tienen peores regímenes de viento que los primeros. Fuente: CNE y AEE.

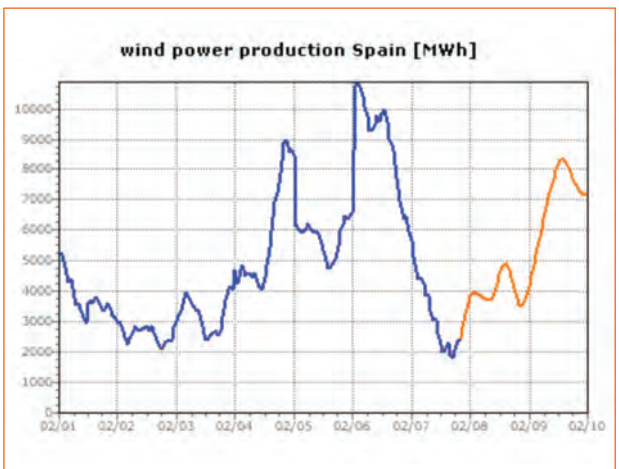


Figura 14. Evolución de la potencia eólica española a lo largo de varios días de comienzo de febrero de 2010, señalada en azul, en la primera parte de la gráfica, y prognosis de la producción futura (en naranja) realizada con los datos meteorológicos acopiados de muy diversas fuentes (www.windknowhow.com).

- Mantenimiento preventivo programado en periodos de bajo viento
- Mantenimiento predictivo mediante dispositivos CMS y otros análisis
- Nuevos útiles de elevación para reducir el uso de grandes grúas
- Aumento de fiabilidad de los componentes

Como consecuencia de la importancia creciente de la eólica en el sistema eléctrico español, se han ido incrementando las exigencias a cumplir por los aerogeneradores, en cuestiones tales como consumo de potencia reactiva, o buen comportamiento ante microcortes. Ello implicará nuevos desarrollos para cumplimiento de conexión a red:

- Dispositivos tipo Crowbar Activo para adaptar tecnologías actuales
- Nuevos conceptos eléctricos: generador media velocidad de imanes permanentes + full converter

- Nueva generación SCADA con reguladores más avanzados (control de potencia activa/reactiva/aparente, control de tensión, ¿control de frecuencia?…)

RESUMEN

A tenor de la evolución reciente experimentada internacionalmente, cabe decir que el sector eólico goza de buenas perspectivas de crecimiento aunque la crisis crediticia y los incrementos de costes de instalación pudieran modificar a la baja las previsiones de demanda.

Es de señalar el interés de los principales fabricantes por incrementar capacidades de producción, lo cual se ha de considerar junto a la aparición de nuevos fabricantes, lo cual llevará a una situación de mercado más competitivo, y que posiblemente se equilibre entre oferta y demanda a nivel internacional, si bien a nivel doméstico en algunos casos, como puede ser el español, sufra recesiones porque difícilmente se va a poder mantener un despliegue de eólica anual con 2.000 MW de entrada nuevos cada año, a no ser que eso se hiciera con una desaparición total de primas a la producción, que sería señal de plena competitividad de esta fuente de energía.

Eso quiere decir que los fabricantes españoles y las empresas de ingeniería tendrán que diversificar sus mercados y buscar la exportación de sus productos y servicios, aprovechando el incremento de demanda de energía, que es apreciable en muchos países, sobre todo asiáticos, en los cuales la eólica va a ir teniendo cada vez mayor acogida. No obstante, no hay que olvidar con los datos dados a principio de este texto, que USA ha identificado un altísimo potencial eólico en su territorio, y habida cuenta de la necesidad de reducción de emisiones de CO_2 que tiene dicho país, podría ser el mercado más interesante a corto y medio plazo

Teniendo en cuenta la evolución eólica en Europa, y en otros países como China y USA, puede decirse que la energía eólica estará fuertemente presente en los mix de generación de electricidad en casi todos los países industrializados o en vías de industrialización. Esto será tanto más verdad cuanto más se espabilen los fabricantes para obtener un coste de electricidad verdaderamente competitivo con otras energías. Para ello son necesarias importantes inversiones en I+D que mejoren las prestaciones de los aerogeneradores, acompañándose además de una optimización de costes de la cadena de suministro, nicho éste que tampoco parece haber sido suficientemente explotado para la mejor gestión de los recursos industriales en un país, y globalmente.

2.2. Energía fotovoltaica

SITUACIÓN INTERNACIONAL

El efecto fotovoltaico permite generar electricidad directamente a partir de la radiación solar. La absorción de un fotón solar de suficiente energía, en las proximidades de una unión p-n en un semiconductor, genera un par electrón-hueco que en ese entorno de carga eléctrica especialmente distribuida produce una corriente eléctrica con una diferencia de potencial entre los electrodos de ambas partes del fotodiodo.

Este efecto, perfectamente tipificado en mecánica cuántica por el paso del un electrón de la banda de valencia a la banda de conducción en un semiconductor cuando se absorbe un fotón, superando el huelgo energético de la banda prohibida, se ha ido dominando con mayor perfección en el terreno tecnológico, y de lo que era una promesa científica interesante se ha pasado a una realidad industrial que permite ya despliegues de miles de MW anuales, sin dejar por ello de ser una actividad de investigación de primer orden.

La figura 1 muestra la evolución de la industria fotovoltaica en el mundo, y en ella se evidencia que entrado el siglo XXI se produce un cambio radical en sus condiciones de crecimiento, y la fotovoltaica entró en una fase absolutamente expansiva casi de carácter exponencial. Como se indica en la figura, en el decenio entre siglos la tasa de crecimiento

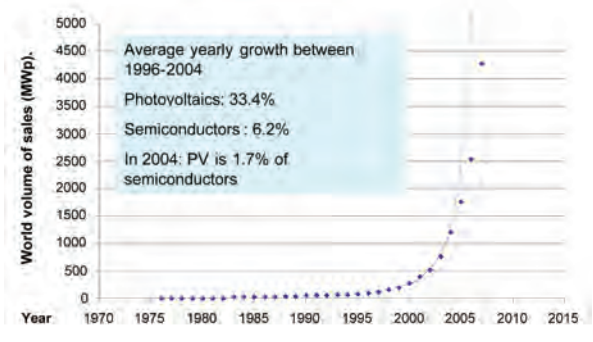
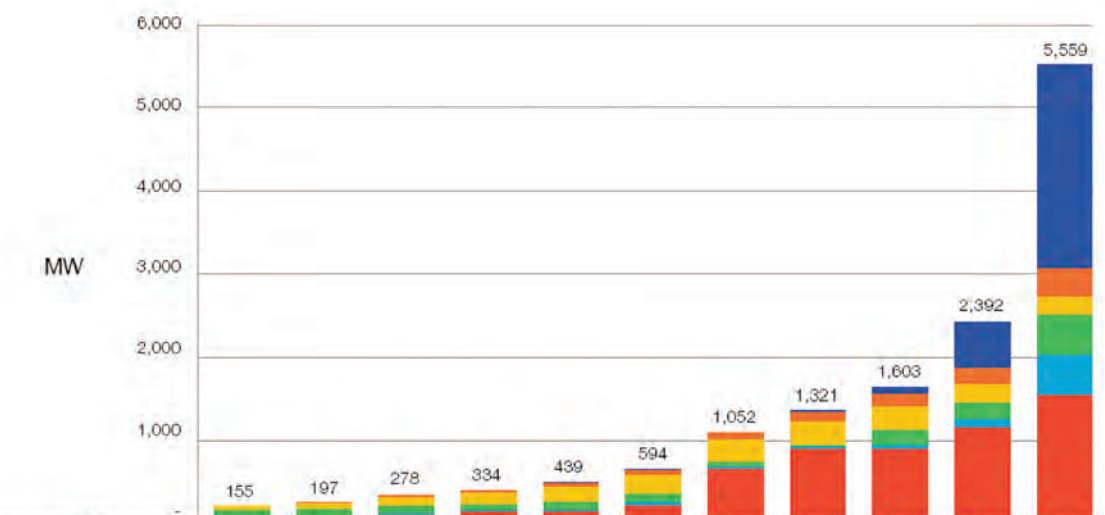


Figura 1. Evolución de la industria fotovoltaica en el mundo.

anual de la fotovoltaica fue muy superior a la de los semiconductores en general, que son la base de la industria electrónica e informática, y por tanto permean por todo el mundo en las aplicaciones más diversas, desde los electrodomésticos a los aviones.

Esta situación de la industria internacional coincidió en el tiempo, en gran medida sin previsión ni mediación de nadie, sino por pura casualidad, con **el efecto llamada del RD 661/2007**, por el cual el gobierno español instauraba un nuevo régimen de primas a la producción de energía eléctrica de origen renovable, que en el caso de la fotovoltaica llegaba a cifras verdaderamente asombrosas (12 veces superiores a las primas a la eólica, por poner una referencia relativa).

La figura 2 muestra el desarrollo histórico reciente de la instalación de unidades fotovoltaicas en diferentes partes del mundo, y como puede verse, España copó la mitad de las inversiones del año 2008, que totalizaron 5500 MW de los cuales más de 2500 fueron instalados en España.



MW	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Spain	0	1	-	2	9	10	6	26	88	560	2,511
USA	-	17	22	29	44	63	90	114	145	207	342
Japan	69	72	112	135	185	223	272	290	287	210	230
Rest of the world	68	84	94	75	104	98	53	12	196	207	485
Rest of Europe	8	11	10	16	16	50	30	30	37	108	492
Germany	10	12	40	78	80	150	600	850	850	1,100	1,500
TOTAL	155	197	278	334	439	594	1,052	1,321	1,603	2,392	5,559

Figura 2. Instalación de potencia fotovoltaica por año en los diversos países

Tan espectacular eclosión superó con creces las previsiones del Plan de Energías Renovables que teóricamente acompañaba a ese Real Decreto y que presuponía la instalación de 500 MW de fotovoltaica para el 2010. Ciertamente, la vitalidad mostrada por los instaladores nacionales, o asentados aquí, en gran parte soportados por la industria fotovoltaica asiática, se aprecia claramente en el cuadro subsiguiente que también evidencia el parón que debió producir el gobierno, ante esta avalancha fotovoltaica hiper subvencionada, y que se concretó en el RD 1578/2008, que estableció unas pautas de despliegue de la fotovoltaica en España que luego se comentarán, y que en todo caso se podrían revisar en función de los nuevos planteamientos de la industria fotovoltaica para reducir costes, y por ende, para necesitar primas sustancialmente menores.

En el contexto mundial es evidente el protagonismo de Europa en la reciente estimulación de la fotovoltaica, como se aprecia en la figura 3. Ello no va acompañado exactamente de un desarrollo industrial similar, pues las capacidades de Asia y Estados Unidos son mayores que las de Europa, que tradicionalmente en el terreno de los semiconductores ha quedado atrás respecto de estas potencias.

Más aún, la "**burbuja fotovoltaica española**" creó una situación de tanta tensión en la competitividad en esta industria que algunas de las empresas montadoras de paneles o fabricantes de componentes se encontraron en serias dificultades de supervivencia ante la avalancha internacional de este material, producida por los inversores financieros tipo "early bird", es decir, los pájaros tempraneros de los nuevos ciclos de negocio. Estos madrugadores avispadamente consiguen los mejores nichos en esas nuevas áreas, aunque carezcan de capacidad para explotar el negocio, que se subcontrata o se revende a entidades nacionales o extranjeras con capacidad tecnológica y de gestión en ese campo. Ni que decir tiene que esa manera de proceder, con **tiempos de maduración y ejecución de proyectos que no llegaron ni a 6 meses**, no es realmente la apropiada para generar un sustrato tecnológico industrial en el país. En cierta medida, lo que ha ocurrido durante la burbuja PV, y seguirá ocurriendo durante 25 años o más, a tenor de los plazos reconocidos para las primas, es que España ha pagado una gran parte de la curva de aprendizaje de la industria fotovoltaica global. Y a este efecto se añade que, con la respuesta explosiva que provocó el RD 661/2007 en su estimulación a la fotovoltaica, la rapidez de respuesta no haya hecho posible una sedimentación del acervo tecnológico fotovoltaico internacional para asentarse en nuestro propio país. No hubo tiempo, por así decirlo, ni para desarrollar algo más, y más completamente, el conjunto de normativa sobre el sector, que habría impedido algunos abusos de instalaciones "tente mientras cobro", hechas a todo correr y con la convicción de que en un par de años se sustituirán por equipos de mejores prestaciones y en instalaciones mucho mejor proyectadas. Pero el predio ya estaba reservado por el correspondiente "early bird".

Año	Mes	Potencia instalada (MW)	Número de instalaciones
2004	Diciembre	22	3.208
2005	Diciembre	46	5.300
2006	Diciembre	146	9.755
2007	Diciembre	695	20.037
2008	Enero	779	21.364
	Febrero	851	22.407
	Marzo	924	23.565
	Abril	1.048	25.550
	Mayo	1.211	28.695
	Junio	1.456	31.550
	Julio	1.960	37.331
	Agosto	2.481	42.646
	Septiembre	3.113	48.552
	Octubre	3.334	50.393
	Noviembre	3.382	50.913
	Diciembre	3.454	51.168
2009	Enero	3.494	51.338
	Febrero	3.499	51.558
	Marzo	3.484	51.992
	Abril	3.464	51.705
	Mayo	3.459	51.270
	Junio	3.459	51.187
	Julio	3.459	51.189

Tabla 1. Desarrollo fotovoltaico español en la llamada "burbuja PV"

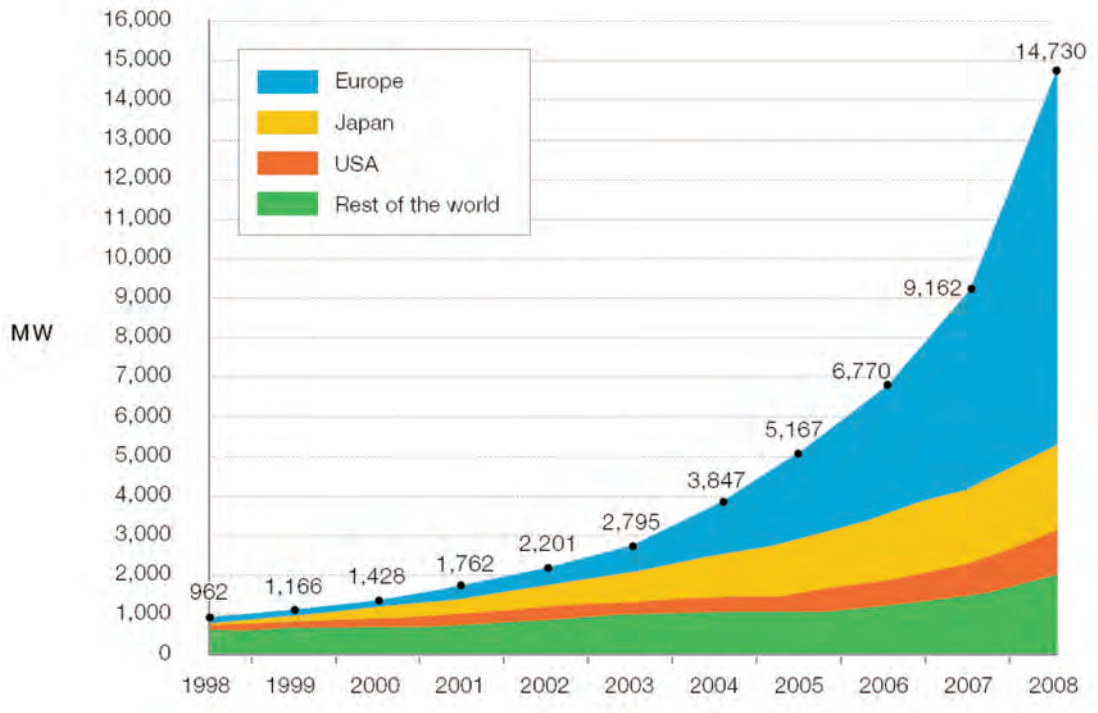


Figura 3. Europa está soportando, y pagando, la curva de aprendizaje de la PV, aunque no preste la misma atención a la consolidación de su propia industria.

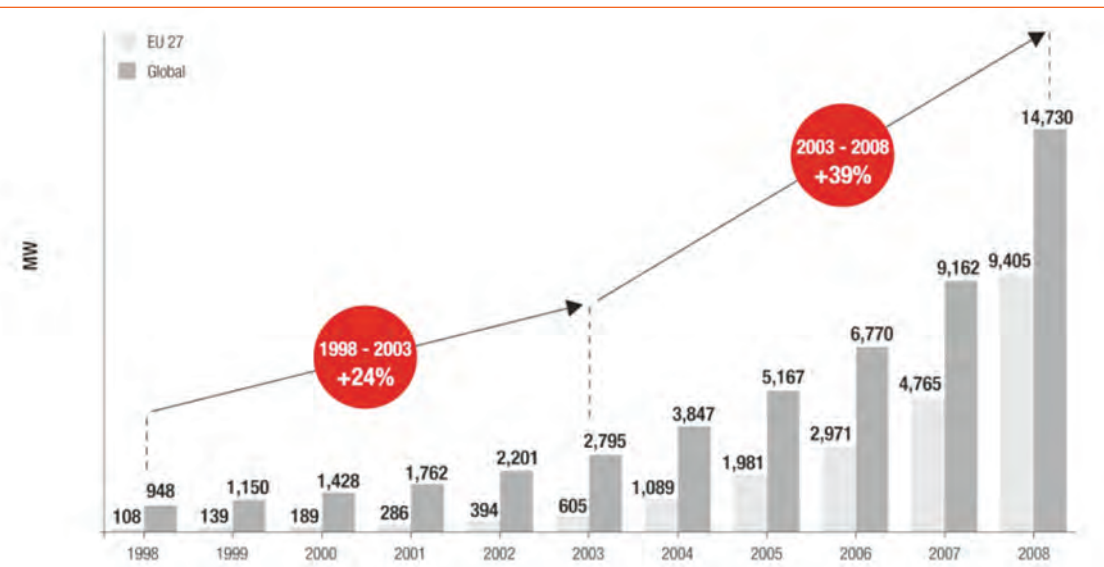


Figura 4. Información adicional sobre la evolución de la PV y el protagonismo europeo como región locomotora en cuanto a instalaciones. Fuente: EPIA, "Global Market Outlook for Photovoltaics until 2013", 2009 - A. T. Kearney analysis.

CARACTERÍSTICAS DE LA FOTOVOLTAICA

Es importante señalar que la fotovoltaica no necesita radiación solar directa de alta intensidad, como sí lo necesita la solar termoeléctrica, pues es imprescindible la concentración de la luz solar para obtener un foco de alta temperatura. La fotovoltaica funciona perfectamente con la radiación solar difusa, aunque existen varias alternativas y prototipos de células que funcionan con radiación solar concentrada, por tratarse de células muy caras, en las que no es posible hacer grandes superficies, sino células notoriamente inferiores a 1 cm^2; de tal manera que se reduce el gasto en el semiconductor (que además funciona muy bien con alta intensidad de radiación, salvo por la necesidad de refrigeración) aunque se incurre en un gasto adicional que es el del sistema concentrador, bien por refracción, bien por reflexión.

El hecho de que los paneles fotovoltaicos funcionen bien con radiación difusa, hace que sea posible su aplicación en países sin mucho sol, como puede ser Alemania, que sin embargo tienen una cantidad total de luz anual suficiente como para que los paneles sean productivos. Por descontado, las mejores condiciones económicas se dan en el sur de Europa, pero conviene subrayar esta peculiaridad de la fotovoltaica, pues explica por qué Europa está siendo sin duda la gran locomotora de la comercialización fotovoltaica, a pesar de no tener condiciones de insolación muy relevantes.

Figura 5. Reducción de costes previstos en la fotovoltaica, en relación con la tarifa media europea utilizada como referencia (18 c€/kWh).

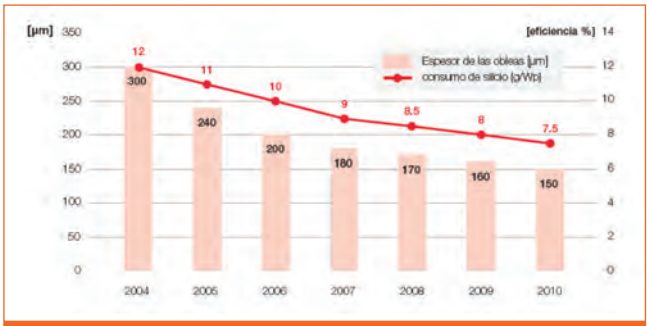


Figura 6. Reducción de la cantidad de Si necesaria, en un fotodiodo, para conseguir la potencia de 1W.

Hay que señalar, no obstante, que este despliegue comercial ha ido lógicamente acompañado de una **reducción de costes** por múltiples motivos, entre los cuales hay que señalar la propia economía de escala; y eso se evidencia en la figura 5, en la que se aprecia como la tendencia a la reducción podría llegar a la llamada "paridad de red" hacia 2020.

Está claro que la reducción de costes no está totalmente en consonancia con el aumento de la potencia instalada, pues la **competencia tecnológica** entre las diversas opciones fotovoltaicas, que son muchas, está aún lejos de materializarse en toda su intensidad. Esta competencia no solo se refiere a la que puede darse entre las diversas configuraciones de células fotovoltaicas, sino a los procesos de fabricación dentro de una misma línea. Como ejemplo muy significativo, en la figura 6 se muestra la reducción de la masa de Si necesaria para obtener una potencia unitaria, y esa reducción revierte de manera inmediata en la correspondiente partida del coste fotovoltaico.

Una característica esencial del mundo fotovoltaico es la pluralidad de posibilidades que ofrece la naturaleza y la tecnología para plasmar dicho efecto, aunque hayan sido las células de Si las que tradicionalmente hayan copado el mayor interés, por la abundancia natural de este material, y el enorme peso de la industria electrónica e informática, basada esencialmente en ese semiconductor. Ello ha dado lugar a una comunidad muy activa de investigadores en diversas partes del mundo, en muchos casos con laboratorios relativamente marginales en cuanto a presupuesto total, pero muy capaces de producir resultados individuales muy llamativos.

Esta peculiaridad de no necesitar instalaciones de I+D enormes, como ocurre en otros ámbitos de las aplicaciones energéticas, sino poder funcionar en un régimen muy espontáneo y activo, y muy competitivo, ha sido de gran valor para la PV, y se ha traducido en unas expectativas enormes de potencial de desarrollo, si bien éste todavía no ha llegado al mercado.

