

ENERGÍA: LAS TECNOLOGÍAS DEL FUTURO



BIBLIOTECA
DE LA ENERGÍA



CLUB ESPAÑOL
DE LA ENERGÍA

ENERCLUB
INSTITUTO ESPAÑOL DE LA ENERGÍA



Edición patrocinada por:



© Por la edición junio 2008 y sucesivas, CLUB ESPAÑOL DE LA ENERGÍA

Diseño y diagramación: CYAN, Proyectos y Producciones Editoriales, S.A.

Producción gráfica e impresión: CYAN, Proyectos y Producciones Editoriales, S.A.

Depósito Legal: M-00000-2008

ISBN: 978-84-612-4380-8

El Club Español de la Energía no asume responsabilidad alguna sobre las posibles consecuencias que se deriven para las personas naturales o jurídicas que actúen o dejen de actuar de determinada forma como resultado de la información contenida en esta publicación, siendo recomendable la obtención de ayuda profesional específica sobre sus contenidos antes de realizar u omitir cualquier actuación.

El Club Español de la Energía, respetuoso con la libertad intelectual de sus colaboradores, reproduce los originales que se le entregan, pero no se identifica con las ideas y opiniones que en ellos se exponen y, consecuentemente, no asume responsabilidad alguna en este sentido.

Quedan reservados todos los derechos. No está permitida la explotación de ningunas de las obras que integran la "Biblioteca de la Energía" sin la preceptiva autorización de sus titulares; en particular no está permitida la reproducción, distribución, comunicación pública o transformación, en todo o en parte, en cualquier tipo de soporte o empleando cualquier medio o modalidad de comunicación o explotación, sin el permiso previo y por escrito de sus titulares.

El Club Español de la Energía, en su afán por ofrecer la mayor calidad y excelencia en sus publicaciones, muestra una total disposición a recibir las sugerencias que los lectores puedan hacer llegar por correo electrónico: publicaciones@enerclub.es

Edita y distribuye:

Club Español de la Energía
Instituto Español de la Energía
Pº de la Castellana, 257 - 8ª Planta
28046 Madrid
Tel.: 91 323 72 21
Fax: 91 323 03 89

www.enerclub.es
publicaciones@enerclub.es

ENERGÍA: LAS TECNOLOGÍAS DEL FUTURO



Índice

Introducción	13
Juan Antonio Rubio <i>Director General CIEMAT</i>	
Presentación	31
José Alejandro Pina Barrio <i>Presidente ENRESA</i>	
Prólogo. Carbón con futuro.....	33
José Ángel Azuara Solís <i>Director Ciudad de la Energía</i>	
Capítulo 1. Marco energético	35
José Luis Díaz Fernández <i>Ex Presidente de Empetrol, Campsa y Repsol Petróleo</i> <i>Catedrático Emérito UPM</i>	
Capítulo 2. La política de innovación en la Unión Europea.....	65
Pablo Fernández Ruiz <i>Ex Director de Investigación en el Área de la Energía</i> <i>Comisión Europea</i>	
Capítulo 3. Estado del arte tecnológico y su evolución.....	77
Coordinadora: Ana Morato Murillo <i>Directora Técnica, Fundación OPTI</i>	

Petróleo	79
<i>Valentín Ruiz Santa Quiteria</i>	
<i>Consultor Senior de investigación</i>	
<i>José Guitián</i>	
<i>Consultor Senior de Investigación</i>	
<i>Reinaldo Angulo</i>	
<i>Científico Investigador Senior, Dirección de Tecnología de Repsol YPF</i>	
Gas natural	103
<i>Juan Puertas Agudo</i>	
<i>Director de Ingeniería y Tecnología, Gas Natural SDG</i>	
Carbón	115
<i>Eloy Álvarez Pelegry</i>	
<i>Director de Calidad, Medio Ambiente e I+D, Unión Fenosa</i>	
CO ₂	143
<i>Vicente Cortés Galeano</i>	
<i>Benito Navarrete Rubia</i>	
<i>Fundación Ciudad de la Energía, CIUDEN</i>	
Nuclear.....	169
<i>Enrique González Romero</i>	
<i>Director de la División de Fisión Nuclear, CIEMAT</i>	
Energía eólica.....	185
<i>Enrique Soria Lascorz</i>	
<i>División de Energías Renovables, CIEMAT</i>	
Energías renovables.....	199
<i>Fernando Sánchez Sudón</i>	
<i>Director Técnico, CENER</i>	
Biocarburantes	217
<i>Antonio Vallespir de Gregorio</i>	
<i>Vicepresidente Ejecutivo y Director General de Operaciones,</i>	
<i>ABENGOA BIOENERGÍA</i>	