En este sentido, es muy ilustrativa la figura 7, que muestra la evolución del rendimiento en las distintas familias de células, entre las cuales caben distinguir muchas ideas-fuerza: hay quién opta por buscar las llamadas "células campeonas" de altísimo rendimiento, pero de altísimo coste; y hay laboratorios e investigadores que buscan ante todo abaratar costes y simplificar procesos de fabricación, yendo a células de rendimiento relativamente bajo pero cuya producción masiva sería baratísima.

La futura evolución de la comercialización de estas diversas células es difícil de prever, por la propia rapidez con la que se suceden las novedades en este campo. La vitalidad propia de una comunidad con muchos agentes con mucha inventiva en diversas partes del mundo y con diversos intereses o curiosidades científicas y tecnológicas hace que este panorama sea de los más interesantes por observar y de los más difíciles de pronosticar. Lo que sí cabría decir, ante la avalancha de vitalidad del sector, es que tiene que mejorar sus prestaciones y su coste en el inmediato futuro, y no solo como consecuencia de la economía de escala, sino del impacto de la tecnología.

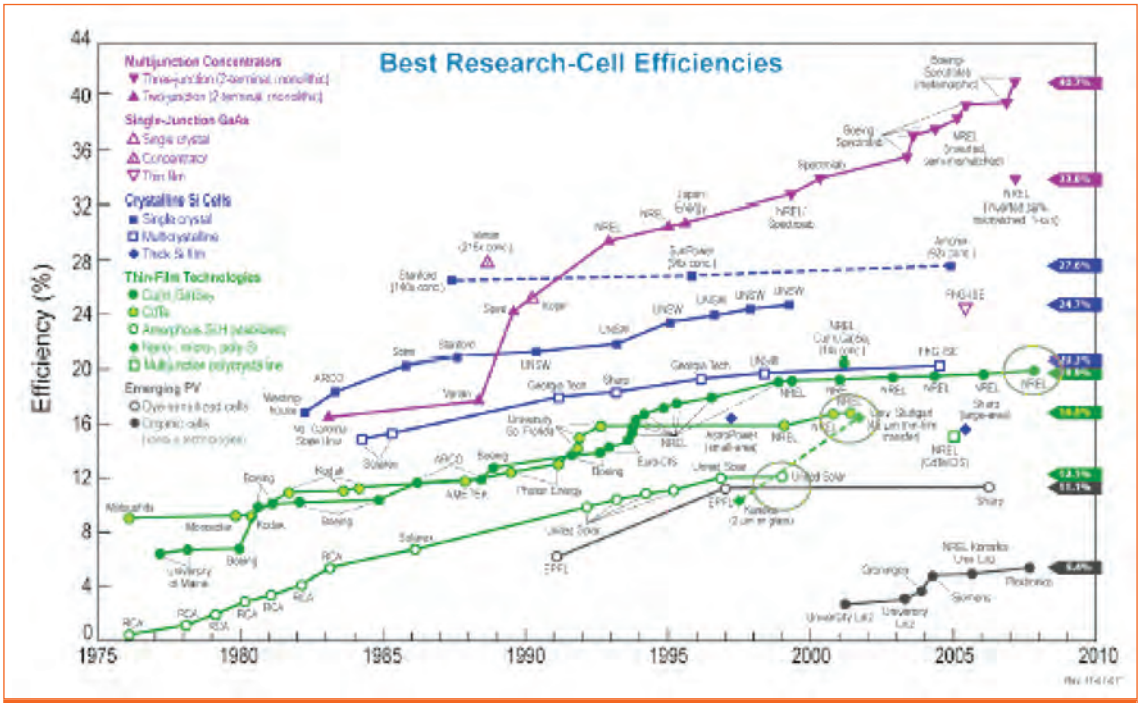


Figura 7. Evolución del rendimiento en los distintos tipos de células PV. Fuente: National Renewable Energy Laboratory, US Department of Energy.

EL CASO ESPAÑOL

Ya se ha comentado el efecto llamada del RD 661/07 y la contrarreforma materializada un año después en el RD 1578/98, que marca unas pautas de desarrollo más suave, que permita ir asimilando en el propio país todo lo que se pueda de la industria fotovoltaica, y que también de tiempo a que se aprecie la reducción de costes que ha de acompañar a la PV en el futuro.

Es obvio que la burbuja fotovoltaica tuvo efectos espectaculares en cuanto a la demostración de la vitalidad del sector, pero también evidenció unas prisas impropias de un desarrollo industrial de calidad. Aunque sea difícil, e incluso inaceptable, intentar una valoración cualitativa de la calidad de ese desarrollo, lo que sí es cierto es que muchas de las instalaciones no cumplieron con las mínimas exigencias que se debían observar en una instalación energética de un país industrializado.

En las figuras 9 y 10 se muestran los efectos de esas prisas, con instalaciones inadecuadas, pero que habían de inaugurarse en el plazo dado, a veces muy perentorio, con objeto de no verse relegados y perder las primas.

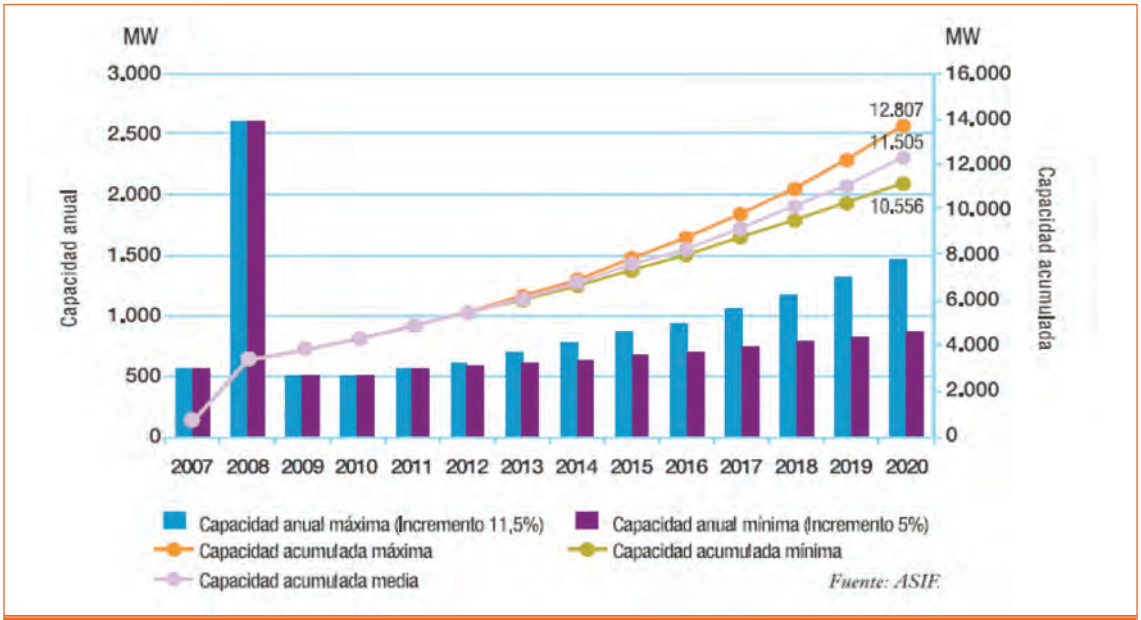


Figura 8. Una interpretación del futuro mercado fotovoltaico según RD 1578/08.

Figura 9. Secuencia de un incendio en una instalación PV erigida con prisas excesivas por el reclamo de las primas.

Figura 10. Deterioro excesivamente rápido de un panel instalado en España durante la "burbuja PV". La pérdida de potencia en la mayoría de los paneles está siendo más rápida de lo previsto. Resulta imprescindible una mayor normalización del sector, con mejor infraestructura técnica.

Un tema crucial para el desarrollo de la fotovoltaica en el sentido de ser un hito en su integración comercial, es el de la paridad de red, esto es la situación en la cual el coste de la producción con PV igualara al precio de la electricidad que tuviera que pagar el dueño de la instalación, si la tomara de la red. Por descontado, eso no significa competitividad comercial en la generación, pues en el precio que el usuario paga por la electricidad se incluye lógicamente el transporte y la distribución, aparte de la generación. Sin embargo, en el ámbito de la PV, que es muy diferente de las

otras renovables importantes (eólica, solar termoeléctrica, y biomasa) el tema de la paridad de red es significativo por la atomización de las instalaciones PV y la consideración de autoproductores que pueden tener sus dueños.

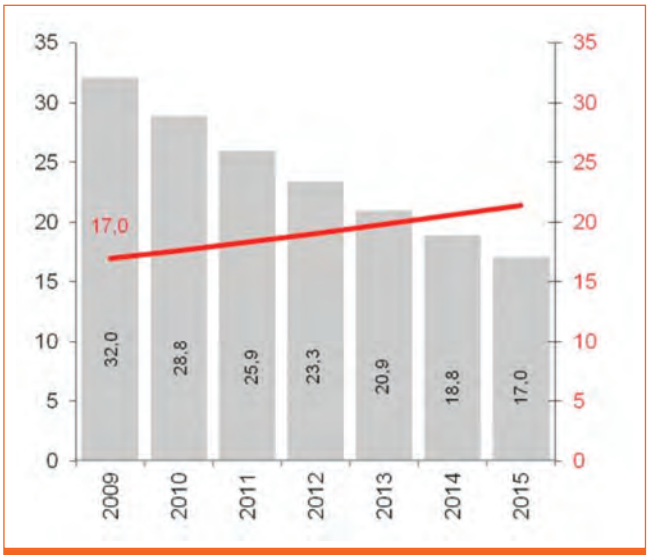


Figura 11.El RD 1578/08 contempla una reducción de costes PV de algo más del 10% anual. A su vez se considera que el precio de la electricidad para el consumidor puede subir un 4% anual, cuestión ésta que puede ser discutible, habida cuenta la retracción de la demanda en estos últimos años, y la contención de precios en el mercado internacional de hidrocarburos. No obstante, una reactivación general de la economía mundial, volvería a subir los precios del gas natural, y por ende de la electricidad en España, que depende mucho de él.

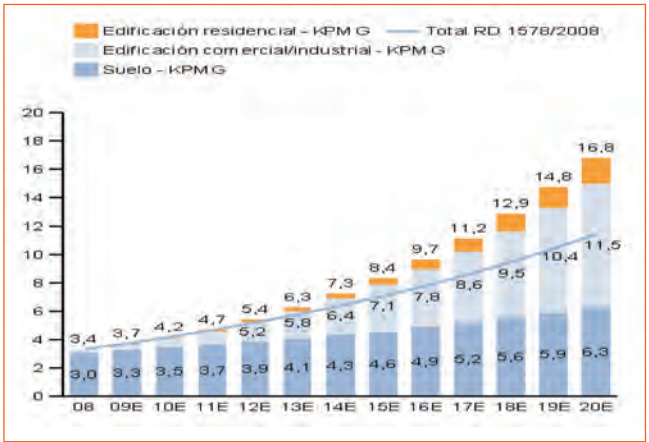


Figura 12. Mercado PV en España considerando que el ahorro por autoconsumo se revierte en más potencia PV en el cupo del RD (Fuente: ASIF).

La diferencia a la que se alude es clara: un parque eólico difícilmente puede considerarse que está concebido para autoconsumo, a no ser que se haga una cooperativa de usuarios de mucha entidad, o se alimente a un complejo industrial. Análogamente, la STE se basa en unidades de producción de 50 MW eléctricos por lo general, y difícilmente pueden asociarse al autoconsumo, sino más bien a centrales eléctricas en su sentido convencional. Lo mismo pasa con la biomasa, aunque sus unidades de producción sean de menor potencia, pero en general por encima de los 10 MW.

Para muchos inversores en PV, las instalaciones pueden constituir una fuente de electricidad propia, a la cual recurrirían si su coste fuera menor que el precio de la electricidad.

Como es idea generalizada la instalación de paneles PV en edificios comerciales, plantas industriales, talleres, etc., el tema de la paridad de red no es baladí en ese contexto, pues puede perturbar, aunque sea marginalmente, el concepto convencional de sector eléctrico a nivel de mercado.

Las asociaciones del sector han reaccionado acerca de esta posibilidad, y propuesto al gobierno un tratamiento adecuado para que la autoproducción figure también en la generación global de electricidad, y no como economía sumergida, sino con un tratamiento específico que no perjudique sensiblemente a los distribuidores comerciales, pero que a su vez no vaya contra el despliegue de la PV.

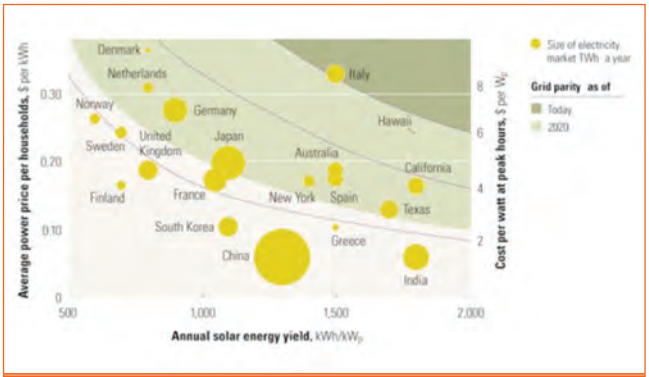


Figura 13. Tendencia a la paridad de red según las condiciones solares y económicas de la PV y de la electricidad en distintas partes del mundo.

En ese despliegue en España está todavía por iniciarse un segundo escalón que estaría constituido por los paneles de concentración de la radiación solar, y alto rendimiento. Estas instalaciones exigen seguimiento solar y sólo funcionan con radiación directa, por lo que se limitan al sur de Europa, si hablamos de la UE. Esto quiere decir que se trata de una tecnología con mayores connotaciones españolas, pues España es el país europeo con mayor extensión de territorio en el que sí hay al año más de 1500 horas de radiación directa. Eso significa que nuestro país debería primar de alguna manera este desarrollo tecnológico, que es menos probable de desarrollo en otras latitudes. Pero el tema tecnológico no acaba aquí, y hay que subrayar que el futuro de esta fuente de energía, hoy tan en manos de las primas, debe descansar en verdad sobre unos logros tecnológicos, cuya prospectiva se ha de tener presente.

EL DESARROLLO TECNOLÓGICO

La figura 7 puso en evidencia la gran variedad de opciones tecnológicas que desde hace años se están investigando en la PV. Obedecen a aproximaciones muy diversas, que van desde células baratas con rendimientos del 1%, a células multiunión, de fabricación costosa, que necesitan concentración de luz solar para poder ser rentables.

En esta primera oleada de PV, el Si (policristalino) ha sido el gran protagonista, por ser el más asentado industrialmente. Es el semiconductor que realmente se ha beneficiado, por así decirlo, del efecto estimulador del RD 661/2007; y seguirá siendo el semiconductor de referencia en los próximos años, aunque se espera la penetración progresiva de otros dispositivos sin concentración, y en particular los

de Lámina Delgada (LD), cuyo coste de fabricación es notoriamente inferior al de los convencionales de Si, aunque su rendimiento es también menor. En la figura 14 se expone una interpretación comparativa de los resultados ofrecidos por las tecnologías fundamentalmente disponibles hoy, según las condiciones del RD 661/2007 y las más moderadas del RD 1578/2008. En ella se aprecia que las LD ocuparán un rango de coste específico (€/Wpico) menor que el del Si policristalino, pero el rendimiento económico medido en TIR será parecido, teniendo en cuenta el efecto de su menor rendimiento fotovoltaico (aunque haya algunas láminas delgadas de sustratos más costosos que puedan llegar a rendimientos bastante altos, casi del 20%, lejos por tanto del 40% de las "células campeonas").

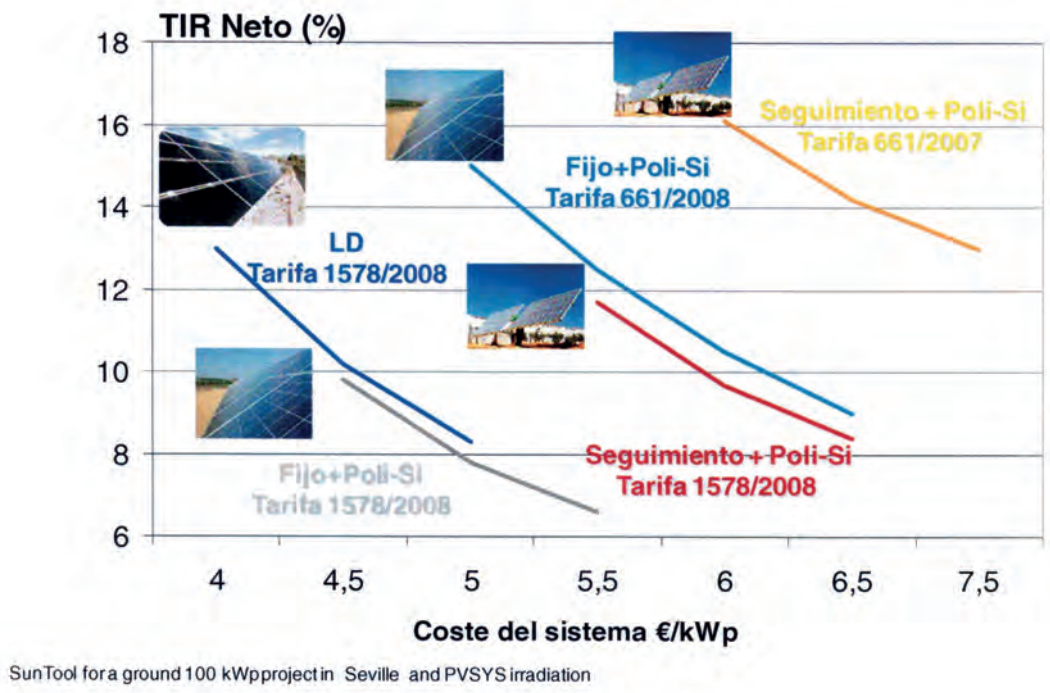


Figura 14. Efecto económico del despliegue de las tecnologías de primera generación, según el marco legislativo. (Fuente, José Herrero, CIEMAT).

Como ejemplo de nicho industrial que podría ser de especial interés para nuestro país, se comentan a continuación las características más sobresalientes de los Dispositivos en Lámina Delgada:

- Alta eficiencia
  - e.g. 19,9% Células Cu (InGa) Se_2

- Bajo coste de los materiales y de sus procesos.
  - Espesor de películas 1-5 μm.
  - Tolerancia a los defectos, menos sensibles a los parámetros cristalinos.
- Alto rendimiento de producción y procesos en continuo.
  - Producción sobre grandes áreas con alta capacidad (m^2/min).
  - Integración monolítica del substrato (vidrio, polímeros...)/módulo en producción.
  - Utilización de substratos flexibles. Procesos "roll-to-roll".
- Objetivo de coste a medio plazo < 1€/Wp.
- Aplicaciones únicas en integración en edificios (BIPV)

Pero el desarrollo tecnológico en la PV no puede quedarse simplemente en esa dualidad, de dispositivos esencialmente planos, aunque en el caso del Si policristalino, por su mejor rendimiento, está aconsejado el funcionamiento con seguimiento al sol, para maximizar la cantidad de radiación llegada al panel en cada momento. Lo que se espera de la PV es un avance decidido por la curva de aprendizaje tecnológico, tal como se prevé en la figura 15, aunque en este caso el mayor efecto todavía sea, como se ha señalado en relación con la "burbuja", el de la economía de escala. Como se indica en la figura, la experiencia de estos años avala la prospectiva de caída el coste del kWh PV.

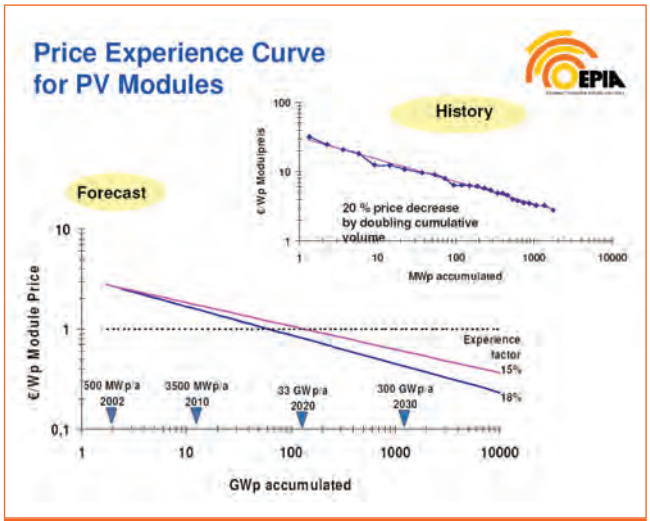


Figura 15. Reducción del coste por avance en la curva de aprendizaje, con el aval de lo conseguido en la experiencia previa (fuente: European Photovoltaic Industry Association).

La evolución tecnológica no afecta sólo a alternativas al Si. Dentro de las posibilidades de este semiconductor se hallan nuevas configuraciones estructurales, que llevan a previsiones muy espectaculares en cuanto a rendimiento, como se muestra en la figura 16. Ciertamente en esta prospectiva se apunta a un

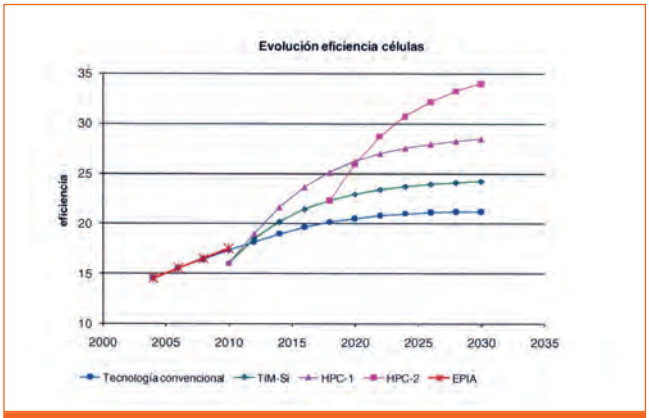


Figura 16. Reducción del coste por avance en la curva de aprendizaje, con el aval de lo conseguido en la experiencia previa (fuente: Juan Carlos Jimeno, Universidad del País Vasco).

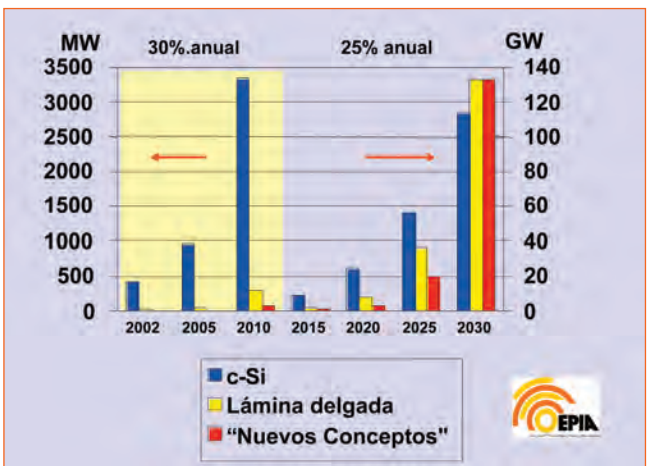


Figura 17. Despliegue a medio/largo plazo de las tecnologías PV. (Nótese el cambio de escala en el 2015, pasando de MW a GW de instalación anual en todo el mundo).

plazo muy largo en comparación con la problemática expuesta en la figura 14, que apunta al desarrollo comercializable en los próximos años, pero es sintomática del largo recorrido de esta tecnología, a la que lógicamente hay que exigir lo que efectivamente puede dar de sí; lo cual requiere un apoyo a la I&D mucho más fuerte y sostenido que lo realizado hasta la fecha. Esa sería condición necesaria para que pudiera darse un despliegue como el planteado en la figura 17, en el cual la primera etapa de la comercialización, absolutamente dominada por el Si, iría dejando paso una segunda y tercera etapas en las que emergieran los dispositivos en Lámina Delgada y otros nuevos conceptos, basados en Si o en otros semiconductores, y entre los cuales se han de contar los dispositivos de concentración, pues ahorran costes de construcción de la célula en sí, que son muy altos para las de muy alto rendimiento, aunque incurran en los costes del concentrador.

En las figuras 18 y 19 se muestran dispositivos de concentración por refracción y reflexión respectivamente. El objetivo es siempre el mismo: reducir la cantidad de fotodiodo necesaria para producir una determinada potencia, para lo cual hay que provocar que la luz que reciba sea cientos de veces más intensa que la radiación solar original. Obviamente esto está justificado cuando la célula es cara y de alto rendimiento, y aunque estos dispositivos no han participado mucho en la "burbuja" del 2008, sus proponentes, a través de la asociación ASIF y del instituto ISFOC, han presentado al Ministerio de Industria en febrero de 2010, una propuesta para el tratamiento de estos dispositivos en el actual marco subvencionador.

Ya se ha comentado que los dispositivos con concentración no han experimentado todavía su eclosión comercial, pero en la figura 20 se muestra una comparativa entre las células planas de Si, que han dominado hasta la fecha el mercado, y las de concentración, que están listas para competir, aunque sus proyectos exigen plazos de ejecución más largos, pues requieren además concentradores con seguimiento solar.

Figura 18. Concentrador por refracción, en el que una lente (arriba) envía los rayos solares hacia su foco, encontrando antes el fotodiodo, sobre el sustrato que le sirve de refrigeración y de soporte de la conexión eléctrica.

En la figura aparece también la referencia al máximo rendimiento alcanzado, de un 40% en números redondos, que se considera el valor asintótico con las actuales perspectivas de semiconductores de los que se dispone, cuyas anchuras de banda prohibida limita el aumento de rendimiento. No obstante, en el plano científico se están planteando unas variantes radicales del efecto fotoeléctrico, como son las células de niveles múltiples de energía (Multiple Energy Level Solar Cell) o las de pozo cuántico (Quantum Well Cells) cuya explicación detallada se escapa de este Estudio. Hay estimaciones teóricas de que con estas células se podría llegar al 50% de rendimiento, aunque el camino por recorrer es largo todavía, y éstas constituirían realmente la cuarta generación de este recorrido.

LA TECNOLOGÍA ESPAÑOLA

En España hay una tradición muy relevante de I&D en fotovoltaica, merced sobre todo al Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid, fundado a primeros de los años 80 por el profesor Antonio Luque, y que ininterrumpidamente se ha mantenido como referente europeo y mundial de esta materia. Otras universidades y centros de investigación han evolucionado también de manera señalada en estos dos últimos decenios, como es el caso del CIEMAT, lo cual constituye en total un acervo científico-técnico muy importante, que es una de las garantías de la apuesta española en esta línea, aunque la apuesta de momento esté saliendo de posta cara, por las primas a la producción de electricidad con esta fuente de energía. Otra entidad cronológicamente joven, pero ya internacionalmente relevante, es el Instituto de Sistemas Fotovoltaicos de Concentración (ISFOC) de Puertollano (Castilla La Mancha).

Figura 19. Concentrador de luz solar por reflexión en un espejo cilindro-parabólico, que proyecta los rayos de sol sobre su línea focal, aunque antes de llegar a ella encuentran una tira de fotodiodos por cada lado. De nuevo el problema de refrigeración de los fotodiodos y sus componentes auxiliares es fundamental.

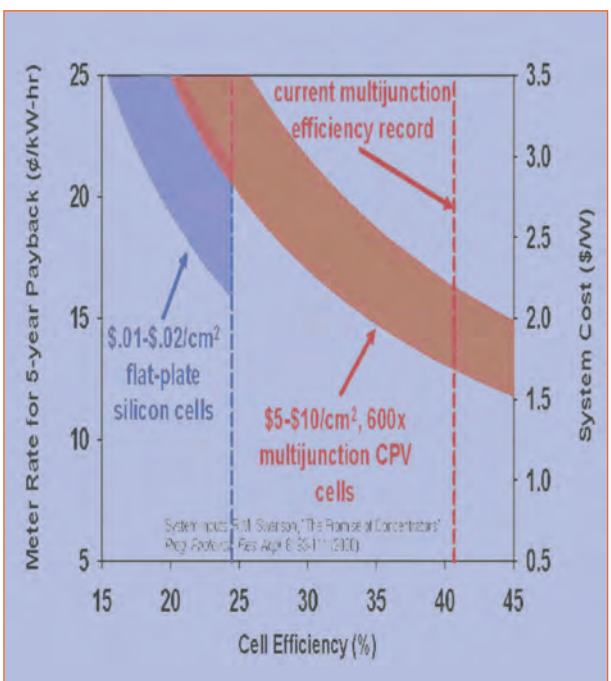


Figura 20. Relación entre parámetros fotovoltaicos y económicos en células planas de Si, con costes bajos por cm2, y células multiunión, de muy alto coste, con concentración de 600 veces.

Con el acervo anteriormente mencionado, España debería plantearse un programa propio y bien dotado, así como priorizado, de I&D en esta campo, para mejorar nuestra posición tecnológica y, sobre todo, nuestra presencia y actividad industrial. Hay áreas, como la de las LD, especialmente atendida en el CIEMAT, que podrían ser objeto de un planteamiento integral, que desarrollara todo el potencial de la cadena ciencia-tecnología-industria.

El nivel industrial español es apreciablemente bueno, con una muestra de vitalidad importante en la "burbuja" del 2008, aunque esta vitalidad fuera sobre todo financiera y de ingeniería de montaje, más que de fabricación de células solares.

Otra muestra de vitalidad la proporciona la existencia de dos asociaciones empresariales: la Asociación de la Industria Fotovoltaica (ASIF, www.asif.org) creada en 1998, y la Asociación Española Fotovoltaica (AEF, www.aefotovoltaica.com) creada en 2008. El número de socios de la primera es de varios cientos, mientras que la segunda aglutina a una veintena de grandes empresas del sector energético (incluidas algunas muy específicamente fotovoltaicas, como Isofotón).

En total, un conjunto de mucha capacidad de reacción, aunque no del todo equilibrado en todas las

facetas de la tecnología fotovoltaica, pero que constituye una base sólida para el desarrollo fotovoltaico español.

Situación actual y objetivos

Rounded figures	1980	Today	2015 / 2020	2030	Long term potential
Typical turn-key system price (2007 €/Wp, excl. VAT)	>30	4 *(range 3~7)*	2.0 (range <1.5-3)	<1	0.5
Typical electricity generation costs S Europe (2007 €/kWh)	>2	0.25	0.12 *(<0.10 – 0.18))*	<0.06 *(competitive with wholesale electricity)*	0.03
Typical commercial *flat-plate* module efficiencies (total area)	up to 8%	up to 15%	Up to 20%	up to 25%	up to 40%
Typical commercial *concentrator* module efficiencies	(~10%)	up to 25%	Up to 30%	up to 40%	up to 60%
Typical system energy pay-back time Southern Europe (yrs)	>10	2	1	0.5	0.25

Tabla 2. Planteamiento de la European PV Technology Platform.

Dicho desarrollo ha de estar relacionado con el que se plantea en la Unión Europea, y debe aprovecharse de él, especialmente en las líneas que pueden ser más específicamente españolas, como es la de concentración. Pero ante todo se ha de conjugar su implantación estimulada como fuente de energía, con la apuesta de futuro que supone el desarrollo tecnológico necesario para poner en valor todo el potencial de esta fuente de energía.

2.3. Solar termoeléctrica

CARACTERÍSTICAS GENERALES

La Energía Solar Termoeléctrica presenta características muy peculiares dentro de las Renovables de combustible a precio nulo, pues permite cierta gestionabilidad de la producción, sobre todo cuando incluye almacenamiento térmico, e igualmente sirve para la regulación primaria eléctrica, dentro de ciertos límites, gracias a la inercia térmica inherente a sus instalaciones.

Ello explica que en origen, allá por la crisis del petróleo de los años setenta fue la opción sobre la cual se prestó mayor atención y expectativas de desarrollo para la generación de electricidad en aportaciones amplias a la red, con equipos de media o alta potencia que le dieran también la adecuada estabilidad. Se concibieron así las instalaciones como centrales de potencia a similitud de las térmicas, con ciclos de vapor en cierta medida asimilares a éstas.

Así se construyó en los años ochenta la Plataforma Solar de Almería en colaboración con la Agencia Internacional de la Energía, la cual es hoy uno de los centros punteros de investigación, que en la actualidad está gestionado por CIEMAT y recibe fondos de investigación alemanes y españoles.

En la figura siguiente, y como homenaje a los pioneros de este campo, se presenta el primer helióstato fabricado en España, en 1977.

Primer helióstato español 1977. Por cortesía de Luís Crespo, Protermosolar

Como sinopsis de las características de las diversas centrales por lo que a la regulación eléctrica se refiere, en el cuadro siguiente se exponen los modos de operación habituales, y conviene subrayar que la solar térmica disfruta, dentro de los límites de la inercia térmica de cada instalación, de unas características muy parecidas a las centrales térmicas convencionales con ciclos de Rankine. Eso quiere decir que las centrales térmicas solares del futuro, con los adecuados dimensionamientos en campo solar y en almacenamiento, pueden proporcionar regulación primaria, secundaria, y terciaria, aportando su importante inercia térmica.

Eventualmente estas centrales pueden ser hibridadas con biomasa o con gas natural (y esto último es lo convencional hoy día) para mejorar sus prestaciones y mantener la operación de su bloque de potencia más allá de lo posibilitado por la propia irradiación solar. Aunque esta peculiaridad de la hibridación se considere importante y positiva de cara a las primeras etapas de su despliegue, a largo plazo el almacenamiento térmico debería responsabilizarse de modo pleno de esas capacidades que puede dar la hibridación, aunque esta última, sobre todo con gas, no será fácilmente descartable, por la flexibilidad que proporciona.

<table>
<tr><th colspan="5">Características de las tecnologías de generación</th></tr>
<tr><th>Tecnología</th><th>Aporte inercial</th><th>Regulac. primaria</th><th>Regulación secundaria</th><th>Regulación terciaria</th></tr>
<tr><td>Hidráulica</td><td>Sí</td><td>Sí</td><td>Sí</td><td>Límite disponibilidad</td></tr>
<tr><td>Nuclear</td><td>Sí</td><td>Sí</td><td>No habitual</td><td>Uso no habitual</td></tr>
<tr><td>Térmica carbón</td><td>Sí</td><td>Sí</td><td>Sí</td><td>Sí</td></tr>
<tr><td>Ciclo combinado (*)</td><td>Sí</td><td>No</td><td>Se emplea el seguimiento “lento” de demanda</td><td>Sí</td></tr>
<tr><td>Minihidráulica</td><td>Sí</td><td colspan="3" rowspan="2">Viable por tecnología
No se aprovechan por dispersión/atomización</td></tr>
<tr><td>Reg. Especial térmico</td><td>Sí</td></tr>
<tr><td>Eólica y fotovoltaica</td><td>No</td><td>No</td><td>No</td><td>No (podría emplearse “a bajar”)</td></tr>
<tr><td colspan="5">(*) Un ciclo combinado es una central mixta con turbina de gas y caldera de recuperación con vapor, donde la máquina dominante es la turbina de gas.</td></tr>
</table>

En un futuro de plena madurez de esta tecnología, podría usarse incluso como respaldo de otras renovables, tanto la fotovoltaica como la eólica, pues el almacenamiento térmico puede proporcionar una reacción suficientemente rápida como para hacer entrar estas centrales ante salidas en masa relativamente bruscas de las renovables con intermitencia, como las dichas.

A esto se une que el recurso solar se puede pronosticar con relativa facilidad. Por descontado, es inmediata la prognosis de su ciclo diario a lo largo del año, pero dentro de las horas astronómicas de sol, y en función de las variaciones meteorológicas que afectan a la humedad atmosférica (nubes), resulta un pronóstico fácilmente realizable, por lo menos para el propio día en que se realiza.

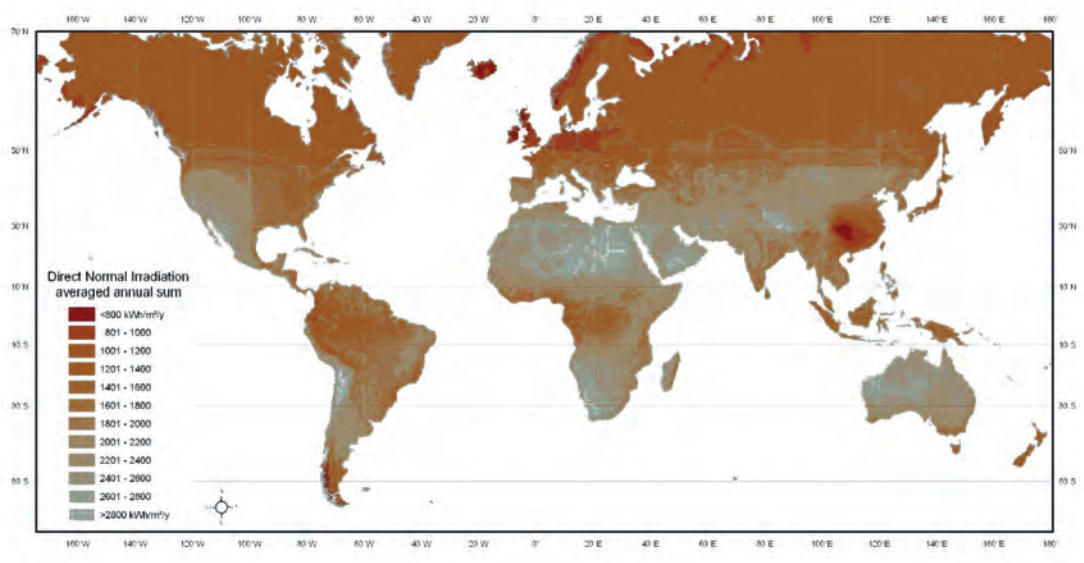
SITUACIÓN EN EL MUNDO

El desarrollo de la energía solar termoeléctrica en el mundo está lógicamente condicionado por dos factores.

- La disponibilidad de radiación solar directa, que es la que se puede concentrar, cuestión ésta imprescindible para alcanzar las altas temperaturas que necesitan los ciclos termodinámicos.
- La capacidad tecnológica para responder a un reto que es novedoso en muchos aspectos, sobre todo de captación de la radiación, aunque a su vez tiene connotaciones obvias y sustanciales con la energía térmica clásica.

En la figura siguiente, se muestra la Irradiación Directa Normal, que es la magnitud que mejor caracteriza la potencia de la iluminación solar. Obviamente corresponde a zonas tropicales desérticas, que no solo tienen una latitud adecuada para recibir el sol, sino que además carecen del régimen de fuertes lluvias del cinturón ecuatorial.

Por lo que respecta a la cuestión tecnológica, EEUU fue el país que reaccionó con más éxito, y el único que construyó en los años 80 plantas solares de carácter comercial, con colectores cilindro parabólicos, y aceite como fluido calorífero, lo cual constituye hoy día todavía la referencia esencial. Las plantas SEGS, del Desierto de Mohave, en California, han sido el prototipo que prácticamente ha orientado el desarrollo de estos primeros decenios. Incluso en España, la mayoría de las instalaciones que se están implantando al amparo de la fuerte promoción existente, son de la misma tecnología.

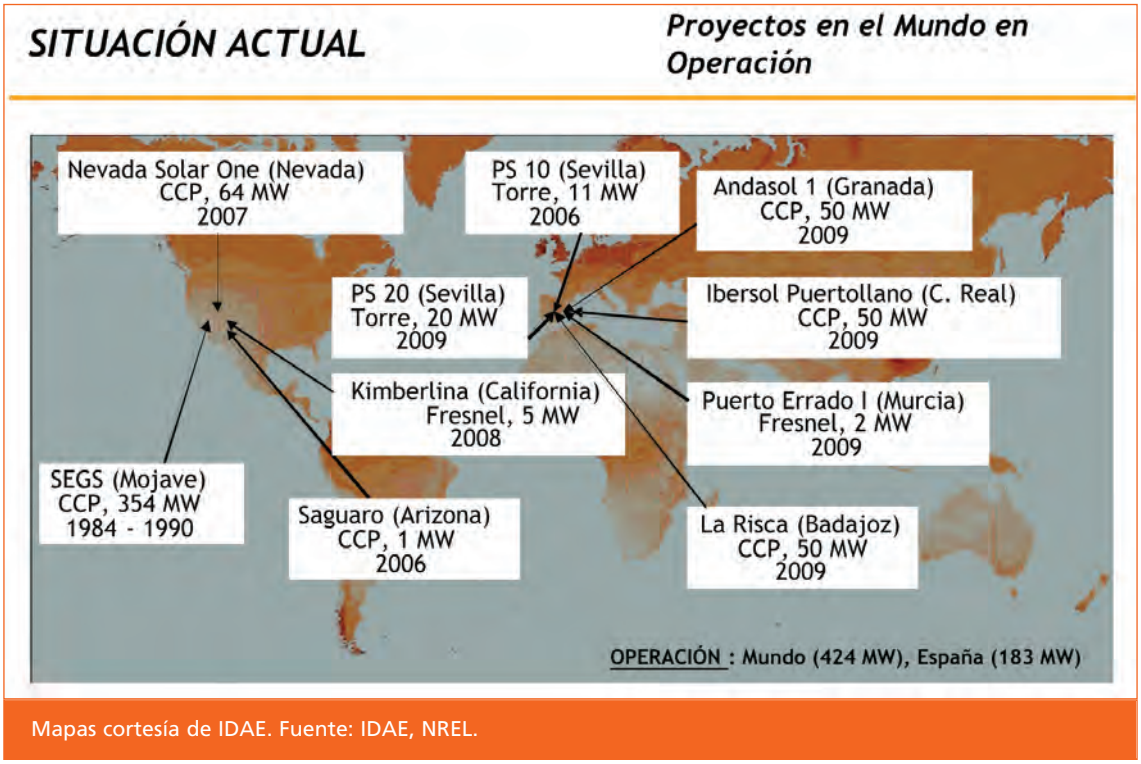


Irradiación Directa Normal.

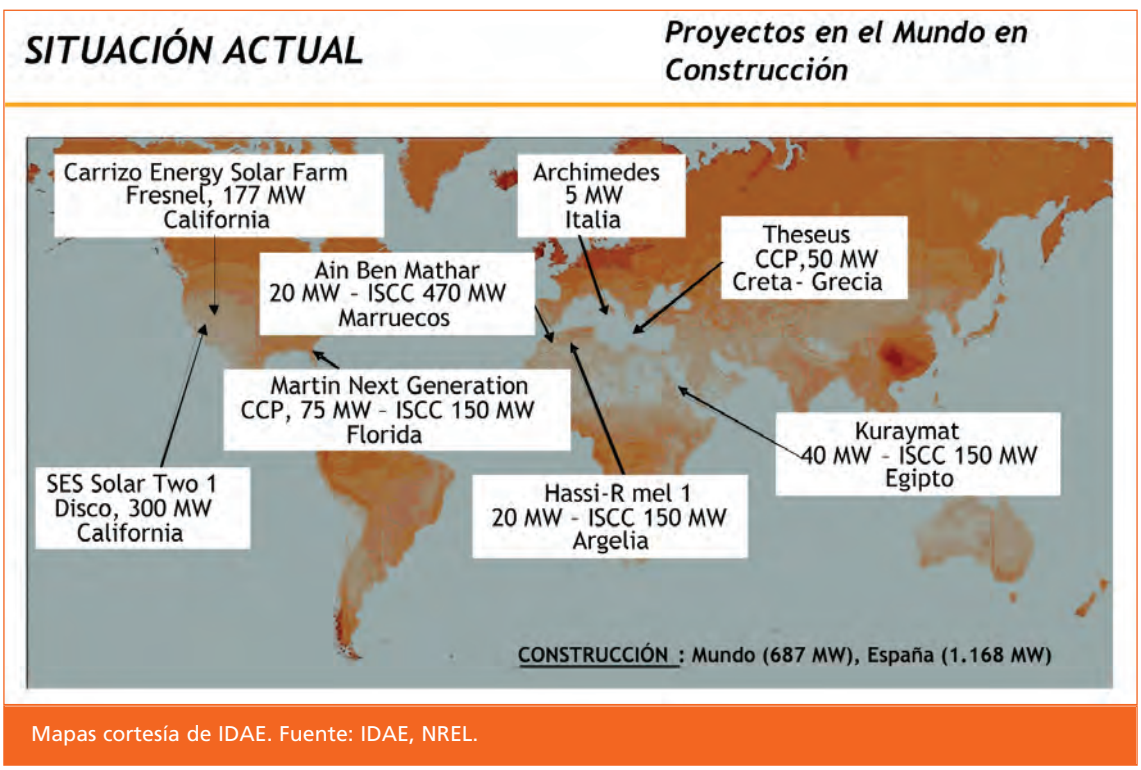
A pesar de reconocer que EEUU fue el país pionero en esta tecnología, en los últimos años el liderazgo mundial está mucho más compartido, y en gran medida radica en España, donde existen varias empresas explotadoras de tecnología, con capacidad incluso de exportar a EEUU, o de hacerse cargo de la construcción de las nuevas instalaciones que se están montando en dicho país.