<p>Eficiencia energética en la edificación 227</p> <p>María del Rosario Heras Celemín</p> <p><i>Responsable de Proyecto, CIEMAT</i></p>	227
<p>Eficiencia energética en el consumo 249</p> <p>José Javier Guerra Román</p> <p><i>Director de la Unidad de Eficiencia Energética,</i></p> <p><i>Unión Fenosa Comercial</i></p>	249
<p>Eficiencia energética en la industria..... 283</p> <p>Antonio López Rodríguez</p> <p><i>Consultor de Investigación, Dirección de Tecnología de Repsol YPF</i></p>	283
<p>Eficiencia energética en el transporte.</p> <p>La visión medioambiental..... 291</p> <p>Francisco Tinaut Fluixá</p> <p><i>Director del Área de Energía y Medio Ambiente, Fundación CIDAUT</i></p>	291
<p>Las nuevas tecnologías del automóvil y la eficiencia energética..... 315</p> <p>Francisco Aparicio Izquierdo</p> <p><i>Director Instituto Universitario de Investigación del Automóvil</i></p>	315
<p>Los nuevos carburantes del siglo XXI 333</p> <p>Jaime Gutiérrez Serna</p> <p><i>Consultor de Investigación, Dirección de Tecnología de Repsol YPF</i></p>	333
<p>Transporte y distribución de electricidad..... 341</p> <p>José Luis Mata Vigil-Escalera</p> <p><i>Jefe del Departamento de I+D+i y Proyectos Europeos,</i></p> <p><i>Red Eléctrica de España</i></p>	341
<p>Distribución de electricidad..... 365</p> <p>José Carlos Serrano Rodríguez</p> <p><i>Director de Proyectos de Telecontrol y Coordinación de I+D+i</i></p> <p><i>Endesa Red</i></p>	365
<p>Almacenamiento de energía..... 399</p> <p>José Luis Mata Vigil-Escalera</p> <p><i>Jefe del Departamento de I+D+i y Proyectos Europeos,</i></p> <p><i>Red Eléctrica de España</i></p>	399

Capítulo 4. Nuevos portadores: el hidrógeno, un vector energético	419
Íñigo Sabater Eizaguirre	
<i>Dirección General de Energía y Transporte, Comisión Europea</i>	
Capítulo 5. La geoestrategia del I+D en el ámbito mundial, europeo y español.....	429
José Arrojo de Lamo	
<i>Director de Tecnología e Innovación, ENDESA</i>	
Capítulo 6. Mapa tecnológico	469
Juan Antonio Cabrera	
<i>Prospectiva y Vigilancia Tecnológica, CIEMAT, Fundación OPTI</i>	
Ana Morato	
<i>Directora Técnica, Fundación OPTI</i>	
Capítulo 7. La innovación tecnológica y la aceptación social....	499
Juan Ormazábal Jordana	
<i>Director General, CENER</i>	
Capítulo 8. El reto educativo en materia energética.....	507
José María Martínez-Val Peñalosa	
<i>Catedrático de Termotecnia, ETSII-UPM</i>	
<i>Presidente del Comité Científico y Técnico de EURATOM</i>	
<i>Director, Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial</i>	
Epílogo. Una visión empresarial del futuro tecnológico: electricidad, gas, petróleo... ..	527
Una visión empresarial del futuro tecnológico de la energía.....	529
Alfredo Barrios Prieto	
<i>Presidente, BP OIL España</i>	
El reto del desarrollo sostenible.....	537
Felipe Benjumea Llorente	
<i>Presidente, Abengoa</i>	
Tecnologías en la industria del petróleo y gas: el desafío actual.....	545
Antonio Brufau Niubó	
<i>Presidente Ejecutivo, Repsol YPF</i>	