Respecto de la situación mundial, a finales de 2009, cabe reseñar los siguientes aspectos:

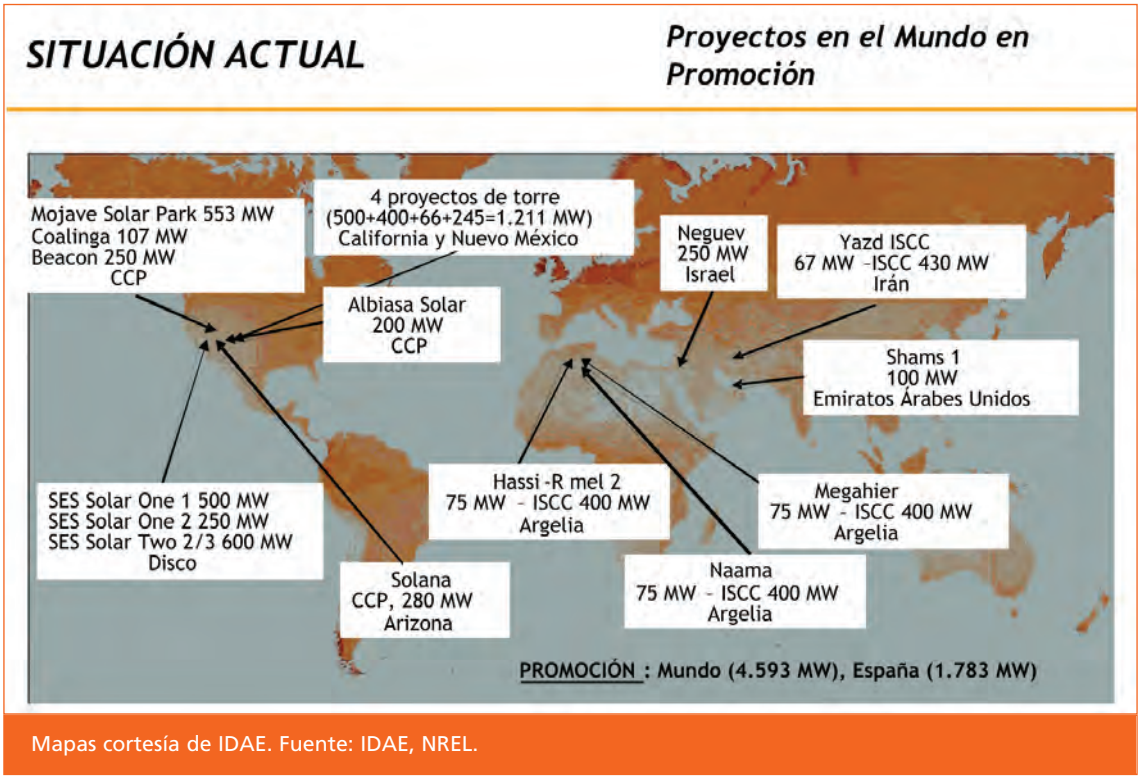
- La potencia total en **OPERACIÓN en el mundo** es de **617 MW**.
- La potencia en **CONSTRUCCIÓN** en el mundo (sin España) es de **687 MW**. En España actualmente están en construcción 1.168 MW.
- La potencia en **PROMOCIÓN** en el mundo (sin España) es de **4.593 MW**. En España actualmente están en promoción avanzada 1.783 MW y en sus primeros pasos 7.830 MW (según los datos del IDAE). Han **solicitado** la inscripción en el **registro de Pre-asignación** aproximadamente **4.300 MW**.
- Las tres **ÁREAS** de mayor interés actualmente son **EE.UU.**, **MENA (Middle East and North of Africa)** y **ESPAÑA**. Otros países como India, China, y Australia serán también mercados importantes.



Mapas cortesía de IDAE. Fuente: IDAE, NREL.



Mapas cortesía de IDAE. Fuente: IDAE, NREL.



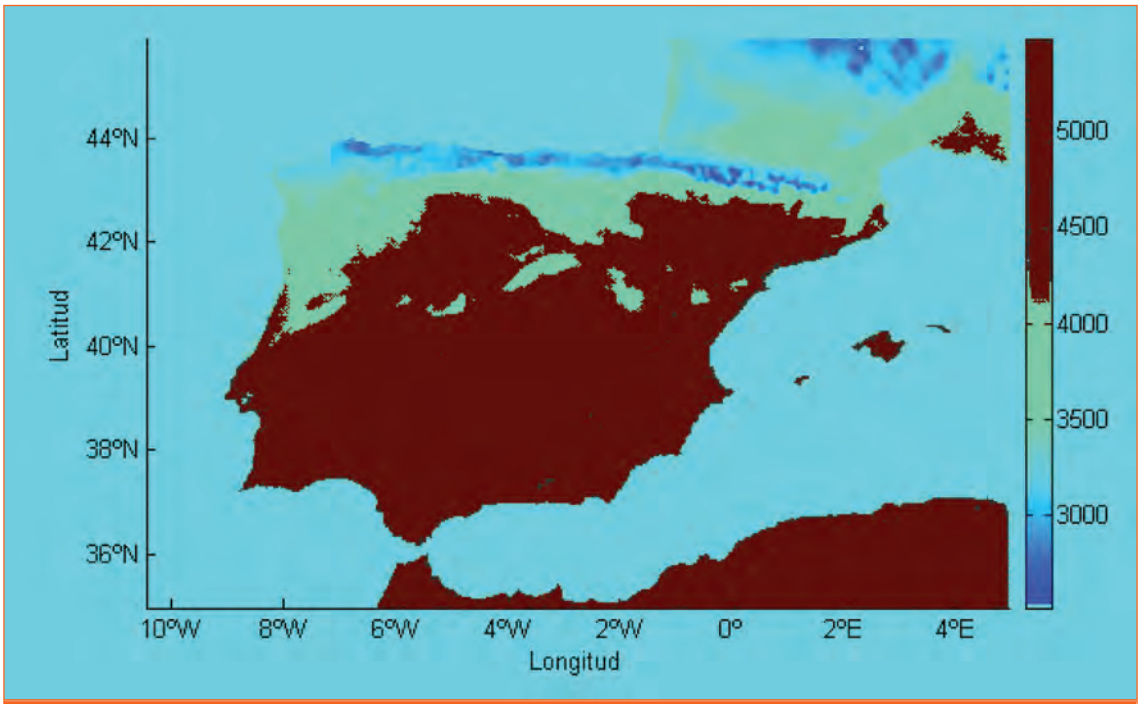
Mapas cortesía de IDAE. Fuente: IDAE, NREL.

SITUACIÓN ESPAÑOLA

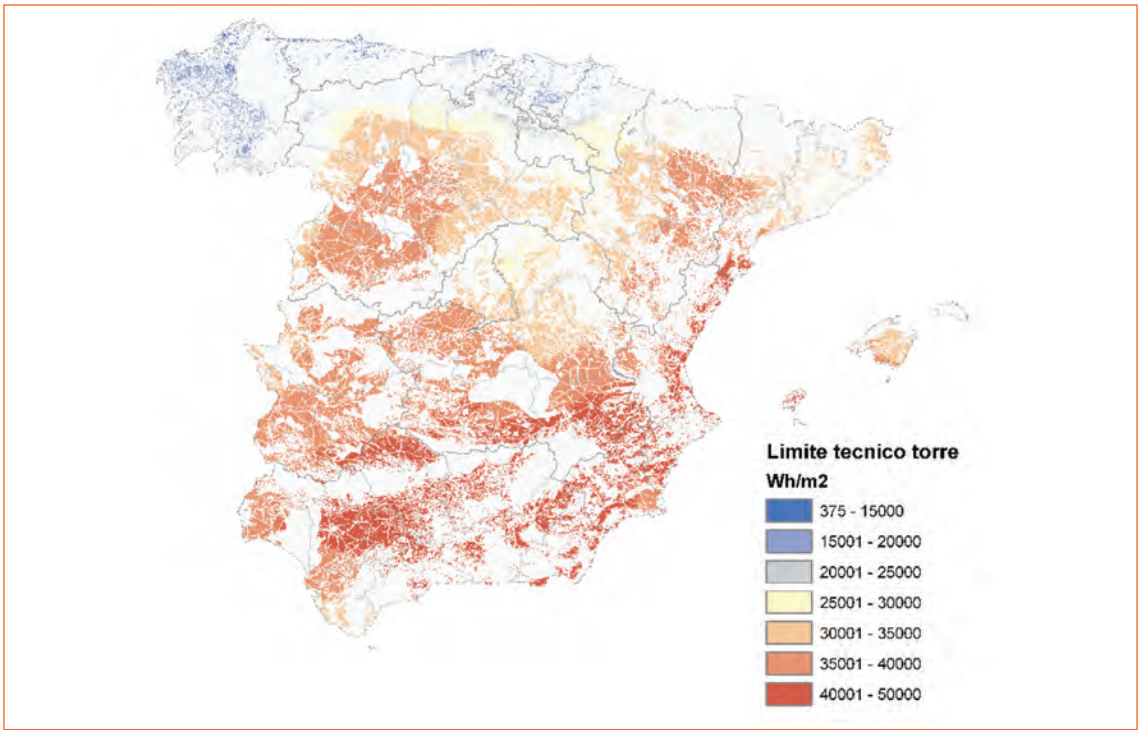
España ocupa una localización geográfica relativamente buena para la explotación de esta fuente de energía, aunque no con características similares a las de las zonas desérticas como pueden ser el Sahara, Arabia, o el centro de Australia. Sí es de señalar que España es el país de la U.E. con mayor extensión en la que se pueden instalar centrales solares termoeléctricas, por disponer de una importante potencia de radiación solar directa a lo largo del año.

En la figura siguiente se da precisamente este dato, en el que se aprecian varias regiones, como son las del sur de la península, que ofrecen condiciones solares muy buenas (en términos relativos en Europa).

La potencialidad natural de la irradiación solar ha de convertirse en energía útil, satisfaciendo una serie de requisitos técnicos inherentes a las instalaciones y su tipología. Es obvio que las prestaciones que puedan dar las instalaciones irán mejorando con el tiempo, y por tanto será posible captar más energía útil de la misma energía solar bruta, con plantas de mayor rendimiento. En todo caso, y teniendo en cuenta las capacidades tecnológicas actuales, se puede estimar cual es la capacidad de explotación de la energía solar para producción de electrici-



Promedio anual de irradiancia global diaria (Wh m-2 dia-1). Por cortesía de J.. Polo, CIEMAT.

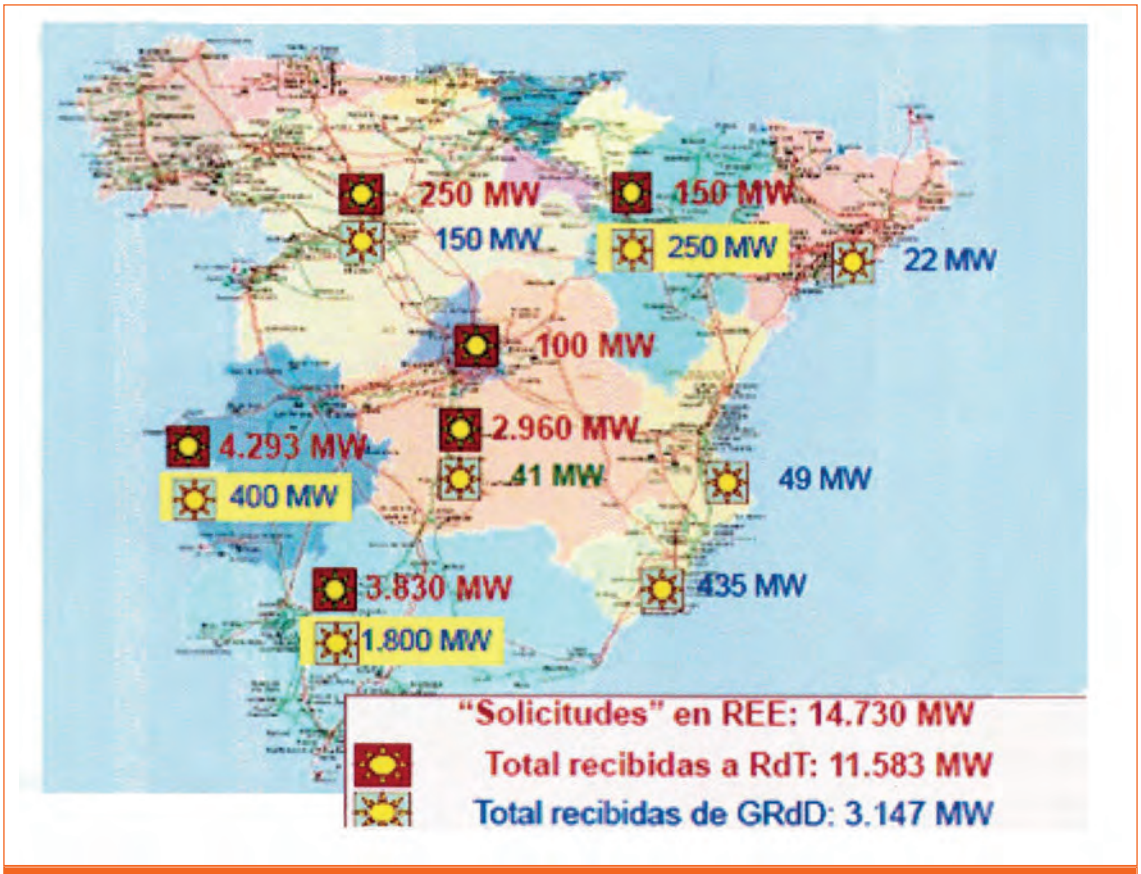


Promedio anual de irradiancia global diaria (Wh m-2 dia-1). Por cortesía de C. Dopazo. Informe para UNESA.

dad, de lo cual es ejemplo el siguiente mapa de la península e islas Baleares, en el que figura la producción anual en el caso de plantas con torre central.

EL ACTUAL DESPLIEGUE SOLAR TERMOELÉCTRICO ESPAÑOL

A raíz de los sucesivos planes de fomento de energías renovables, pero sobre todo gracias a la promulgación de una serie de medidas legislativas de hondo calado económico, se ha producido en nuestro país una expansión enorme en diversas Renovables, y particularmente también en la solar termoeléctrica. Un importante punto de inflexión en este sentido fue el RD 436/2004, que estableció un régimen de primas muy atractivo para el sector, que inicialmente actuaba con objetivos en el Plan de Energías Renovables que totalizaban 500 MW para el año 2010; lo cual se refrendaba en el RD 661/2007 que fue la espoleta que terminó de provocar la explosión de proyectos en este ámbito, alentados por las ventajosas condiciones económicas, mantenidas durante 25 años, e incluso proyectadas más allá.



Acceso a red solar termoeléctrica. Solicitudes (incluuye presolicitudes). Fuente: Red Eléctrica de España.

Por imprevisión gubernamental y de la propia letra de los RD involucrados, la reacción del sector sobrepasó amplísimamente los 500 MW objetivo del Plan, planteándose una serie de inversiones en el sector que suponían una carga financiera de enorme calado, por el sobrecoste que iba a implicar el conjunto de primas a las que tenía que comprometerse el Estado.

La foto de las propuestas planteadas en firme, con diverso grado de desarrollo en su tramitación, se muestran a continuación, en cuanto a solicitudes recibidas por REE.

La tabla siguiente muestra precisamente la situación de tramitación aludida.

RÉGIMEN ECONÓMICO

La eclosión anteriormente descrita está motivada por un régimen económico muy beneficioso, como se indica a continuación

- **Tarifa Regulada**:
  - Primeros 25 años: **28,7603** c€/kWh.
  - A partir de los primeros 25 años: 23,0080 c€/kWh

- **Prima**:
  - Primeros 25 años: **27,1188** c€/kWh.
  - A partir de los primeros 25 años: 21,6950 c€/kWh.
  - Se suma al precio obtenido en el mercado eléctrico.

- Establecimiento de **límites** inferior y superior.
  - Inferior: **27,1228** c€/kWh.
  - Superior: **36,7252** c€/kWh.

- Régimen económico para 2009, según **ORDEN ITC/3801/2008**, de 26 de diciembre. BOE nº 315 de 31-12-08.
- O.M. ITC 3519/2009 de 28.12.09 de regulación de primas y tarifas para el régimen especial, a partir de 1 de enero de 2010.

La situación realmente explosiva que se ha descrito, fue atajada por el gobierno mediante el Real Decreto Ley 6/2009 (de 7 de mayo), que imponía una serie de condiciones para la tramitación de los expedientes y su incorporación al régimen de primas previamente establecido. Aproximadamente 100 proyectos (4.300 MW) han solicitado la inscripción (incluidos varios que se encontraban en construcción).

Mediante Resolución de 19 de nov, por Acuerdo del Consejo de Ministros de 13 de noviembre de 2009, BOE de 24 de noviembre, desarrollando el RD 6/2009, se fijaron los cupos para los años sucesivos en la incorporación de potencia solar termoeléctrica a la red. La potencia acumulada que se fija como tope para entrar en servicio (o al menos en pruebas) es:

- 1.350 MW antes del 1 de enero de 2011
- 1.850 MW antes del 1 de enero de 2012

Esto ha supuesto una ralentización de las inversiones en el sector, pero era imprescindible habida cuenta el monto extraordinario de primas en el que se iba a incurrir (y en cierta medida se incurrirá, pues posiblemente unos 2500 MW se beneficiarán del régimen inicial de primas, y el resto está a la espera de un nuevo Real Decreto. Por otro lado, da tiempo a que el sector vaya acomodándose a un crecimiento tan rápido, y además permita considerar la introducción de nuevas tecnologías más eficientes y de menor coste, resultantes de la curva de aprendizaje. Sin embargo, la rapidez de respuesta que se dio por los inversores ante las condiciones muy ventajosas del Real Decreto 661/2007, se basó exclusivamente en recurrir a las centrales tipo SEGS de California, huyendo de cualquier tipo de innovación, por las dificultades de que éstas fueran avaladas por los bancos.

Los **costes de generación** son todavía elevados, como consecuencia de unas inversiones que están entre 4 y 5 €/W eléctrico, pero el régimen económico descrito hace que esas inversiones, incluso con menos de 2000 horas anuales de utilización, sean muy atractivas.

Más aún, cabe tener en cuenta que estas inversiones, con el marco económico establecido, y la política bancaria de préstamos, permitirá una amortización de la plan-

ta en un periodo inferior a 20 años, e incluso de 15. Sin embargo, el marco retributivo se extiende por más de 25 años, lo cual significa que a largo plazo las centrales solares termoeléctricas serán una fuente considerable de ingresos, a poco que su mantenimiento se haga eficazmente, y se mantengan las prestaciones de la planta.

En las figuras siguientes se muestran (por cortesía de IDAE) algunas de las centrales puestas en servicio recientemente.

SITUACIÓN ACTUAL — *Proyectos finalizados*

IBERSOL PUERTOLLANO

Localidad	Puertollano
Provincia	Ciudad Real
Potencia (MW)	50

Tecnología	Cilindro parabólica
Almacenamiento	No
Superficie planta	175 Ha
Componentes	Espejos FLABEG y RIOGLASS Estructura EUROTHROUGH Tubos SOLEL y SCHOTT Turbina SIEMENS

Puesta en marcha	Mayo 2009 Promotores: IBERDROLA 90% IDAE 10%

Como claves del éxito que se está viviendo, y que deberá ser refrendado por la operación de estas centrales a lo largo del tiempo (en lo cual aún se carece de experiencia) hay que citar:

- Régimen Especial tarifario
- Empresas con capacidad de respuesta
- Formación especializada en este sector en algunas universidades
- Centros de Investigación especializados y colaboración internacional
- Apoyo continuado a la I+D desde hace más de 30 años (Ministerios, PIE…)

SITUACIÓN ACTUAL

Proyectos finalizados

PS10 / PS20

Localidad	Sanlúcar La Mayor
Provincia	Sevilla
Potencia (MW)	11 / 20

Tecnología	Torre
Almacenamiento	Vapor (0,5 h / 1h)
Superficie planta	60 ha / 90 ha
Componentes	Heliostatos SANLÚCAR 120 Receptor TORRE PS

Puesta en Marcha	2006 / 2009

Únicas plantas de **TORRE** en explotación **COMERCIAL** en el MUNDO

SITUACIÓN ACTUAL

Proyectos finalizados

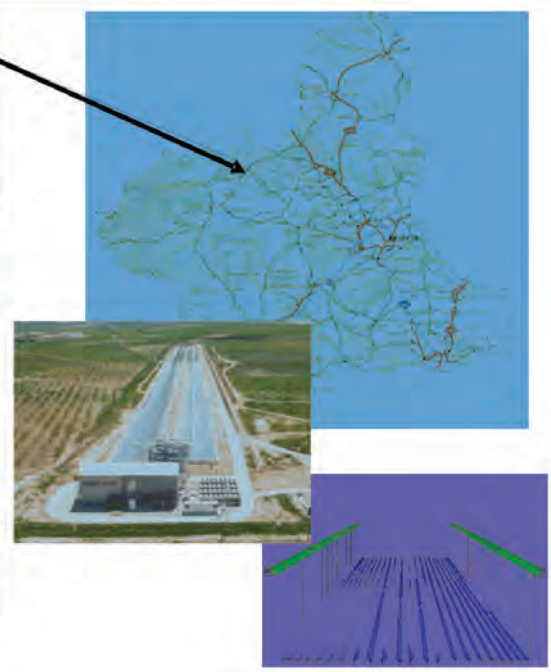
PUERTO ERRADO I

Localidad	Calasparra
Provincia	Murcia
Potencia (MW)	1,4

Tecnología	Fresnel
Almacenamiento	No
Colectores tipo	Espejos primarios Fresnel
Superficie planta	6 ha
Componentes	Cada grupo se compone de varios módulos de medidas 16 x 5,5 m. de 16 reflectores

Puesta en Marcha	2009

Primera planta comercial de FRESNEL en España.



El resultado ha sido de unas buenas expectativas para que en los próximos años la solar termoeléctrica siga los pasos de la eólica en la generación de electricidad, pero asimismo se puede decir que se ha logrado cierto liderazgo internacional, al menos a nivel de construcción de centrales.

CLAVES PARA EL FUTURO DEL SECTOR

Un sector que ha experimentado tan fuerte variación en tan corto tiempo necesita asimilar sus propias posibilidades, y la primera clave es precisamente lograr un asentamiento ordenado del sector que le proporcione estabilidad a medio y largo plazo, y consiga transformar una actividad fuertemente subvencionada en un ciclo de negocio.

Para ello se ha de trabajar en:

- Descenso de costes, mediante avance en la curva de aprendizaje, tanto por factores de escala, como por aparición de nuevas tecnologías que parcial o totalmente modifiquen la tipología de las instalaciones, reduzcan la cantidad de material empleado en las mismas, mejoren los rendimientos, etc.
- Consolidación de las principales tecnologías, para lo cual es imprescindible un importantísimo programa de I+D, suficientemente presupuestado y que englobe eficazmente la cadena ciencia-tecnología-industria.
- Desarrollo industrial de las etapas de mayor valor añadido, lo cual sería consecuencia del dominio tecnológico que debería dar el esfuerzo de I+D.
- Reducción de las necesidades de agua para la refrigeración de las centrales, lo cual exigirá nuevo esfuerzo de I+D
- Consolidación del liderazgo internacional, para aprovechar las capacidades desarrolladas nacionalmente, con implantación industrial en otros países, sin olvidar los del norte de África, por sus características de vecindad y gran nivel de insolación.

Adicionalmente hay que contar con la posibilidad de **Aplicaciones duales** como por ejemplo generación eléctrica y desalación de agua podrían cubrir necesidades en emplazamientos específicos.

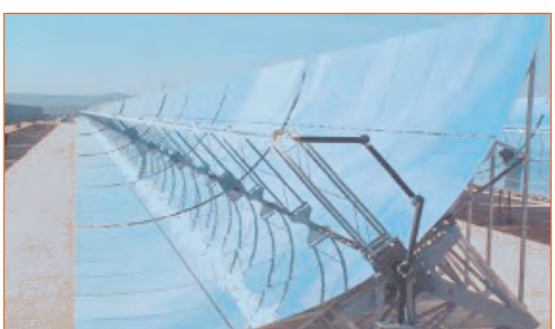
TECNOLOGÍA PARA EL FUTURO

Una de las características de la Solar Termoeléctrica (STE) es la amplia variedad en la tipología de sus plantas, e incluso la multiplicidad de opciones dentro de una misma tecnología.

Existen sistemas de concentración lineal (Fresnel, cilindro parabólicos) de concentración en dos ejes con helióstatos distribuidos (torre central) y de dos ejes con helióstato unitario (disco parabólico) y aunque la mayor parte del esfuerzo realizado hoy día se centra en los campos solares cilindro parabólicos, las expectativas de torre central son muy importantes, como también lo son los montajes Fresnel. Sin duda los que pueden conseguir mayores temperaturas en el volumen focal son los discos parabólicos, pero hay que tener en cuenta que el rendimiento de captación solar disminuye al aumentar dicha temperatura, pues con ello aumentan las pérdidas por radiación y convección.

En las imágenes siguientes se muestran ejemplos de las tipologías antedichas, pero hay que volver a reseñar que a su vez para cada tipo de instalación hay importantes opciones, referidas sobre todo a:

Reflectores lineales Fresnel.



Colectores cilindro-parabólicos.

Torre central.

Discos Parabólicos con motor Stirling.

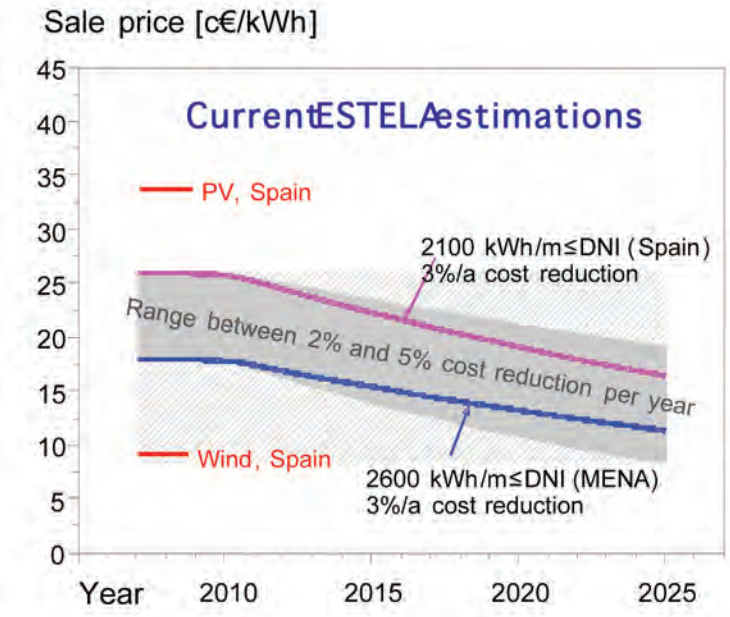
- Fluido calorífero (en el campo solar y en el ciclo termodinámico)
- Factor de concentración y rango de temperaturas
- Ciclo de potencia (siendo su elección muy dependiente del rango de temperaturas escogido y del fluido usado)
- Almacenamiento térmico (que a su vez abre nuevas posibilidades sobre el uso del mismo fluido calorífero que en el campo solar; siendo a su vez factible el almacenamiento en diversos tipos de material)

El objetivo final del desarrollo tecnológico debe ser la reducción de costes y el incremento del rendimiento global de la planta. Estos objetivos han de venir proporcionados por:

- Diseños competitivos a nivel sistema con campos solares optimizados, sobre todo por reducción de cantidad de material utilizado por unidad de potencia.
- Incremento de eficiencia en los sistemas actuales, mediante utilización de nuevas geometrías de concentración, nuevos materiales, y nuevos rangos de temperatura.
- Innovaciones a nivel componente
- Mayores tamaños del bloque de potencia, y elección de ciclos termodinámicos apropiados.
- Incorporación de almacenamiento. La inversión actual en España en las plantas en almacenamiento, según se ha comentado, es de 4 €/W, con una utilización equivalente anual de unas 2.000 horas. Con almacenamiento, la inversión asciende aproximadamente a 6 €/W, para almacenamientos de 7 horas de potencia nominal térmica, lo que permite unas 3.500 horas anuales de utilización, y el uso de la planta en momentos de mayor precio de la energía eléctrica generada.

En el cuadro siguiente se muestra la predicción del estudio Estela (APPA-Greenpeace) sobre la curva de aprendizaje de la solar termoeléctrica. Aunque toda prognosis es incierta, lo que sí puede decirse a fecha de hoy es que el coste que da de referencia de la fotovoltaica en España ya ha quedado obsoleto, merced a la burbuja PV del 2008, y está por debajo de los 33 céntimos de euro/kWh dados en el estudio. Sin querer adelantar acontecimientos, el interés por la solar

termoeléctrica, acompañado de un adecuado programa de I+D tecnológico, puede provocar una reducción más significativa aún del coste de la electricidad generada con esta fuente de energía.



2.4. Biomasa en generación de electricidad

REFLEXIONES PREVIAS

Estamos ante una línea de recuperación energética renovable que admite diversas opciones de trabajo y que en general avanza a un ritmo menor que el deseado. En números redondos la potencia instalada en nuestro país con las diferentes opciones: biomasa, biogás y residuos, es de unos 800 MW (véase cuadro subsiguiente) mientras que desde diferentes propuestas se habla de un objetivo en torno a 3.000 MW de potencia. Hay que reseñar que en esa potencia actualmente instalada aproximadamente, una quinta parte corresponde a residuos urbanos a los cuales se hace mención más adelante, y sobre ellos hay discusión por su catalogación como biomasa, aunque remotamente procedan de ella, <en todo caso, no van a constituir una fuentes significativa de electricidad a nivel macroscópico, y su problemática es esencialmente medioambiental.

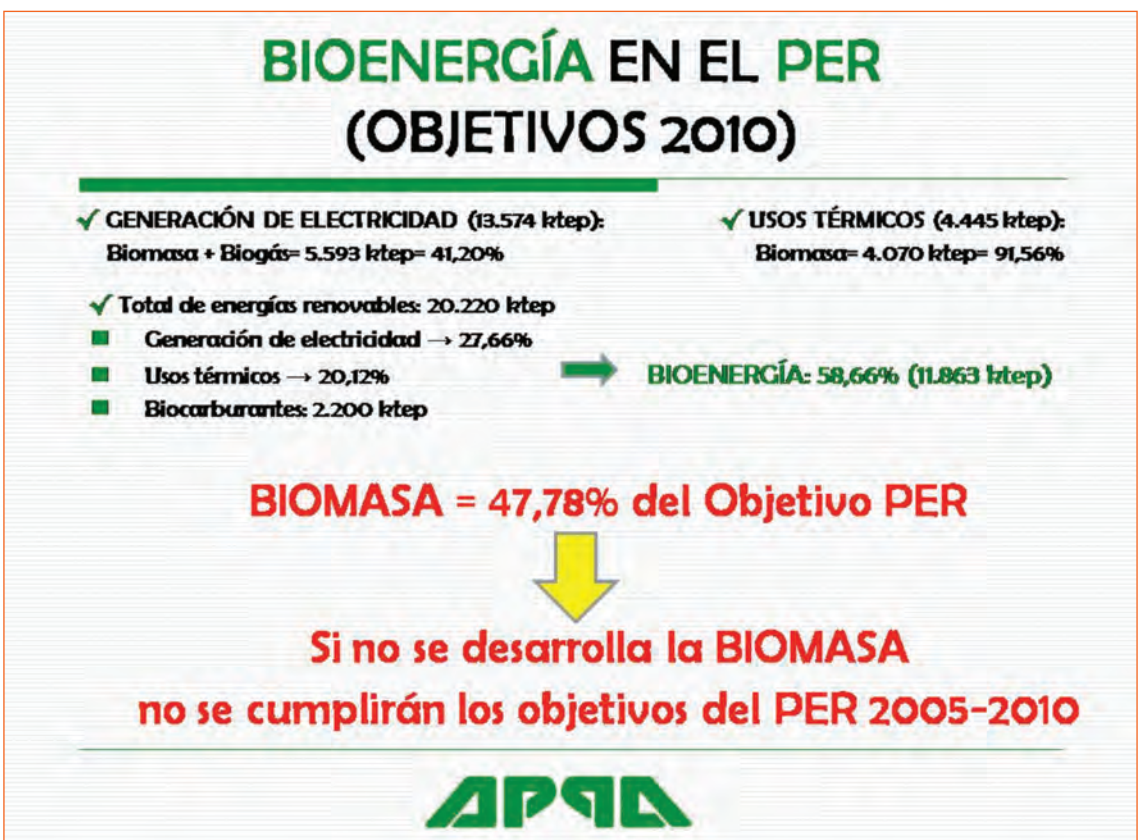
La situación española se recoge en el cuadro 1, que evidencia como la Biomasa no cumplirá los objetivos del actual Plan de Energías Renovables 2005-10, como tampoco cumplió los objetivos del Plan de fomento de 1999. En ambos casos, se subestimaron las dificultades intrínsecas de la Biomasa, la complejidad del acopio de su combustible, la falta de tamaño crítico en el sector energético-industrial que le había de servir de soporte, y la gran variedad que hay en este ámbito, tanto en tipos de materia prima como en tecnologías.

A todo ellos se unía y se unen dos factores esenciales:

- La falta de incentivos de importancia, en comparación con las primas dadas a otras renovables
- La falta de involucración e interés de las administraciones concernidas con el campo y sus usos, tanto a nivel de la Administración Central, como la autonómica (salvo muy contados casos).

También se une a los frenos de ese desarrollo una cuestión mal planteada hasta la fecha, tanto nacional como internacionalmente, y peor resuelta: la competencia entre usos finales de algunas biomasas, distinguiéndose 3 áreas principalmente (aunque lógicamente no todas las biomasas son útiles para los tres fines):

- Calefacción directa (doméstica o industrial)
- Biocarburantes, que exigen en general biomasa de la mejor calidad, compitiendo a su vez con la alimentación humana o animal.
- Generación de electricidad, que es lo que afecta a este informe, y en el que se verán algunas otras connotaciones negativas, como es la pequeña potencia de muchas de las instalaciones planteables; con un problema adicional: cuando se han previsto algunas actuaciones de potencia algo mayor, se ha generado tal problemática rural en la zona, por las perturbaciones previsibles, que se han abandonado esos proyectos.



Cuadro 1. Situación de la Biomasa en España, a finales de 2009 (seminario sobre Biomasa de la FEE; www.fundacionenergia.es).

Figura 1.- Biomasa con destino a calefacción doméstica. Valle del Lozoya. (Fotografía Emilio Menéndez)

Pero por otro lado sabemos que la biomasa en su conjuntos es numéricamente el aporte más significativo de las energías renovables a nuestro sistema energético, en el año 2008 supuso el 3,5% de la energía primaria consumida en España: 2,9% de biomasa, 0,2% de biogás y 0,4% de biocombustibles líquidos. (Secretaría de Estado de la Energía).

Bien es verdad que en el caso de la biomasa sólida son mayoritariamente aplicaciones como combustible de uso directo, tanto para calefacción de edificios como para algunos aportes energéticos en instalaciones industriales, suponen más del 90% de la misma . Son líneas energéticamente más eficientes, en las cuales el rendimiento de recuperación se sitúa entre el 50 y el 70% sobre la energía contenida en esa biomasa; veremos más adelante que es significativamente mayor que el correspondiente a la generación de electricidad.

Respecto al empleo de la biomasa como combustible de uso directo hay que señalar que es geográficamente disperso, con volúmenes energéticos individua-

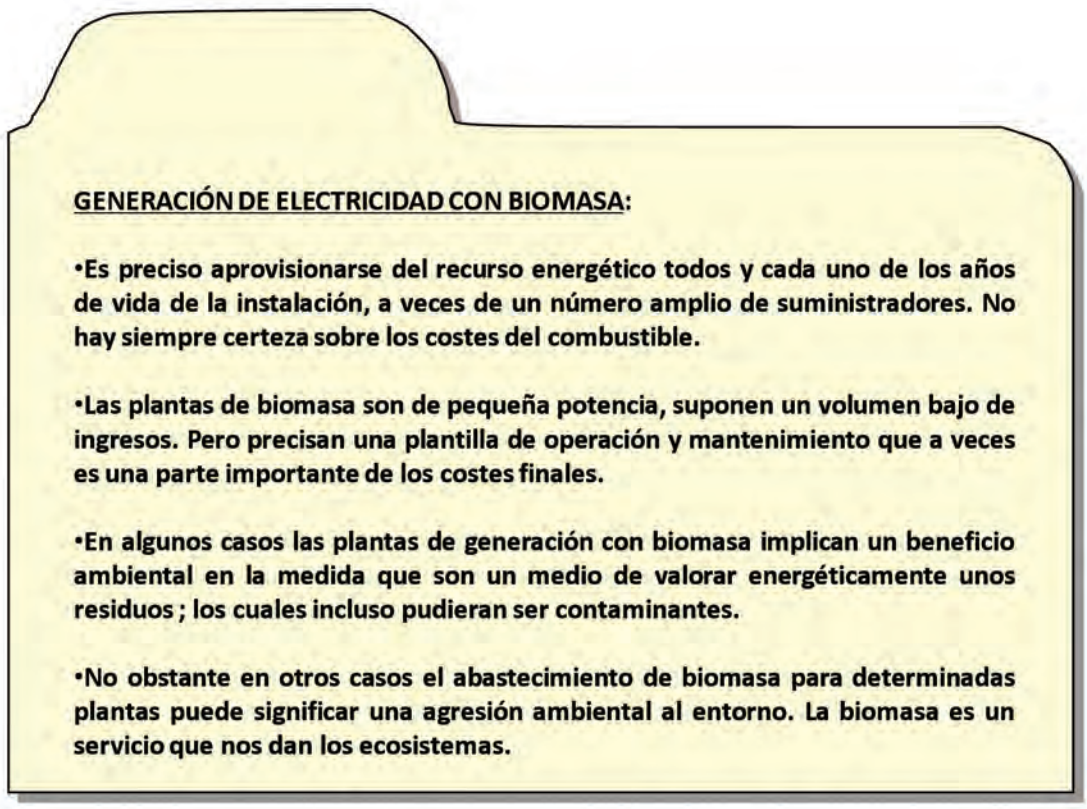
les pequeños, que se mantiene en estructuras tradicionales que tienen establecidos cauces de recogida y suministro desde hace bastante tiempo. Si analizamos el coste por unidad energética para el usuario de las leñas nos encontraremos que es inferior al correspondiente al de las botellas de gases licuados, pero aun así se ven puntualmente retrocesos en esta utilización de la biomasa, no por el hecho de que se reduzca el volumen de leñas consumido, pero si por el de usuarios, ya que algunos de estos prefieren la comodidad o limpieza que supone el gas licuado.

Los intentos de abrir nuevas líneas de uso directo de la biomasa en forma de pellets o astillas, con una utilización mecanizada en calderas de nuevo diseño, no avanzan con rapidez; no es fácil establecer redes comerciales ni tampoco abrir nichos de consumo que siempre serán menos cómodos y quizás más "sucios" que el gasóleo ó los gases licuados, a pesar de que estos tienen un coste energético unitario que las leñas. Estas consideraciones nos adentran en el objetivo de este capítulo y este primer apartado de reflexión: generación de electricidad con biomasa.

Si pensamos en esa generación de electricidad nos aparecen diferencias conceptuales entre la recuperación de biomasa y otras energías renovables, en particular la eólica que es la de referencia como alternativa consolidada y de rápido avance. Ésta segunda presupone hacer una inversión y "prácticamente sentarse a esperar que el parque genere electricidad y proporciones ingresos", la principal cuestión es financiera sin que por ello haya que dejar de lado los aspectos de diseño y mantenimiento. Ahora bien una planta de biomasa tiene una serie de características que no la hacen atractiva como negocio y que obligan a una resolución continuada de problemas o cuestiones al respecto. Esto se resume en el cuadro 2.

Sabemos que se construyen plantas de media potencia de generación eléctrica con biomasa cuando para ello se utiliza un recurso residual concentrado, que está localizado y en cualquier caso es preciso gestionar por parte de los que lo originan; en este supuesto la solución de construir esas instalaciones de generación eléctrica es una alternativa bastante lógica, que a veces evita posibles vertidos contaminantes no controlados, por ejemplo en la industria de la celulosa ó en las almazaras de aceite de oliva. También han crecido las soluciones para pequeños volúmenes de biomasa que caminan por la vía del biogás.

La gran cuestión de valorización energética no resuelta son los residuos dispersos, bien sean forestales, agrícolas o ganaderos que no encuentran realizaciones industriales para su recuperación energética. El caso se repite también con los eventuales cultivos agro energéticos; en la mayoría de los casos aparecen limita-



Cuadro 2.- Reflexiones preliminares sobre la generación de electricidad con biomasa

ciones a su desarrollo en los balances económicos de las posibles plantas, así como incertidumbres en el aprovisionamiento a largo plazo.

Además se debe analizar y entender una gran cuestión pocas veces puesta sobre la mesa. La biomasa es un servicio que nos presta un determinado ecosistema y como tal hay que tratarla, es decir lo primero a tener en cuenta debiera ser el cuidado del ecosistema, lo cual implica tomar el volumen de servicio que haga que ese entorno se mantenga en equilibrio y no se deteriore. Esto es importante en un país en el cual sabemos que hay hechos ó factores que inciden en nuestro deterioro ambiental. Básicamente se han de considerar:

- Déficit hídrico en diferentes zonas geográficas respecto a los consumos que se hacen o se proponen de agua. En algunas cuencas hidrográficas del país es ya una cuestión crítica que puede agravarse en el futuro. Además hay un amplio deterioro de la calidad del agua superficial en determinadas zonas del país.

- Avance de la erosión y desertización en grandes espacios de nuestro país. Hay que considerar el abandono de actividad agrícola y los incendios forestales como hechos que acompañan esta cuestión. Pero sin olvidar también la pérdida de suelo en áreas actualmente de cultivo.

Estos temas no se pueden dejar de lado cuando se proponen nuevas plantas de biomasa o se plantean esquemas de desarrollo. Hace años hubo un rechazo fuerte a una instalación que proponía un tamaño de potencia media, 40 MW, con residuos forestales. Se trataba de conseguir un buen balance económico, pero la demanda de leñas era tan elevada que asustó a la sociedad del entorno. Por el contrario en el año 2009 se puso en operación una instalación de 2 MW en la provincia de Guadalajara en un entorno donde había sucedido un trágico incendio forestal unos años antes, se intentaba ahora tener el bosque más limpio.

En España se está produciendo una retirada de las tierras cultivadas, que supone el abandono de labores agrícolas en unos tres millones de hectáreas, que es algo menos de la décima parte de las suma de las superficies: agrícola, matorral y forestal. Es un hecho relacionado con la Política Agrícola Común Europea, PAC. Es importante definir cuál sería la mejor línea de actividades o trabajo en esas tierras de retirada, e incluso también en los distintos entornos de "superficie potencialmente vegetal" que hay en España. La biomasa energética puede ser uno de los servicios de los ecosistemas, pero analizándolo, y estableciendo esquemas de diálogo social.

Esas reflexiones anteriores las hemos de tener en cuenta a la hora de valorar la disponibilidad de recurso de biomasa, la cual además pudiera tener otros usos distintos a los de generación eléctrica, en particular a la obtención de biocombustibles líquidos; estos a nivel global pueden tener una incidencia significativa sobre los ecosistemas y su desarrollo parece pedir claramente que se anteponga el cuidado de la naturaleza ante la decisión de unas u otras opciones exclusivamente por razones simplistas de aprovechamiento económico asociados a objetivos políticos establecidos sin un análisis consistente de pros y contras, incluyendo en éstos algunos efectos colaterales que llegan a ser dominantes.

La Fundación para Estudios Sobre la Energía, CIEMAT y la Universidad Politécnica de Madrid han organizado una serie de encuentros que analizan también cuestiones técnicas en el desarrollo de la biomasa para generación de electricidad; las diferentes ponencias y las anteriores reflexiones permiten redactar Las páginas que se proponen a continuación.

RECURSOS ENERGÉTICOS DE LA BIOMASA

Las valoraciones del recurso energético en biomasa varían mucho de unos autores a otros. En ello inciden las consideraciones que se hagan al introducir en el análisis correspondiente las distintas cuestiones económicas y ambientales citadas, más las diferentes pautas de uso de la tierra que se dibujan en los distintos entornos de nuestro país. Un estudio amplio sobre los recursos de las energías renovables en España cifran la parte anualmente correspondiente a biomasa potencialmente aplicable a generación de electricidad entre 10 y 100 TWh según las valoraciones que se hagan al respecto (DOPAZO Y FUEYO).