Hacia un nuevo modelo energético	551
José Manuel Entrecanales Domecq <i>Presidente de Grupo Acciona y Presidente de Endesa</i>	
Tecnología y sostenibilidad energética.....	559
Salvador Gabarró Serra <i>Presidente, Gas Natural SDG</i>	
Una visión empresarial del futuro tecnológico en la energía.....	565
Pedro López Jiménez <i>Presidente, Unión Fenosa</i>	
Las renovables, energías del futuro	573
Ignacio S. Galán <i>Presidente Ejecutivo, Iberdrola</i>	
Autores.....	579

Introducción

Nos encontramos en una encrucijada energética. El voraz consumo de energía es difícil de frenar; las desigualdades entre países son alarmantes, y las actuales fuentes masivas de energía tienen, en su mayoría, recursos limitados y repercusiones ambientales indeseables. En este contexto sólo actuaciones que incorporen políticas energéticas audaces y un decidido impulso público y privado de la I+D+i en este ámbito nos permitirá abordar con éxito el cambio de modelo energético y preparar un porvenir sostenible para las generaciones venideras. El momento es crítico pero los mimbres para poder superarlo existen. Es de desear que logremos entretejerlos en un cesto que sirva de marco estable en beneficio del futuro de todos.

Las políticas energéticas habrán de dar respuesta tanto al aumento de la demanda asociada al desarrollo económico como a la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otras consecuencias que inquietan a la sociedad. Para ello, conviene diversificar las fuentes de energía, fortalecer el correcto funcionamiento de los mercados internacionales y, sin duda, desarrollar las tecnologías adecuadas. En este marco, la I+D+i constituye una herramienta fundamental. A continuación se esbozará el escenario energético actual, con unas pinceladas sobre las tecnologías existentes y su posible evolución. Las contribuciones presentadas en este libro completarán estas pinceladas para constituir un cuadro completo de la situación actual y las perspectivas energéticas a corto, medio y largo plazo.

El escenario energético. Horizonte 2030

Los escenarios elaborados por las distintas agencias internacionales coinciden al señalar un aumento de la demanda mundial de energía primaria¹ entre 2004 y 2030, cifrado en un 57%. Según el *IEO 2007*, durante este mismo periodo se incrementará en un 85% el consumo de electricidad, dos tercios de la cual se generarán a partir de combustibles fósiles, carbón y gas, principalmente. El mayor aumento se producirá en países no pertenecientes a la OCDE, especialmente en las denominadas economías emergentes, como India o China.

Las previsiones indican que para 2030 los combustibles fósiles basados en el carbono (petróleo, gas y carbón) seguirán siendo indispensables. Sin embargo, aunque existen discrepancias sobre las reservas disponibles, se estima que éstas satisfarán los consumos esperados, lo que no impedirá, muy probablemente, que en el mercado energético surjan disfunciones vinculadas con el acceso a los recursos, el transporte y las infraestructuras como consecuencia de tensiones geopolíticas. Hasta entonces tenemos poco más de dos décadas de plazo para desarrollar otras fuentes alternativas que sean sostenibles, más respetuosas con el medio ambiente y que puedan sustituir progresivamente a las anteriores para abastecer la demanda.

Ciertamente, existen previsiones para fechas posteriores a 2030, pero, por su mayor imprecisión y por constituir una extrapolación de las tendencias tecnológicas que por entonces hayan madurado o progresado significativamente de entre las que a continuación se presentan, apenas modifican la esencia de esta introducción. No obstante, sí conviene recordar que para 2020 ya existen compromisos europeos que condicionan las políticas energéticas de España y la I+D+i asociada. Europa ha acordado reducir globalmente sus emisiones en un 20% respecto de las correspondientes a 1992, mediante: 1) el mantenimiento de la fracción nuclear en la generación eléctrica; 2) el incremento de la aportación de las energías renovables hasta un 20%, en particular aumentando el uso de biocarburantes en el transporte hasta un 10%, y 3) el incremento del ahorro energético, disminuyendo el consumo un 20% respecto del que se realizaría dejando evolucionar la situación actual. Estos acuerdos, con los que España está comprometida en el marco europeo, también condicionan el contenido de las páginas siguientes del libro.

¹ *International Energy Outlook 2007*, publicado por la Energy Information Administration de Estados Unidos.

La energía: un diablo necesario

A continuación se presentan algunos datos que caracterizan la situación energética actual, que hemos denominado “encrucijada”:

- Desde la era industrial el consumo se ha centuplicado y crece alrededor del 2,3% anual.
- El consumo promedio *per cápita* es de 0,2 GJ/día (que multiplica por un factor de 16 la energía consumida por persona en la alimentación, que es de unas 3.000 kcal/día), lo que equivale a una potencia de 2,3 kW/persona.
- Los números anteriores se quintuplican cuando nos referimos a países desarrollados, en los que el consumo por habitante supera unas 80 veces las necesidades alimenticias (equivalente aproximadamente a 10 toneladas de carbón por persona y año), necesidades en absoluto cubiertas para cerca de un tercio de los habitantes de nuestro planeta, cuyo número, según se prevé, crecerá desde los 6.500 millones, en la actualidad, hasta los 8.700 millones en el año 2050, principalmente en los países en vías de desarrollo. Extrapolando del pasado próximo cabe afirmar que el crecimiento del consumo energético asociado no depende linealmente del número de habitantes, sino, más bien, cuadráticamente.
- Las desigualdades entre países son alarmantes y sólo en algunos casos tienen tendencia a mejorar. Citaremos ejemplos: Suecia consume unas 150 veces más electricidad por habitante que Tanzania y España 100 veces más que Haití. En Estados Unidos se consumen 25 barriles de petróleo por persona y año, en la Unión Europea 12, mientras que en las economías emergentes como China y la India, a pesar de ser consideradas emergentes, se consumen únicamente 2 y 1, respectivamente. Las cifras indican el abismo que existe entre el consumo energético que se considera indispensable para el bienestar dependiendo del lugar del planeta donde se nace.
- La potencia necesaria para satisfacer el consumo mundial es muy elevada, del orden de 12 TW, lo que supone aproximadamente el 70% de la producida por el interior de la Tierra, y el triple de la debida al oleaje, consecuencia de la acción combinada del Sol y la Luna. Semejantes cifras indican la magnitud planetaria del problema.
- Actualmente las fuentes masivas están constituidas por combustibles fósiles: unas basadas en el carbono, que suministran el 80% del consumo energético (23% el carbón, 21% el gas y 36% el petróleo), y otras en la energía que libera la fisión de ciertos núcleos pesados (fundamentalmente uranio), que abastece el 7% de las

necesidades energéticas. En uno y otro caso existe un rechazo de la población, sobre todo, y como es imaginable, en los países en los que se vive en la abundancia. En el primero de los casos su índole fósil implica que las reservas terrestres están limitadas. Se estima una duración de 250, 60 y 50 años para el carbón, gas y petróleo, respectivamente. En el segundo de los casos es un recurso mineral y las reservas se estiman en 50 años para el uranio² si su utilización se lleva a cabo con la tecnología actual de fisión, de ciclo abierto.

- En el caso de los combustibles gas y petróleo las reservas están concentradas en zonas geográficas política y económicamente frágiles, sin tradición democrática, lo que crea una situación de inestabilidad en precios y acceso a las vías de suministro. En el caso de la Unión Europea, el 45% del petróleo proviene de países del Oriente Medio: Arabia Saudita, Irak, Emiratos, Kuwait e Irán, donde se acumulan el 50% de las reservas mundiales. Respecto al gas utilizado, el 40% procede de Rusia, 30% de Argelia y 25% de Noruega, yacimiento este último en vías de agotarse. En el 2030 más del 60% del gas que consumirán los países europeos será de origen ruso, lo que supondrá una dependencia energética global del 80%.

El rechazo social a las actuales fuentes masivas de energía tiene origen en causas diferentes. En el caso de los combustibles fósiles basados en el carbono es debido al ya aceptado origen antropogénico del calentamiento global de la tierra, del orden de 0,7°C durante el pasado siglo, aunque no todo él se haya debido a emisiones de gases de efecto invernadero y cuyo principal responsable, aunque no único, es el CO₂ (su contribución se estima en un 75%). Actualmente existen en la atmósfera 2,75 billones de toneladas de CO₂, lo que representa una concentración cercana a 380 ppmv (partes por millón en volumen), y se emiten anualmente cerca de 25.000 millones de toneladas más (poco menos del 1% del existente). Como el océano y los seres fotosintéticos apenas son capaces de absorber la mitad, por disolución o metabolización, la concentración anual de CO₂ crece casi unas 2 ppmv (1 ppmv de CO₂ en la