De la misma forma, la clasificación de esos recursos energéticos en diferentes grupos se hacen de distintas formas dando lugar a agrupaciones diversas. Aquí se va a hacer un breve repaso de tipo cualitativo respecto a la potencial utilización en generación eléctrica de diferentes opciones:

Productos y residuos forestales

Los bosques tradicionalmente han sido fuente de leñas que se utilizan en calefacción y cocina de viviendas, más en algunas aplicaciones industriales. En la actualidad esa recogida de combustible no es posible en todos los casos. A veces se pica la madera residual y se deja en el entorno, en otros casos se hacen quemas controladas de la misma; determinados bosques digieren bien la biomasa que en ellos se va quedando en ellos. La limpieza del monte se propone con frecuencia como alternativa eficaz para prevenir los incendios.

Se estima que la biomasa que se puede recoger en el sotobosque se sitúa en valores entre media y dos toneladas por hectárea y año; esto supone que en la mayoría de los entornos comarcales no es fácil pensar en volúmenes potenciales por encima de algunas decenas de miles de t/a lo cual significa diseños posibles de plantas de pequeña potencia, en general menos de 10 MW en la mayoría de los casos. Las superficies ocupadas por el matorral suponen otra opción que tiene su análisis específico, pero que en primera aproximación se puede asimilar a las forestales, siempre con una llamada de atención a la especificidad de cada caso.

En este apartado no se puede olvidar como potencial recurso de biomasa la poda de parques y jardines, públicos y privados, incluyendo también el arbolado de calles en las grandes conurbaciones de nuestro país; suponen una partida importante de madera que con frecuencia va a los vertederos de residuos urbanos, aunque en algunos casos se destina a producir compost. De hecho ha habido alguna incipiente propuesta al respecto en la zona noroeste de la Comunidad de Madrid.

Un ejemplo significativo en esta línea energética de recuperación energética de biomasas varias ha sido la planta de Allariz, en Ourense, de 2,3 MW de potencia puesta en operación a mediados de la década de los noventa del siglo pasado, a la cual se vuelve a hacer referencia más adelante en relación a los aspectos de planteamiento y gestión. Utiliza material de limpieza de bosque, básicamente de carballos, residuos de la industria forestal, costeros de serrerías de pino; pero también limpieza de matorral, retama ó xesta.

Como se ha indicado anteriormente se propone que la limpieza del monte sea una opción de generación eléctrica, bien el potencial teórico de recuperación se estima por encima de 10 millones de TWh, aunque al aplicarle las restricciones que aparecen por razones diversas: orografía de las zonas de bosque y matorral, disponibilidad de caminos o de posibles emplazamientos para las hipotéticas centrales y por aspectos económicos, se puede reducir significativamente esa cifra arriba citada. No obstante, es factible pensar en nueva potencia instalada en un rango de 500 a 1.500 MW, aunque en muchos casos con plantas de pequeño tamaño, sobre las cuales ya se adelanta que aparecen problemas de viabilidad económica, que sólo pueden paliarse con primas adecuadas en la primera fase, hasta alcanzar madurez tecnológica y superar el tamaño crítico en la curva de aprendizaje.

Pero no puede olvidarse que estos productos y residuos pueden atender a otro fin energético, el del calentamiento directo, donde pueden alcanzar rendimientos y rentabilidad mejores. Cabe a este respecto tener en cuenta el ejemplo de Francia, el país europeo con mayor empleo energético de la masa forestal. Con 15 millones de Ha de bosque, genera alrededor de 45 Hm^3 de masa leñosa al año, que representan más de 10 Mtep, destinadas al calentamiento directo. Hay que añadir que el Francia hay más de 6 millones de calderas de leña, y el conjunto de este ámbito conforma una actividad comercial muy señalada. Comparativamente, en España no existe nada, aunque se suponga (no hay impuestos que lo valoren) que se consumen unos 2 Mtep procedentes de esos residuos.

Residuos agrícolas

La paja procedente de los cereales se ha utilizado tradicionalmente como combustible de calefacción, todavía en los años cincuenta funcionaban las antiguas glorias de diseño romano en algunos pueblos de Castilla Y León. Las propuestas para su empleo en generación de electricidad han sido diversas, una de ellas ha cuajado en una central de 30 MW de potencia en Sangüesa, Navarra, es una instalación a la cual se hará mención más adelante al hablar de tecnología; aquí es preciso citar que se gestiona un volumen significativo de paja, más

de 150.000 t/a procedente de Aragón y Navarra, la cual en su día era en parte materia prima para una planta de celulosa ubicada en la provincia de Zaragoza; hubo un importante esfuerzo de la Diputación Foral de Navarra para hacer factible la instalación.

La valoración de esta paja de cereal nos podría llevar a un recurso energético en torno a 5 millones de tep anuales, incluyendo la procedente de los campos de trigo y cebada, que tienen otros usos alternativos en ganadería, pero también la correspondiente al maíz la cual se suele quedar siempre en los campos de cultivo. La paja es un residuo relativamente concentrado, de fácil manejo, que se empaca de forma mecanizada y llega a las centrales eléctricas con adecuada densidad en el transporte correspondiente por camiones. Eso mismo no se ha conseguido con el zuro del maíz, respecto al cual es preciso recordar que existen vegas en las cuales la presencia de este cultivo es significativa y por lo tanto hay disponibilidad de recurso semiconcentrado.

Bien es verdad que por otro lado, la tecnología de obtención de biocombustible líquido a partir de la paja avanza, ya se dispone de instalaciones experimentales de producción de bioetanol al respecto en la provincia de Salamanca. Hay que señalar que parece social y ambientalmente más conveniente que se utilizara la paja en esa línea de biocombustibles que el grano de cereal que se usa actualmente, el cual se importa en buena medida de los mercados internacionales. No podemos olvidar que a nivel mundial estamos ante una crisis alimentaria que potencialmente se hará más crítica en las décadas próximas cuando la población mundial se incremente en un tercio sobre la actual.

Otro residuo a considerar en nuestro país es la poda de los viñedos, a veces se ha hablado de llevarlos a la generación de electricidad en vez de hacer con ellos quemas controladas en las lindes de las fincas; pero no aparece vías de concentración del recurso y transporte en densidades de llenado de los camiones aceptables; el tema no es irresoluble, pero ahí está como muestra de que el desarrollo de la biomasa tiene muchas pequeñas barreras.

Hay que llamar la atención sobre el residuo de los invernaderos, se encuentra concentrado en varias áreas geográficas de España, en particular en el Sureste, provincias de Almería y Murcia, también disperso en todo el país. El volumen del mismo da un orden de magnitud energética en torno al millón de tep, en buena medida se acumula en cárcavas ó se quema en los bordes de los caminos. Debiera ser un materias de clara aplicación en generación eléctrica, quizás conexo a la desalación de aguas marinas o salobres del sureste español.

Figura 2.- Paja de cereal en Tierra de Campos.- Castilla y León. (Fotografía Emilio Menéndez).

Cultivos agroenergéticos

Se han propuesto diferentes opciones de cultivos energéticos, de fácil mecanización en su laboreo y recogida, de forma que pudieran ser una vía competitiva de obtención de combustible para la generación eléctrica. Las alternativas han ido desde el cardo en terrenos de secano con bajo nivel de precipitación anual de agua a diferentes plantas herbáceas en áreas donde las lluvias son más abundantes. También se ha barajado la alternativa de plantaciones de árboles en esquemas de silvicultura de pies próximos de corta rotación.

Ya se ha citado anteriormente que las tierras de retirada suponen en nuestro país unos tres millones de hectáreas, evidentemente con muy variadas tipologías de terreno y de condiciones geográficas; en algunos casos esas tierras se transforma de forma natural en entornos con vegetación de matorral y amplia biodiversidad, en otros los procesos de erosión eólica e hídrica pueden ser significativos, abriendo así caminos hacia la desertización; este segundo caso parece procedente recuperar esas tierras para la agro energía.

Las estimaciones de la agroenergética en España apuntan a una productividad que podría alcanzar las 20 toneladas de biomasa por ha, si bien en la mayoría de los casos no se alcanzaría cifra tan elevada. De aplicarse 1 millón de ha a este fin, el contenido total de energía estaría entre las 3 y las 5 Mtep anuales, que esuna cifra muy considerable.

La vía de los cultivos o las opciones de silviculturas energéticos pide en cualquier caso un uso racional del agua disponible en cada cuenca hidrográfica y no plantear proyectos con usos de agroquímicos que fueran contrarios a un adecuado esquema de sostenibilidad. También es importante que se favorezca la biodiversidad y no acercarse a grandes superficies de monocultivo.

La valoración de cuál sería la línea más adecuada en cada caso no se conoce con estudios específicos al respecto, aunque se han realizado trabajos de investigación desde diversos centros universitarios que nos aproximan a esta línea de trabajo; también es incierta la cantidad de biomasa que pudiera recuperarse; no obstante es factible pensar en varios millones de tep. Otra cuestión es si es más adecuado dirigir ese recurso hacia la generación de electricidad o la producción de biocombustibles de segunda generación.

Residuos de las industrias agrícolas y ganaderas

En España la extracción de aceite de oliva supone un volumen de procesado de aceitunas muy importante, en muchos casos en almazaras que tratan individualmente grandes cantidades, esto supone la existencia de residuos concentrados, que tienen por un lado valor energético, pero que de otro implican características contaminantes; se suelen almacenar en balsas, pero a veces los vertidos accidentales a los ríos suponen una agresión ambiental significativa.

La valorización energética de estos residuos ha dado lugar a plantas de generación de electricidad, que tienen ya una historia de más de una década y se iniciaron con la instalación de El Tejar en Jaén. Son instalaciones que en cada caso han de resolver algunas cuestiones técnicas relacionadas con las características específicas de ese combustible, que es un producto semilíquido de tipo ácido y con presencia de elementos que pueden formas escorias y vidrios en la combustión, pero que ya se pueden considerar tecnológicamente maduras.

Se estima que la extensión de estas prácticas podría llevar a una potencia instalada de al menos unos 300 MW. En la actualidad nos acercamos al centenar de megavatios en funcionamiento. Las leñas de la poda del olivar pueden tener otros usos energéticos de mayor valor añadido que la generación eléctrica, por ejemplo los de combustión directa en chimeneas y estufas.

Figura 3.- Olivares en Jaén.- Un monocultivo que aporta biomasas (Fotografía Emilio Menéndez).

Las industrias agrícolas ponen además una variedad de residuos que se presentan en tipologías y grados de dispersión o concentración muy variada; cada caso merece un análisis individualizado, en el cual el destino de esas biomasas puede ir hacia la generación de electricidad u otros usos. Por ejemplo hay una planta que utiliza cascarilla de la molienda de arroz para ese fin y, de otro lado los residuos de la fabricación de zumos cítricos se estudian como fuente de obtención de biocombustibles líquidos, más concretamente bioetanol.

La ganadería estabulada da residuos concentrados que en algunos países ya se utilizan para obtener electricidad, es significativo el uso del gallinazo en Gran Bretaña para este fin. En España no se conocen experiencias de utilización de los mismos en plantas de media potencia. Convendría estudiar esta línea de trabajo para evitar el vertido de residuos contaminantes que en algunos casos pueden ser significativos, tanto por su volumen como por su agresividad, ese gallinazo es uno de ellos.

Si que se ha dado un avance significativo en el tratamiento de los residuos ganaderos de pequeño o medio volumen, que se transforman e biogás mediante procesos de digestión o gasificación el cual se quema en motores de combustión para generación eléctrica. La potencia instalada se evalúa en una cifra cercana a los 200 MW.

Residuos urbanos

La gestión de los residuos urbanos ha sido un tema de controversias en la sociedad. Las críticas ambientales al tema vienen desde diversos puntos de vista y en general han frenado la valoración energética de estos; también hay que decir que hay líneas de pensamiento que consideran que los residuos urbanos no son biomasa como tal y no debieran considerarse en este apartado de energías renovables, no obstante aquí se incluirán de acuerdo a las valoraciones que formalmente son más frecuentes en la Unión Europea.

En primer lugar hay que citar que no es sostenible el incremento continuado en la generación de residuos urbanos que se da en nuestra sociedad de consumo y en España en particular. Ya fue una llamada de atención hace una década que se alcanzaran en España los 350 kg por persona y año, es decir un kg diario por persona; pero en la actualidad caminamos a los 600 kg por persona y año; aunque haya una determinada actividad económica y empleo en torno a toda esa industria de envases y envoltorios desechables, debiéramos reflexionar sobre ello.

Inicialmente, desde hace décadas se propuso como solución de valoración energética y de eliminación de los residuos urbanos su incineración: combustión en calderas con producción de vapor, para la posterior expansión de éste en turbinas y generación de electricidad. En la actualidad esta opción sigue vigente aunque hay otras propuestas en paralelo a ésta.

En el sur de Europa ha habido más oposición a la incineración desde los colectivos ecologistas que en el norte del continente; la razón se unía principalmente a la emisión a la atmósfera de ciertos compuestos orgánicos, dioxinas en particular, que se forman en la combustión de materias que contienen cloro, algunos plásticos por ejemplo. Este tipo de instalaciones son frecuentes en diversos países europeos y en España hay unas cuantas plantas operativas, las cuales disponen de sistemas específicos de limpieza de gases para cumplir con las normativas que se han establecido al respecto.

Después se fue extendiendo la tecnología de gasificación controlada en vertederos para obtener un gas combustible que se quema en motores diesel adaptados a este tipo de gas. Los residuos se disponen en capas sucesivas en un cuenco impermeabilizado para evitar paso de aguas con lixiviados al terreno, se sella el vertedero; para a continuación recoger el gas de fermentación de los residuos mediante una serie de tuberías enterradas, éste una vez limpio de los arrastres que lleve enviarlo a los motores de combustión. En España se ha extendido esta opción con mayor aceptación ambiental que la anterior, en la figura 4 se muestra un ejemplo.

Figura 4.- Esquema de tratamiento de residuos sólidos urbanos con gasificación en vertedero controlado.

La cuestión de los vertederos incontrolados o de aquellos que no disponen de sistemas eficientes de tratamiento es un punto de reflexión para establecer líneas de trabajo, por un lado la contaminación de suelos y acuíferos que se produce en esos casos y de otro las emisiones de metano, que es un gas de efecto invernadero, en los procesos de fermentación no controlados, son problemas a resolver. La valoración energética, que se incluye en este capítulo, entra como una de las posibles líneas de actuación, a la cual debe acompañar la moderación en la producción de residuos y el reciclado y la reutilización.

TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

La biomasa en sus diferentes formas es un combustible, por lo tanto se aplican procesos térmicos para su transformación en electricidad. Estos tienen entre otros cuatro aspectos a considerar: emisiones contaminantes a la atmósfera, que no suelen ser un aspecto crítico en la medida que las plantas son de pequeña o media potencia, rendimiento del proceso, tamaño posible de las plantas de generación e inversiones a realizar. A continuación se hace un breve repaso por las diferentes opciones relacionándolas con esos puntos citados.

Centrales de ciclo Rankine

Es la alternativa más convencional de producción de electricidad con biomasa. Se basa en la combustión de ésta para disponer de vapor cuya expansión en turbina arrastra el alternador de generación de electricidad; el ciclo se completa con la condensación del vapor de salida de turbina y el retorno del agua condensada a la caldera. Es esencialmente el mismo ciclo que se aplica a las centrales de generación con carbón o fuel oil, es de bajo rendimiento energético, aspecto que hay que considerar en detalle.

Una central de gran potencia, por ejemplo 350 MW con carbón puede alcanzar un rendimiento en torno al 40 % referido al poder calorífico inferior del combustible. Las plantas con biomasa tienen dimensiones mucho menores, entre 2 y 50 MW, esto hace que el título del vapor, temperatura y presión, sea menor que en esas otras centrales de mayor potencia, lo que conlleva reducciones significativas en el rendimiento energético; en paralelo los consumos en servicios auxiliares, que en las centrales grandes están en torno al 5% de la electricidad generada, suben a valores de hasta el 15% de la electricidad producida. Esto hace que finalmente el rendimiento neto de las centrales de biomasa se sitúe en valores entre 20 y 30% respecto al poder calorífico inferior del combustible.

En función de ese rendimiento resulta el consumo específico de biomasa, éste se sitúa entre 5.000 y 10.000 t/a por cada MW de potencia operativo. Al analizar las disponibilidades de biomasa nos aparece que las 100.000 t/a son una cifra ya elevada y que 200.000 t/a parece un tope teniendo en cuenta las diferentes cuestiones ambientales anteriormente citadas. Esto trae consigo que la potencia de una instalación de este tipo se sitúe entre 5 y 30 MW en la mayoría de los casos, aunque se construyen instalaciones de menor potencia unitaria, las cuales se sitúan en general en valores bajos de ese rango de rendimiento energético.

Las calderas utilizadas para la combustión de biomasa más frecuentemente utilizadas son las de tipo parrilla, se utilizan con residuos forestales o materiales sólidos granulados; a veces se utilizan las calderas de lecho fluido o eventualmente otras que tienen quemadores para inyectar en el hogar aquellas biomasas que son semifluidas como puede ser el caso de determinados residuos ganaderos.

En la figura 5 se recoge la disposición en sección vertical de la central de Sangüesa de 30 MW de potencia, que es la de mayor tamaño en España. Como se puede observar la caldera es de parrilla. En esta instalación es significativo el diseño del sistema de manutención, la paja llega en grandes pacas desde el campo, se almacena bajo cubierto y un conjunto de grúas y cintas transportadoras alimentan la caldera.

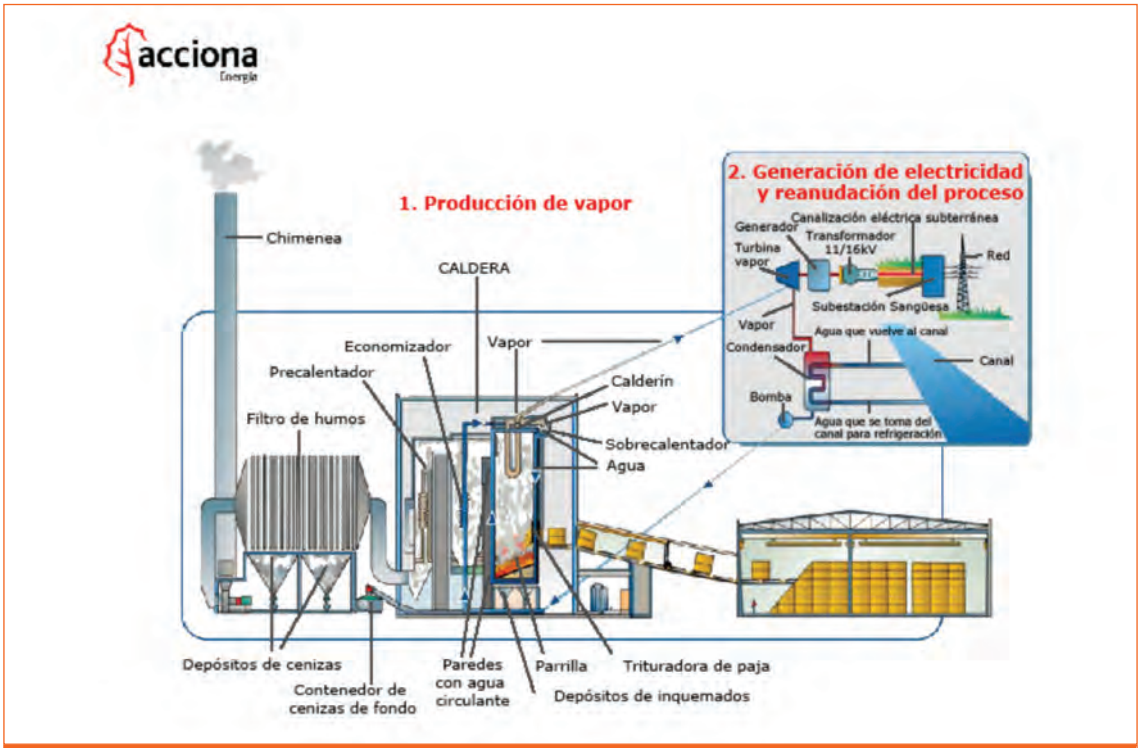


Figura 5.- Disposición de la central de biomasa con paja de Sangüesa, Navarra.

Respecto a la inversión específica un valor de referencia es el de 3.000 €/kW instalado, que se puede considerar válido para plantas de media potencia, ahora bien este parámetro se incrementa de forma significativa para las instalaciones de menor potencia unitaria, pudiéndose llegar a valores de hasta 4.000 €/kW.

Ya se ha indicado anteriormente que la eficiencia energética se relaciona en general directamente con la potencia de la instalación y, así mismo, los costes correspondientes al personal operativo y al mantenimiento también crecen en la medida que las instalaciones son de menor potencia. Todo ella hace que desde el punto de vista empresarial se busque realizar proyectos de media o alta potencia, entre 10 y 30 MW, e incluso más.

Cogeneración de electricidad y calor

Es una opción que pudiera favorecer el desarrollo de la utilización de la biomasa. Puede en principio basarse en un ciclo Rankine en el cual se disponen extracciones de vapor del ciclo para aporte de calor, o bien se toma agua calentada en la condensación del vapor. Este calor puede destinarse a la calefacción de viviendas o a aplicaciones industriales.

La ventaja de esta alternativa es que el rendimiento energético del conjunto puede acercarse al 70%, similar al uso de la biomasa como combustible directo. Los problemas se relacionan con la gestión del conjunto, que puede complicarse en la medida que los usuarios de la energía final pueden ser diversos y con requerimientos distintos.

Gasificación y ciclo combinado

Es una alternativa que se basa en gasificar la biomasa y quemar el gas en una turbina de gas, aprovechando el calor residual en un ciclo vapor. Esta tecnología ya se utiliza en la generación de electricidad con carbón, aunque económicamente no es rentable. En ella se trata de conseguir un mayor rendimiento energético de transformación a la vez que se consiguen mejores parámetros ambientales. Esto último, que en el caso del carbón y otros combustibles fósiles es prioritario, no es así para la biomasa, que no tiene, por ejemplo, las cantidades de azufre que el carbón.