² Por su inevitable incertidumbre, las estimaciones son siempre indicativas. En tal sentido, no es infrecuente que se descubran nuevas reservas o que se mejoren las tecnologías de extracción. No obstante, las características de unas y otras suelen ser tales que el coste de la explotación de la fuente como combustible aumenta y puede llegar a ser energéticamente prohibitivo. Por ejemplo, en los años 60 del pasado siglo la extracción del petróleo requería el 2% de la energía que posteriormente generaba. En la actualidad ya requiere el 10%.

atmósfera equivalente, poco más o menos, a 7.500 millones de toneladas de este gas). El proceso de calentamiento está en marcha irreversible y, salvo que se actúe con rapidez y rigor, se hará, además, incontrolable. En el caso de la energía nuclear la principal causa de rechazo es la existencia de residuos de larga vida y alta toxicidad, quizás también, pero en menor medida, la seguridad y, en algunos casos, el riesgo de proliferación. Con relación a la primera de las causas mencionaremos que existen en el mundo 300.000 toneladas de combustible irradiado y se generan unas 11.000 toneladas más cada año, provenientes de las 435 centrales nucleares existentes en el mundo (196 en Europa), que proporcionan el 16% (31%) de la electricidad consumida. Conviene adelantar que ya se han tomado, y se siguen tomando, medidas para corregir las tres causas mencionadas.

En este contexto la energía es un diablo no sólo necesario sino inexcusable. ¿Cómo se puede promover el desarrollo, particularmente en los países desfavorecidos, sin mayor consumo? ¿Cómo se puede sustituir las actuales fuentes masivas de energía o su modo de utilización para evitar las causas de su rechazo social? ¿Cómo se puede lograr un abastecimiento sostenible, de forma que su generación en el presente no comprometa oportunidades para las generaciones futuras? ¿Cómo es posible modificar el comportamiento individual y colectivo, de forma que los ciudadanos sean conscientes de que la energía es un bien escaso y que la sostenibilidad es un deber inexcusable? Quizás haciendo lo que no se ha hecho todavía o mejorando considerablemente lo que se hace mediante: unas políticas energéticas audaces, una información a la sociedad clara, intensa, amplia y rigurosa y un decidido impulso de la I+D+i en energía. Estas acciones han de ser globalmente compartidas, también en su orden de prelación. Por ejemplo, la prioridad de los ciudadanos de los países más desfavorecidos es y será, como es comprensible, salir de su actual estado de miseria, lo que requiere que dispongan de medios para ello y esto ha de ser compartido por los de países desarrollados.

Presentaremos algunas cifras, sólo indicativas, que pueden servir de guía para estimar qué recursos alternativos pueden transformarse en masivos y cuales no, aunque también sean necesarios, antes de adentrarnos en consideraciones sobre el estado actual y las perspectivas de cada una de las tecnologías energéticas disponibles o potenciales.

La superficie cultivada del planeta es de unos 10 millones de km², aproximadamente la misma que se necesitaría para generar la energía que consumimos si el recurso fuese exclusivamente la biomasa; cerca del triple de la que se requeriría si el recurso sólo fuera eólica, siempre en lugares favorecidos por el viento, aproximadamente decuplica la que se demandaría si el recurso fuese de origen solar, en cualquiera de sus

versiones, y cerca del céntuplo, con pequeñas diferencias entre sí, cuando la fuente fuese combustible basado en el carbono o nuclear. Las cifras son sólo indicativas y, en absoluto deben suponer el abandono de oportunidad alguna porque, en el actual contexto, hay que aprovechar todas y cada una de las potenciales fuentes de energía.

Las tecnologías

En cada capítulo de los que componen este libro se señala la necesidad de un sistema energético más eficiente que, además, incluya fuentes de energía más respetuosas con el medio ambiente y, en consecuencia, más sostenibles, lo cual sólo será alcanzable mediante el desarrollo y optimización de tecnologías, de forma que la fuente energética correspondiente sea capaz de competir en el mercado. Los textos sugieren acciones múltiples que comprenden, desde la fase de extracción de recursos primarios hasta los servicios energéticos solicitados por el consumidor para mejorar su bienestar. Entre ambas aparecen la generación, el transporte y el uso de vectores energéticos, como la electricidad, el calor, los biocarburantes o el hidrógeno, que son los que permiten la utilización final de la energía.

Son numerosos los campos de la I+D+i en los que conviene hacer un esfuerzo para lograr los objetivos antes mencionados. Algunos tienen una repercusión a corto plazo, contribuyendo con ello a satisfacer la demanda energética inmediata, pero disminuyendo sus efectos ambientales adversos y dentro del marco obligado por una economía competitiva liberalizada. Durante el periodo transitorio, de poco más de una década, hay que desarrollar nuevas tecnologías o mejorar las existentes utilizando conceptos, en muchos casos, novedosos. En esta fase, después de análisis detallados, la Unión Europea ha establecido las prioridades antes mencionadas: el mantenimiento de la fracción nuclear en la generación eléctrica; la mayor utilización de algunas energías renovables en el abastecimiento eléctrico o de calor; el uso de biocarburantes para el transporte, y un especial énfasis en el ahorro energético, que incluye la mejora de eficiencias de generación y distribución, opciones ya existentes, sin duda mejorables, pero que son aplicables a corto plazo.

A medio plazo, además de las anteriores, se anuncian otras, como la combustión limpia de combustibles fósiles basados en el carbono (particularmente del carbón); el empleo más extenso de las actuales fuentes renovables y la consolidación de otras; el uso de una fisión nuclear “sostenible” como respaldo de la generación eléctrica, y un incipiente desarrollo del hidrógeno como medio para el almacenamiento energético y que habrá de transformarse en vector masivo de energía.

A largo plazo la fusión nuclear puede completar un espectro previsible de opciones tecnológicas que, apropiadamente combinadas, pueden asegurar un futuro sin las inquietudes que vivimos en la actual encrucijada energética.

El tránsito desde el actual escenario hasta consolidar el deseable, alrededor del 2050, no será fácil. La I+D+i, apropiadamente configurada en un marco público y privado que permita su aplicación inmediata, es un requisito inexcusable, pero también lo son las medidas políticas, legales y normativas, así como el apoyo financiero que todo ello requiere. Resulta de todo punto esencial modificar la conducta y la responsabilidad individual y colectiva de la sociedad en su conjunto, ciudadanos, políticos y responsables de la toma de decisiones, sobre las razones de esta encrucijada y sus posibles soluciones, y ello ha de promoverse a través una información clara, intensa, amplia y rigurosa. Sin ella gran parte de los esfuerzos resultarán baldíos.

A continuación se presenta un resumen de los aspectos tecnológicos más relevantes que afectan a las fuentes existentes o previsible con potencialidad para contribuir en un nuevo modelo energético sostenible.

La energía nuclear de fisión ha de ser considerada como una opción para satisfacer las necesidades del suministro eléctrico, en función de criterios sobre su capacidad de generación, sus costes, su seguridad, su eficiencia, sus potenciales consecuencias ambientales (incluyendo su contribución en la reducción de emisiones con efectos nocivos sobre el calentamiento del planeta) y su financiación. Existen tecnologías para facilitar la inspección, la evaluación y el control de los procesos de degradación de las centrales nucleares que posibilitan consolidar sus actuales condiciones de seguridad y operación a largo plazo, lo que tiene atractivo económico, afecta a la garantía del suministro energético y a sus posibles efectos ambientales. En el próximo futuro se plantea la extensión de vida de las actuales centrales nucleares y la instalación de otras similares, que, en los países desarrollados, se prevé ocasional (actualmente se prevén cinco en Europa), al contrario que en Asia, donde el número de centrales en construcción o comprometidas supera el medio centenar (más del 10% de las ahora existentes en el mundo). Conviene indicar que para alcanzar el objetivo europeo de mantener para 2020 la fracción nuclear actual en la generación eléctrica, y teniendo en cuenta las previsiones de crecimiento del consumo eléctrico, cada año será necesario, en promedio, la instalación en Europa de dos nuevas centrales nucleares, además de reemplazar las que se cierran. A medio y largo plazo, la I+D+i relativa a las tecnologías no sólo para mejorar la seguridad intrínseca de las instalaciones, eliminar los residuos nucleares

de larga vida³ y alta toxicidad, sino también para facilitar la resistencia a la proliferación, junto con el desarrollo de nuevos conceptos de reactores en su mayoría rápidos pueden dar lugar, en torno a 2030, a las centrales de la llamada Generación IV, cuya mayor sostenibilidad (permitirá extender las reservas de uranio y torio hasta aproximadamente 200 siglos), seguridad intrínseca, capacidad de eliminación de residuos y resistencia a la proliferación, ofrecerá al ciudadano una imagen distinta de la fisión nuclear actual. En España dada la presente oposición ciudadana a la energía nuclear de fisión no se estima que, para el 2020, nuestro país cumpla los acuerdos globales europeos en este apartado y habrá de compensarlo cumpliendo sobradamente en el resto de ellos.