Se han construido algunas instalaciones en el mundo, por ejemplo una en Gran Bretaña para procesar madera procedente de cultivo de bosque de baja rotación: sauces y chopos. Los resultados de esas instalaciones muestran que son opciones viables, pero no se han encontrado aparentemente ventajas significativas.

Co-combustión

Una propuesta que cobra cuerpo es la de utilizar las grandes centrales de generación electricidad con carbón para quemar adicionalmente a ese combustible diferentes tipos de biomasas, la cual participaría en pequeña proporción en la alimentación energética total a las calderas. Con ello se obvia la inversión a realizar en nuevas plantas a la vez que éstas se procesan en instalaciones con mayor rendimiento energético, entre 35 y 40% referido al poder calorífico inferior, todo lo cual aparece como una solución interesante. Por otro lado se podrían evitar algunos de los problemas conexos con la estacionalidad en la disponibilidad anual de la biomasa.

Se han realizado pruebas en centrales térmicas en distintos países, Alemania y España por ejemplo. No parece que existan problemas significativos; bien es verdad que se introducen cambios en los esquemas operativos de las grandes instalaciones, pero en ningún caso irresolubles. Sí que es cierto que no se debiera asociar esta opción con el transporte generalizado de la biomasa desde largas distancias, por la ineficiencia energética que ello pudiera significar.

Gas para motores de combustión

Diversas biomasas admiten fácilmente su procesamiento en digestores o en reactores de gasificación de pequeño tamaño para obtener un gas combustible, el cual puede ser enviado a motores de combustión con los que generar electricidad. La opción de los digestores se ha aplicado con éxito al procesado de residuos ganaderos de pequeño volumen, línea que está teniendo bastante éxito en España; aparece en algunas estadísticas en la partida de "biogás" separada de la de biomasa, pero conceptualmente se encuentra incluida en ésta.

La gasificación es otra opción, se pueden diseñar equipos sencillos, que trabajen a presión atmosférica y, sean adecuados a materiales que no se procesan fácilmente en digestores. Existen experiencias al respecto que han dado buenos resultados, serían una alternativa para muchas pequeñas partidas de biomasa que quedan como residuo sin ninguna valoración energética y a veces con potencial contaminante.

Figura 6.- Esquema de gasificación y generación con motores térmicos.

Hay que señalar que se ha avanzado en la adaptación de los diseños de motores diesel hacia la aplicación a la combustión de esos gases de biomasa, ya se cuenta con una oferta de equipos en una amplia gama de potencias y con sufi-

ciente experiencia acumulada. Se han diseñado sistemas de limpieza de los gases procedentes de la digestión o la gasificación para mejorar la operación y mantenimiento.

Conviene llamar la atención sobre la posibilidad de extender esta opción tecnológica a residuos que hoy no encuentran un camino de valoración energética, tal es el caso de los de invernadero, los cuales se incrementan de forma continuada en nuestro país y a ellos hay que dar soluciones distintas a su combustión incontrolada.

INDIVIDUALIZACIÓN DE LOS PROYECTOS

En todo lo anteriormente expuesto se percibe que la recuperación de biomasa para generar electricidad es un campo amplio y complejo, que convendría analizar en sus diferentes aspectos para cada aplicación individual. Es posible aumentar la potencia instalada en esta energía renovable, quizás se pudiera llegar a un nivel entre 3.000 y 5.000 MW sin incidir negativamente en los ecosistemas; pero hay que pensar en numerosos proyectos de pequeña potencia individual, aparte de otros de media o gran potencia.

Las instalaciones que utilizan residuos concentrados y que se disponen en volúmenes significativos pueden ser proyectos viables económicamente hablando en las actuales condiciones de apoyo a las renovables, en particular sí esos residuos no tienen precio en el mercado. Es el caso de las plantas que queman el alperujo de las almazaras, las cuales se extienden con facilidad en nuestro país.

Los residuos ganaderos en general se encuentran en volúmenes pequeños, algunos han encontrado soluciones tecnológicas y económicas para su procesado, es el caso de las plantas de biogás, el cual se utiliza en parte como combustible de uso directo y también en generación eléctrica. Respecto a otros residuos, por ejemplo el gallinazo, convendría realizar actividades de desarrollo y aplicación tecnológica de procesos de transformación que hicieran viable su valoración energética. En algunos de estos casos convendrá que se analicen los aspectos económicos para hacer viables las mejores soluciones técnicas y ambientales.

Los residuos forestales son una gran cuestión que precisa análisis claramente diferenciados geográfica y ambientalmente. Por un lado es preciso conocer en qué medida es preciso limpiar el bosque, como incide ello en la prevención de incendios o en la preparación de actividades de educación u ocio ambiental. De otro hay que valorar las superficies a las que se extenderá esa labor y consiguientemente cuáles serán los volúmenes de biomasa disponibles, lo cual define la potencia de la hipo-

tética planta de generación y sobre todo el balance económico de la misma. Es posible que ante esas diferencias pudieran aparecer propuestas de esquemas de ayuda a la promoción de la valoración energética de esas labores muy distintos de unos casos a otros con el fiun de llegar a soluciones equilibradas.

En algunos casos es importante analizar quienes pueden ser los promotores de las instalaciones industriales correspondientes, bien a lo largo de toda la vida de las instalaciones o en las fases de lanzamiento de las mismas. Puede ser clarificadora la historia de la planta de Allariz, Ourense, de 2,3 MW de potencia; nace de la voluntad del Concello que ve como aplicar unos fondos económicos para limpiar el monte, quemando los residuos en el campo, para así prevenir los incendios del verano.

Esas limpias mostraron que había biomasa disponible para la generación de electricidad, aunque luego se vio que en volúmenes menores a los que inicialmente se estimaba. La voluntad del Concello y la predisposición de la Xunta de Galicia más los organismos estatal y autonómico que promueven las renovables: IDAE e INEGA, junto con la presencia de empresas eléctricas asentadas en dicha Comunidad Autónoma, hacen factible la construcción de la central eléctrica mencionada, para lo cual se consigue una subvención a la inversión de aproximadamente un tercio de la cifra total de ésta.

Figura 7.- Fragas del río Eume, Coruña.- En España hay muchos bosques singulares que precisan cuidado, quizás en ellos la valoración energética de su biomasa para generar electricidad no sea la mejor solución. (Fotografía Emilio Menéndez).

La planta, después de unos años de decidida presencia municipal que aprovecha su existencia para crear un polígono de desarrollo industrial y de empleo en la villa, pasa a ser un proyecto de gestión fundamentalmente empresarial; pero dejando un poso en el concello de posibilidades de actuación en común y de un desarrollo rural más equilibrado.

Los incendios forestales son un problema en España: todos los veranos aparecen como una plaga. Es preciso limpiar el bosque en otoño e invierno para evitar la presencia excesiva de material potencialmente combustible, es una actividad sobre la cual reflexionar en varias de nuestras Comunidades Autónomas; aunque no todo tipo de arbolado es igualmente sensible a esos incendios, es conveniente reflexionar sobre el retorno en la medida de lo posible a espacios con especies autóctonas.

En la actualidad también hay que valorar el uso del bosque como espacio de ocio ambiental, lo cual implica limpieza del mismo para disponer de caminos y áreas recreativas, si bien la cantidad de biomasa resultante de estas labores puede no ser suficiente para una planta eléctrica y no conviene forzar esa retirada, pero sí puede ser adecuada para uso directo de la biomasa como combustible. En todo este contexto aparecen esquemas económicos que pueden ser muy distintos a los actualmente en vigor o los que se proponen habitualmente.

Otro gran tema de análisis es el de los cultivos energéticos. Es cierto que hay superficie agrícola disponible, quizás más de los tres millones de hectáreas que se valoran como tierras de retirada, hay que reflexionar si debe ser recuperada en forma de agricultura o silvicultura energética, dentro de estas soluciones cual debiera ser el destinos de las biomasas: electricidad o biocombustibles de segunda generación, o si debiera tener otros usos o bien quedar en un nuevo estado con baja incidencia antropogénica. Cada caso será distinto, habrá razones de todo tipo a considerar incluso las correspondientes al binomio ecología-economía, el cual previsiblemente inducirá actividades de pequeña magnitud unitaria.

A todo ello hay que añadir que la gestión de las biomasas puede suponer una creación significativa de empleo, bien en puestos de trabajo de plena dedicación a ello, bien en otros de tiempo parcial, es decir jornales complementarios para el entorno rural. No es fácil asignar un volumen de empleo dadas las incertidumbres anteriormente citadas, pero hay que pensar en varias decenas de miles de puestos de trabajo equivalentes, lo cual en la actual situación no es un tema baladí.

EL CAMBIO NECESARIO

Cuadro 3. Situación del Plan de Energías Renovables, próximo a su fin y reformulación.

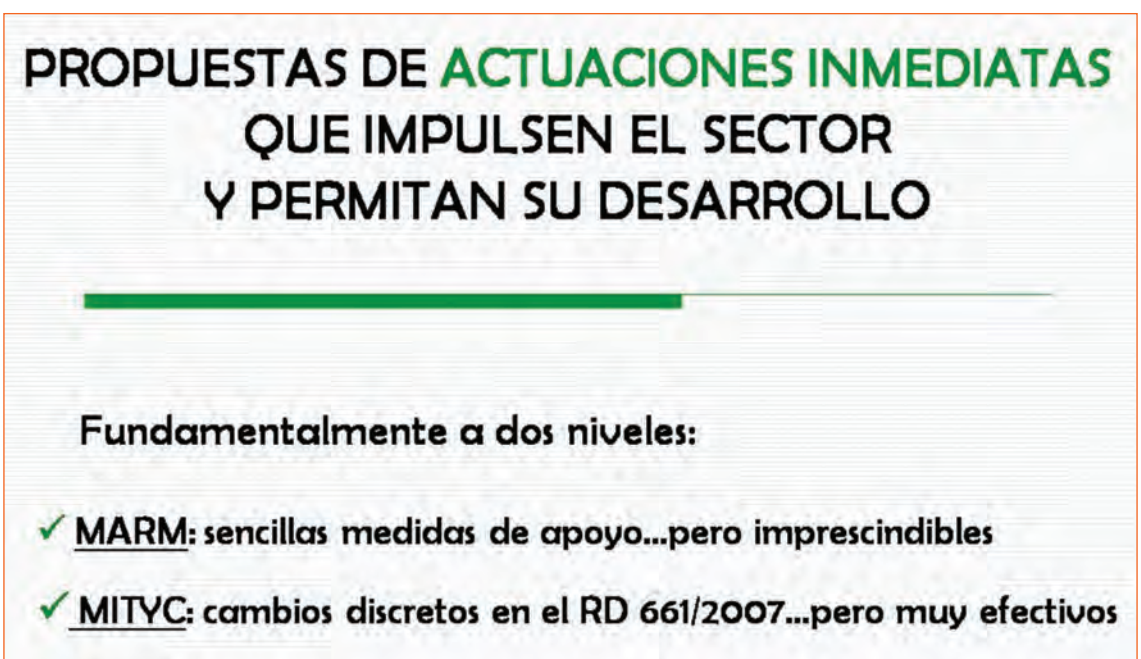
Tal como se aprecia en el cuadro 3, la situación del desarrollo de la Biomasa para producción de electricidad no cumple los objetivos marcados, poaiblemente por un doble motivo: no hubo una reflexión cuantitativa rigurosa que tuviera en cuenta las numerosas dificultades que lastran a la biomasa; y no se dotaron los incentivos de suficiente entidad como para atraer capitales no previamente involucrados en la biomasa.

En todo caso, no se puede minusvalorar la complejidad de los problemas, que son de tood tipo: tecnológicos, administrativos, agro-forestales, de logística y transporte, de aseguramiento de los combustibles y calidad de estos, etc.

Junto a todo lo específico del fin de generación eléctrica, está la competencia con otros fines energéticos de calentamiento directo y de producción de biocarburantes, aunque esta competencia no se extiende a todos los productos y residuos, y para colme de complicaciones, la competencia, en algunos casos, con la alimentación humana y animal. Es cierto que sólo afecta a determinados productos, pero tiene una especie de efecto dominó que se propaga a todos, aunque esto sea más una apreciación caulitativa que rigurosamente aquilatada.

En España está operativo un Proyecto Singular Estratégico sobre algunos aspectos cruciales de la Biomasa energética, pero probablemente el problema es más hondo, y ni siquiera sería condición suficiente para solucionarlo el tipo de medidas que propone la APPA y la Plataforma Bioplat, recogidas en el cuadro 4. Pero sí son medidas necesarias, suponiendo que no se encuentre ningún criterio de mucho peso para posponer el desarrollo de la Biomasa Eléctrica, para atender antes a la de Calefacción directa y al los Biocarburantes, en todo lo cual tendrían que intervenir decididamente los ministerios citados. Ciertamente la Biomasa Eléctrica tiene la ventaja de su gestionabilidad, y eso le confiere un carácter muy especial entre las renovables. Pero hay poca experiencia práctica en la aplicación de ese principio. Más aún, esa gestionabilidad no se aplica igualmente a una tecnología que otra. Sería fácil en un motor de combustión interna alimentado con biogás; sería más complejo en un Rankine, que no ofrece tanta flexibilidad de parar y arrancar.

En resumen, la Biomasa Eléctrica, y la Biomasa en general, necesitan un cambio estratégico completo en el tratamiento de su problemática. Es posible que la solución de ésta sea muy costosa, y además los ejemplos internacionales, como hemos dicho del francés, no son importables (ni por el tipo de bosques, ni por el modus vivendi). Pero en todo caso, simplemente para intentarlo se requiere una decisión política y una estructuración de actuaciones que implicaría un cambio radical de lo hecho hasta la fecha.



Cuadro 4. Propuestas de la APPA y la plataforma Biplat sobre Biomasa.

2.5. Geotermia con fines eléctricos. Energías marinas

GEOTERMIA CON FINES ELÉCTRICOS

Cabe señalar que en España aún no se ha utilizado ningún recurso geotérmico para la generación de energía eléctrica, y de hecho los sucesivos planes de Energías Renovables no han contemplado esta posibilidad, por carecer nuestro subsuelo de características relevantes a este efecto. Tampoco ha sido muy importante el desarrollo geotérmico español para calentamiento directo, bien doméstico, bien industrial, aunque en este ámbito se anuncia un cambio de estrategia, y el I.D.A.E y varias Comunidades Autónomas han anunciado medidas para incentivar ese uso directo. No obstante, hay que señalar que sólo en las zonas de la corteza terrestre en las que el gradiente térmico sea superior al gradiente medio (3 ºC por cada 100 metros de profundidad) se tendrán recursos geotérmicos que se podrán aprovechar. En estas zonas se alcanzan temperaturas del orden de 200 ºC – 300 ºC a profundidades del orden de 1500 m a 2500 m, mientras que en una zona normal las temperaturas a estas profundidades serían del orden 56,5 a 87,5 ºC, respectivamente. En algunos casos se plantean aplicaciones que no exijan sondeos tan profundos y caros, y se puede citar a este respecto la "Guía Técnica de Sondeos Geotérmicos Superficiales" editada por la Comunidad de Madrid.

Estado actual de la generación eléctrica de origen geotérmico

La electricidad generada a partir de recursos geotérmicos en el 2007 fue del orden de 57 TWh/año, y 76 TWh/año fue la energía geotérmica empleada en usos directos. Son 24 los países que emplean esta energía para producir electricidad; y de estos, países como Costa Rica, El Salvador, Islandia, Kenia y Filipinas cubren entre un 15 y un 22% de sus demandas eléctricas con geotermia. En la siguiente figura se puede ver la distribución de potencia instalada con geotermia.

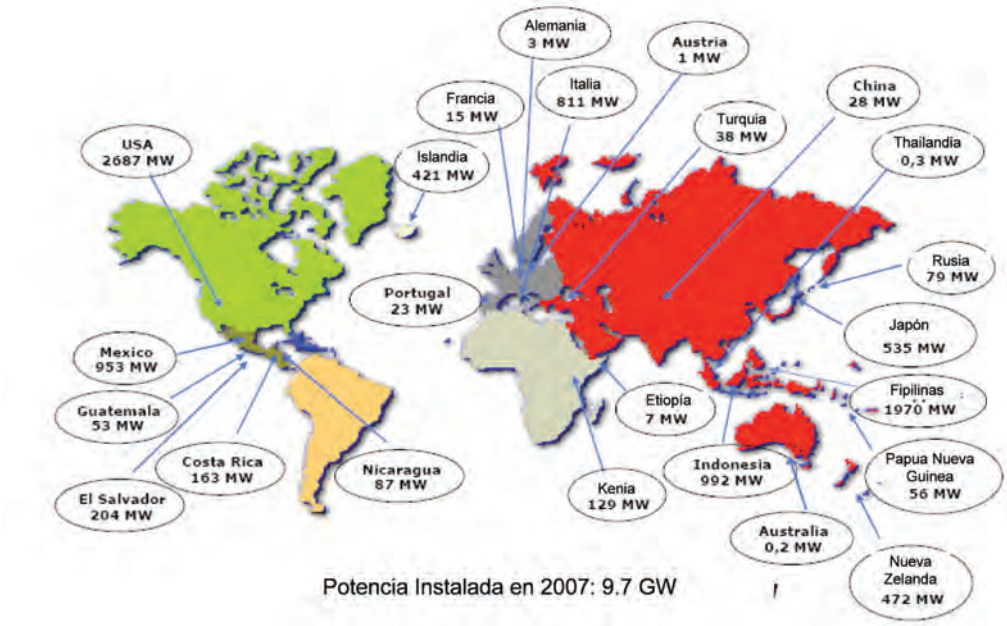


Figura 1: Distribución de potencia geotérmica instalada en 2007.

La potencia instalada en 2007 era del orden de 9,7 GW, siendo Estados Unidos, seguido de Filipinas los países con mayor potencia instalada. El uso eléctrico de la energía geotérmica se ha visto incrementado en un 16 % entre 1999 y 2007. En las figuras 2 y 3, se observa que ha habido un incremento importante a finales de los 70 y principios de los 80, coincidiendo con las crisis del petróleo.

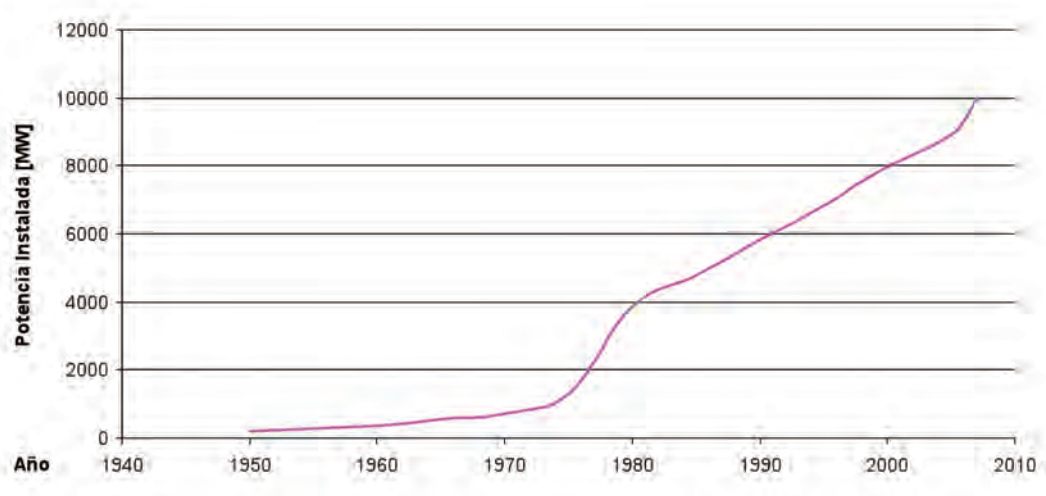


Figura 2: Evolución de la potencia instalada [GW].

Entre el 2005 y el 2007 la potencia instalada se ha vuelto a acelerar, habiéndose instalado 800 MW en este periodo de tiempo.

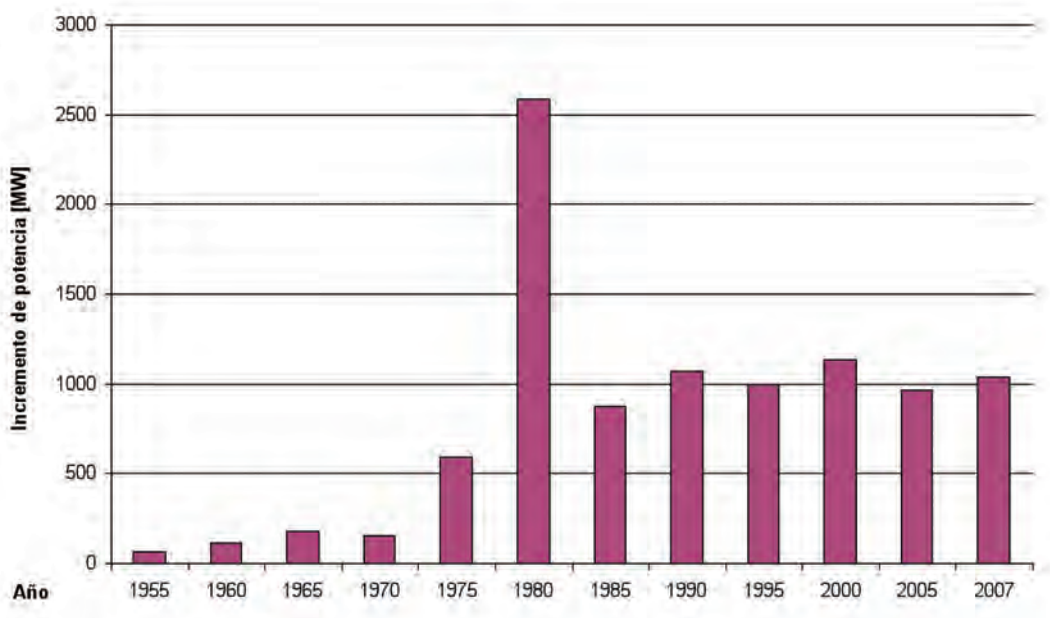


Figura 3: Evolución incremental de la potencia instalada

De los 24 países en los que existen instalaciones geotérmica se puede ver, figura 4, que el crecimiento desde los años 90 hasta la actualidad ha sido bastante desigual, así países como Indonesia, Filipinas o Islandia han tenido un crecimiento muy importante en este periodo de tiempo, mientras que otros, como Estados Unidos ha ralentizado el ritmo de crecimiento

En algunos países la geotermia constituye una fuente muy importante de generación de energía eléctrica, ver siguiente figura, así en Islandia el 27,1 % de la demanda es cubierta con geotermia, o en El Salvador, donde la energía geotérmica cubre un 26% de la demanda.

El aprovechamiento de la geotermia requiere esencialmente de una disponibilidad del recurso natural que es España es absolutamente escaso, si se piensa en la generación de electricidad. Por otro lado, internacionalmente existe tecnología probada en aplicaciones que en algunos casos cuentan con más de 50 años de experiencia, como es el caso de Larderello en Italia, si bien es cierto que en los últimos 20 años esta tecnología ha avanzado mucho, sobre todo en la lucha contra la corrosión producida por los fluidos, a menudo muy agresivos química-

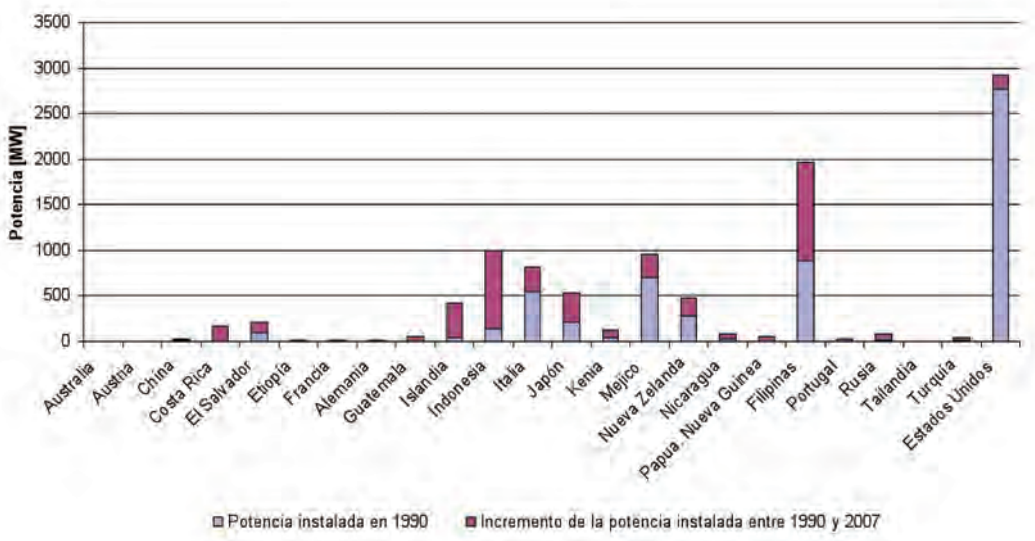


Figura 4: Evolución del crecimiento de la potencia instalada por países.

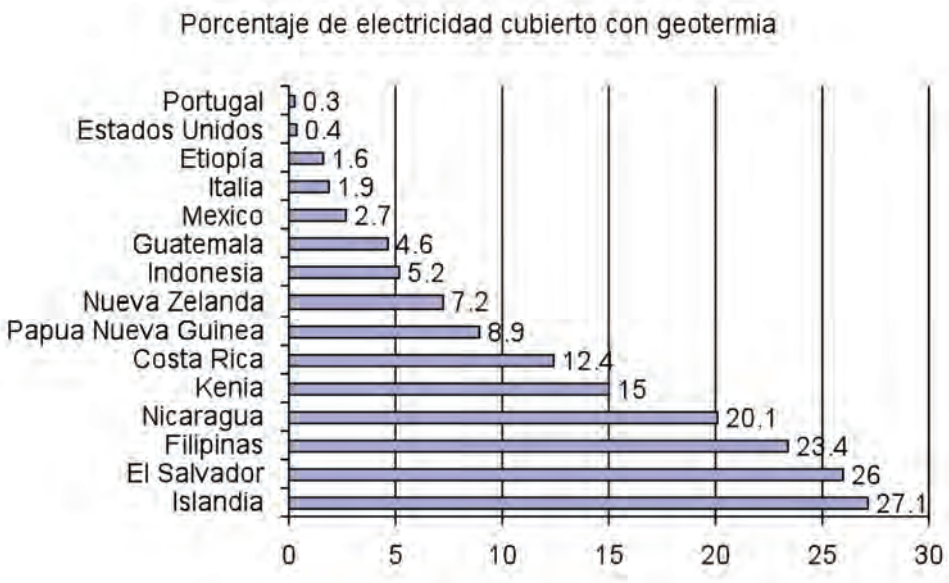


Figura 5: Cobertura de la demanda eléctrica con geotermia en 2007.

mente hablando. Y es de destacar que en países con recursos significativos en este ámbito, generalmente asociado a géiseres y actividad volcánica, la geotermia contribuye en alta proporción a la cobertura de la demanda eléctrica, y más aún al calentamiento residencial e industrial.

En definitiva, se deja aquí constancia de la existencia de esta vía de aprovechamiento energético, señalando su no adecuación relevante al caso español, por lo que no ha sido tenida en cuenta en los diversos Planes de Fomento de Energías Renovables.

ENERGÍAS MARINAS

Son varias las vías posibles de producción de electricidad a partir de energía del mar, pero en España de momento sólo se aprovecha una, y a título experimental y es la **energía de las olas**, utilizada para generar 40 kW de electricidad en una macroboya situada mar afuera del litoral de Santoña.

El potencial del movimiento ondulatorio del mar es muy bien conocido, y está bastante bien tipificado, aunque presente las lógicas variaciones de todo fenómeno natural meteorológico. A pesar del impacto sensorial que la furia del mar produce en los humanos, la energía de las olas en valor medio es relativamente moderada, y para conseguir esa potencia (relativamente humilde) hace falta una boya de unos 12 m de diámetro, con un peso de varias toneladas, y un anclaje al fondo nada simple. Por otra parte sí que hay que reconocer que las galernas y la mar arbolada pueden producir destrozos muy importantes en escolleras, puertos y faros, por lo que hay una probabilidad apreciable de que las boyas y demás dispositivos de conversión marina sufran los efectos de esos temporales. Otro factor inconveniente en las energías marinas es el tema de la corrosión, especialmente acuciado en los componentes móviles y bajo tensión mecánica. En todo caso son riesgos que hay que valorar, para lo cual es esencial el know-how derivado de iniciativas como la boya de Santoña. Cuestión distinta es prever que ese tipo de instalaciones se vaya a multiplicar en nuestro litoral, y por el momento no hay un plan de expansión de las mismas.

Además de la energía ondumotriz, el mar proporciona otras posibilidades como son:

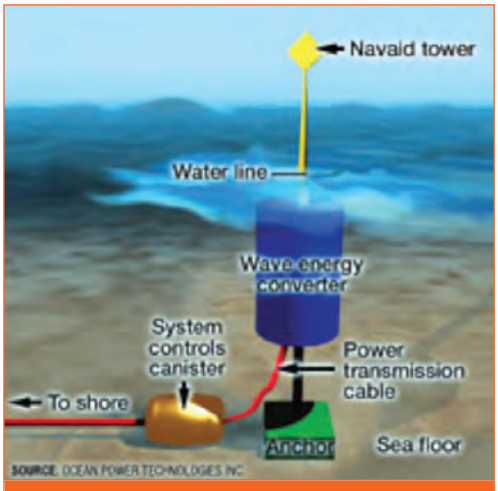
- Mareas
- Corrientes marinas
- Gradientes oceánicos.

De las primeras es especialmente importante la instalación única de La Rance (Francia) en la que desde hace varios decenios se han instalado presas y canali-

zaciones para aprovechar el flujo y el reflujo de mareas de muchísima intensidad (cercanas a los 10 m de desnivel). Aparte de que en España no hay localizaciones con esos coeficientes de marea, lo cierto es que el impacto ambiental producido en la costa es apreciable, y la obre civil a realizar es muy voluminosa.

El caso de las corrientes puede proporcionar en España escenarios mucho más favorables, particularmente en zonas medianamente próximas al estrecho de Gibraltar, pero no hay aún dispositivos experimentales que hayan comenzado a adquirir expertise tecnológico en esta área. Téngase en cuenta que el caso de las corrientes es semejante a la eólica, con obvias diferencias de densidad (y sobre todo, de otros efectos, como la corrosión). Una corriente de 1 m/s, relativamente frecuentes y persistentes en zonas como las antedichas, es prácticamente equivalente a una velocidad del viento de casi 10 m/s. Por descontado, el tipo de hélice y la velocidad de giro se tendría que escoger mediante el adecuado proceso de optimización de diseño, y su chequeo práctico, como ocurrió con la eólica.

Por último, los gradientes térmicos verticales ofrecen una oportunidad, más teórica que real, de hacer funcionar un ciclo de Rankine (no con agua/vapor; sino con algún fluido orgánico, como el butano) usando la superficie del mar como foco caliente, y la parte del fondo como foco frío. Pero ni en los sitios de mucha insolación, y ni siquiera en verano, se llegan a tener diferencias de temperaturas sensiblemente superiores a 10ºC, y nunca por encima de 20, por lo que los rendimientos son diminutos.



Esquema de una boya-generador de electricidad.

En resumen, las energías marinas no parece que vayan a jugar un papel a contabilizar en estos próximos decenios que son el horizonte de este Informe. A más largo plazo las olas y las corrientes marinas podrían hacer alguna contribución, pero hay que acopiar un buen número de años de funcionamiento de algunas estaciones experimentales para entender bien el funcionamiento de estos dispositivos en un medio tan hostil como es el agua marina. Por descontado, es enorme la experiencia en barcos en cuanto a resistencia a la corrosión, etc, pero estas aplicaciones no son embarcaciones, sino que han de soportar la acción mecánica del mar con una resistencia que se exige a los elementos libremente flotantes.

2.6. Integración de las Energías Renovables en el sistema eléctrico

Durante la última década (años 2000 en adelante) se ha producido un importante crecimiento en la utilización de energías renovables. Este crecimiento viene motivado por importantes paradigmas tales como el desarrollo medioambientalmente sostenible, la seguridad de suministro energético, y la diversificación de fuentes de energía, que se están materializando progresivamente en las sociedades occidentales. Sin embargo, esta apuesta por las renovables no está exenta de problemas, tanto técnicos como económicos, en unos casos relativos a las renovables en sí; y en otros casos que afecta a su integración en el sistema eléctrico. De hecho, la falta de gestionabilidad de las renovables, que es la raíz fundamental de ese problema, impidió durante un siglo aproximadamente el despliegue apreciable de estas fuentes. De hecho, a finales del siglo XIX, en Escocia y otros países, se montaron los primeros "molinos-fábricas del luz", pero su falta de gestionabilidad directa, y la imposibilidad de un almacenamiento energético de eficacia y rentabilidad, relegaron a todas las renovables directas, menos la hidráulica, al ostracismo durante decenios. La biomasa, que sí aporta gestionabilidad al basarse en un combustible almacenable, no pudo jamás competir con los combustibles fósiles, y aún hoy día tiene problemas de rentabilidad (subvencionada) y tecnología, a pesar de que los precios de la termia fósil habían subido considerablemente.

Eso lleva a considerar la "Integración de la renovables en la red" como un problema específico, que podemos calificar de sectorial, dentro de este ámbito. Aunque en el anexo se exponen más detalladamente los aspectos técnicos de este importante y limitativo problema, es preciso avanzar aquí los hechos relevantes y un esbozo de cómo superar las limitaciones encontradas. En todo caso, cabe señalar, de entre esos hechos, dos que no son factores limitativos, sino resultados del esfuerzo integrador: En le primavera de 2010, ya habido días en los que la eólica ha suministrado el 40 % de la demanda de energía eléctrica. Y en el verano precedente, hubo muchos días en los que la fotovoltaica suministró casi el 4 % de la demanda. Pero todo ello no habría sido posible sin dos cuestiones esenciales:

- La potencia de respaldo ofrecida por las centrales de gas (ciclos combinados) que han soportado los vaivenes de producción de la eólica y la PV.
- El esfuerzo realizado por el operador del sistema (Red Eléctrica de España) en instalaciones y procedimientos, incluyendo simulaciones anticipatorias de fallos en los sistemas más vulnerables a las oscilaciones de las renovables, para reaccionar en tiempos tan cortos como la red exige. En esto se incluye un "dispatching" de renovables específico, aunque integrado en el "dispatching" general de la red, que tiene resueltos los problemas (al menos, los más probables e identificables) antes de que aparezcan.

Sin estos dos esfuerzos, de inversión en ciclos combinados y en "inteligencia" de control de la red, hubiera sido imposible el despliegue habido. Ahora bien, al plantear el futuro de la integración de las energías renovables en los sistemas eléctricos de potencia en general, y en el nuestro en particular, es necesario tener en cuenta las siguientes características:

a) Estabilidad ante transitorios:

   Las tecnologías renovables tienen que ser capaces de tener un comportamiento aceptable ante transitorios eléctricos. Existen tecnologías de generación renovables, concretamente la energía eólica, cuyas máquinas eléctricas tienen un comportamiento diferente al comportamiento de las grandes máquinas del sistema.

   Para la integración de estas tecnologías de generación en el actual sistema eléctrico, es inevitable la utilización en mayor medida de dispositivos de electrónica de potencia que sean capaces de corregir y mejorar los factores de calidad de la energía eléctrica generada. Esto será particularmente cierto con la generación fotovoltaica.

   La dificultad de estas tecnologías es que irán exigiendo un equilibrio con máquinas convencionales, por lo que se tendrán que ir desarrollando en igual medida las tecnologías renovables que utilicen máquinas síncronas, como centrales de Biomasa, Geotérmicas y Solares Térmicas.

b) Estabilidad a largo plazo:

   En la estabilidad a largo plazo, se hace necesario establecer las unidades que servirán de potencia rodante ante las variaciones diarias en el recurso de las energías renovables.

Teóricamente esto es posible con Centrales de Biomasa y Centrales Geotérmicas, pero éstas están muy alejadas de un despliegue comercial real. Eso quiere decir que durante decenios seguirá siendo imprescindible la regulación con Centrales de Carbón y de Ciclo combinado.

Pero sobre todo, en esta parte jugará un papel importante las tecnologías de almacenamiento de energía. Este es un desafío de dimensiones enormes, que puede transformar la gestión de oferta y demanda del sistema eléctrico. Ya hay identificadas diversas opciones, desde las más clásicas, como el bombeo hidráulico, a las más avanzadas, como pueden ser las de super conducción o las electroquímicas, sin olvidar el aire comprimido.

c) Cobertura de la demanda:

Si se desea realizar la cobertura de la demanda mediante tecnologías renovables, conviene tener en cuenta que es necesario garantizar en todo momento la cobertura de la potencia demanda. Hay que identificar como suplir los momentos de decaimiento de las renovables, por ejemplo, con almacenamiento de energía, ya nombrado.

Se puede tomar como ejemplo el caso de la siguiente figura, en la que se ve la producción de energía eólica en nuestro país, en una determinada secuencia de horas/días, y a lo que se superpone un almacenamiento que produciría una variación lineal, muy suave y aceptable para el sistema.

En la figura de la página siguiente se observa perfectamente en la curva roja el método de almacenamiento, que cada cuatro horas se mantiene de forma constante. El gráfico inferior corresponde a la potencia puesta en juego para mantener la salida eólica con esa forma.

Es muy significativo que sobre 6000 MW eólicos, tan solo sean necesarios 200 MW cedidos al sistema desde el sistema de almacenamiento.

De esta forma, tan solo se debería definir el porcentaje que se desea cubrir con métodos de almacenamiento, o si bien, pasado un límite de funcionamiento pueden entrar los sistemas convencionales de regulación secundaria y terciaria para cubrir las variaciones.

En cuanto a la participación de la energía termosolar, es importante considerar que si se desea incrementar la participación de estas tecnologías en la cobertura de la demanda, será relativamente sencillo incrementar por un lado el nivel de predicciones en el recurso solar. Por otro lado es importante, que a medida que se vaya incrementando su participación, estas tecnolo-

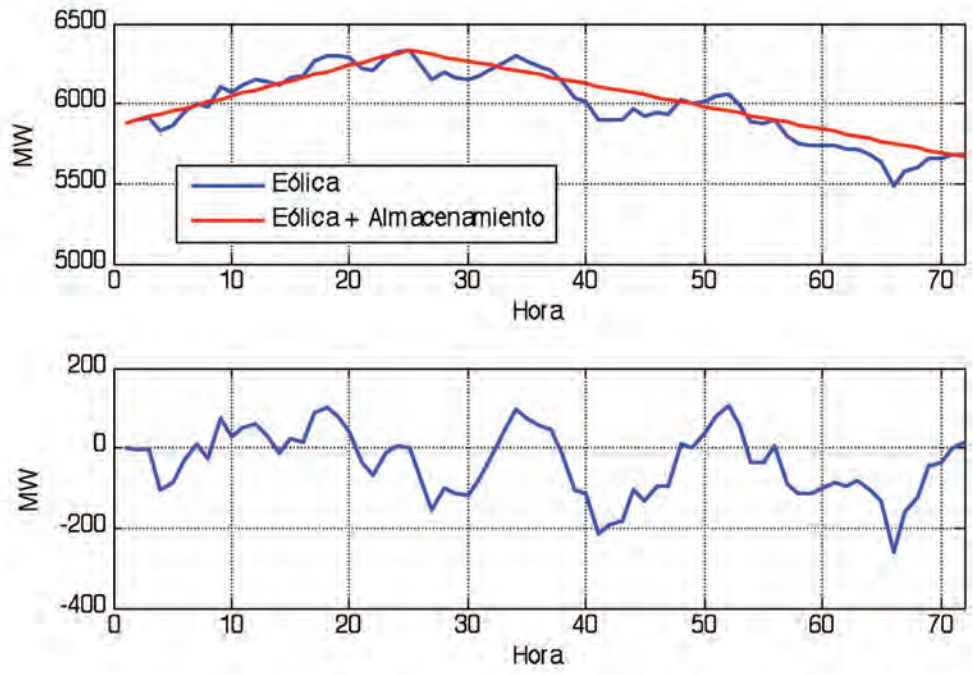


Figura 1. Generación eólica con y sin almacenamiento.

gías cuenten con un dimensionamiento del sistema de almacenamiento térmico, que permita el funcionamiento constante de la central durante al menos toda la noche en situación de mínimo técnico.

En cuanto a la energía fotovoltaica, su desarrollo debe estar ligado a la utilización de sistemas de almacenamiento que permitan disminuir los desvíos generados.

Adicionalmente y a la hora de tener en cuenta la integración de las energías renovables, se debe garantizar en todo momento que se dispondrá de la energía necesaria para cubrir el máximo de generación. Para ello será necesario utilizar siempre TODOS los tipos de energías disponibles, sin desaprovechar ninguna de ellas, carbón, gas, nuclear y renovables.

d) Coordinación Termosolar vs Eólica:

Es patente que en cuanto a recurso se refiere, el recurso eólico y el recurso solar se complementan considerablemente, aunque esta sinergia diaria y estacional requiere un estudio más detallado, pues no podemos conformarnos en la técnica con ideas cualitativas, sino que se han de cuantificar ade-

cuadamente, y se les ha de asignar unas incertidumbres. En todo caso, es cierto que durante los meses de verano existe mayor recurso solar y menor recurso eólico y durante el invierno pasa al contrario, complementándose ambas tecnologías de forma importante. En el día a día, la mayor producción eólica se produce durante las horas de la noche que es cuando no hay energía solar, mientras que durante las horas de la mañana la energía eólica disminuye aumentando la energía solar.

Así pues, existe un importante grado de complementariedad entre las tecnologías solar y eólica. Tanto que a medida que se incremente su participación en el sistema eléctrico se deberá plantear una coordinación eólica – termosolar gestionable (con almacenamiento).

En todo caso, todas estas alternativas aquí apenas esbozadas, son muestra de la complejidad y riqueza de posibilidades que acompaña al sistema eléctrico en el futuro, en su camino hacia una estructura más sostenible.

e) Coche eléctrico:

La aportación del vehículo eléctrico al incremento de la demanda es interesante desde el punto de vista de independencia energética del sector transporte, así como del incremento del valle de la curva de carga diaria y así poder integrar mayor cantidad de energías renovables aumentando sus horas de operación.

Si bien, una de las grandes ventajas que también puede incorporar el vehículo eléctrico es la utilización de su batería eléctrica como sistema de almacenamiento, lo cual permitiría integrar mucho más efectivamente las energías renovables no gestionables, tal como se ha comentado en el párrafo c).

Esta aportación es la que realmente permitiría una mayor integración de las renovables. Si bien, para que sea posible, el usuario del vehículo debería permitir que el sistema eléctrico utilizara su batería como almacén. Esta hipótesis parece bastante improbable, ya que ningún usuario querrá "vaciar su depósito de energía", ya que puede que luego la necesite. Así la única solución es que en el desarrollo del vehículo eléctrico, se desarrolle paralelamente las estaciones de recambio de baterías, de forma que el usuario entre en la estación y le cambien su batería por otra cargada y la estación de servicio se queda con la batería descargada para cargarlas posteriormente. Estas estaciones de servicio, y mediante la aplicación de las redes eléctricas inteligentes, cargarán o descargarán su stock de baterías según vayan recibiendo las señales oportunas procedentes de la gestión del sistema. No obs-

tante, esta situación requeriría un cambio radical de gestión de la propiedad de los equipos, pues las baterías no serían de un individuo en particular, sino del conjunto de usuarios del sistema, que son quiénes en su totalidad poseerían el conjunto de baterías intercambiables.

f) Redes eléctricas inteligentes:

El desarrollo de las redes eléctricas inteligentes, introducirá una ventaja muy importante al sistema eléctrica, LA GESTIÓN DE LA DEMANDA. Esta gestión se podrá realizar gracias a la utilización de las TIC's y con ellas se obtendrán importantes beneficios, permitiendo gestionar correctamente la demanda eléctrica haciendo que encaje lo máximo posible con la generación actual.

No se debe olvidar que gracias a la incorporación de las TIC's a las redes eléctricas, se conseguirá incorporar en mayor medida generación eléctrica distribuida, que actualmente es invisible para el operador del sistema.

g) Para concluir:

Finalmente se pude decir que no es posible considerar seriamente la integración de energías renovables, tomando como respaldo o potencia rodante únicamente las energías convencionales disponibles, ya que esta solución incurre en unos costes de inversión y de operación que serán inaceptables.

Así, para integrar mayor cantidad de energías renovables, es necesario desarrollar en mayor medida todos los almacenamientos energéticos posibles, desde el bombeo hidráulico hasta el coche eléctrico; y se habrá de gestionar, de forma inteligente, tanto la demanda como la generación mediante la aplicación de TIC's a los sistemas eléctricos de potencia.