Las energías renovables contribuyen ya considerablemente en el sistema energético (en España son actualmente fuente de más del 7% de la energía primaria y del 20% de la electricidad), aunque las aportaciones de cada una de ellas sean diferentes. Su implantación progresiva es una necesidad, como un primer paso, para disponer de un horizonte energético con más oportunidades que amenazas. Sin embargo, su utilización de forma masiva requerirá cambios en el sistema de abastecimiento energético.

- La importancia de la energía eólica en Europa y particularmente en nuestro país es indudable. En España y durante el año 2007 superó los 13.000 MW de potencia y se espera que alcance 20.000 MW para el 2011, mientras que en 2002 sólo alcanzaba 4.927 MW. A pesar de que desde el año 1980 ha disminuido el coste del kWh en aproximadamente un factor seis aún no es competitiva. Requiere seguir disminuyéndole y aumentar la eficiencia de las turbinas innovando en materiales y sistemas. También es necesario mejorar las tecnologías de control de la red de distribución para evitar problemas de conexión y estabilidad y buscar vías eficientes de almacenamiento energético. Por la calidad del recurso, a medio plazo, la eólica marina ofrece buenas perspectivas aunque supone costes adicionales que deberán ser disminuidos, mejorando aspectos como el anclaje de las instalaciones, su operación y mantenimiento y la evacuación de electricidad. No debiera olvidarse la I+D+i en minieólica, porque existe un lugar para esta fuente en el mercado.

³ El Almacén Temporal Centralizado, ATC, contemplado en el Plan general de Residuos donde se almacenarán los residuos de alta actividad provenientes de las centrales, permite mantenerlos en condiciones seguras mientras se desarrollan las tecnologías que los eliminan y se decide sobre las características del almacenamiento final.

- Las *plantas solares de concentración*, sean por focalización en un eje (colectores parabólicos o reflectores lineales de tipo Fresnel), en un volumen situado en una torre mediante helióstatos o en un pequeño volumen en torno a un punto (discos parabólicos), ofrecen una amplia gama de oportunidades. La energía de origen solar es un recurso sostenible (se recibe del sol una potencia del orden de 10.000 veces el consumo mundial), varias de cuyas opciones tecnológicas pueden ser fuentes masivas para la generación de electricidad, y, además, capaz de suministrar en función de la demanda base, ya que permite almacenar el calor, solución más eficiente y simple que la de almacenar la electricidad. Existe un renovado interés por estas tecnologías, cuyo primer ejemplo en España es la PS10 de Sevilla, central comercial de tipo torre, con 624 helióstatos y turbina de 11 MW. Hay varios más en perspectiva, como el de Andasol I, de 50 MW, con espejos parabólicos, que ocupan una superficie de 195 ha. La planta generará 182 GW·h anualmente. Es una tecnología en fase de despliegue, susceptible de desarrollos innovadores que permitirán mejorarla, está pendiente de optimización industrial y del abaratamiento que induce la fabricación de sus componentes en serie. La evolución de costes seguirá una tendencia parecida a la de la eólica y se estima que podrá ser competitiva aproximadamente hacia el 2020.
- Las *tecnologías fotovoltaicas* tienen ya un lugar en el mercado y su potencial es considerable. Actualmente el coste de la electricidad producida es superior al de otras renovables, pero la fabricación de lámina delgada de silicio mejora la producción de células solares y, por tanto, el coste. El desarrollo de sistemas fotovoltaicos como elementos utilizables en la edificación impulsa su empleo. Por otro lado, el uso de componentes para acondicionar la corriente y facilitar su conexión lograrán una mayor eficiencia de la conversión energética. A medio plazo se pretende no sólo consolidar conceptos como los sistemas basados en lentes para concentrar la luz solar sobre las células fotovoltaicas, sino también desarrollar nuevos materiales semiconductores e introducir tecnologías innovadoras basadas en células orgánicas, si se logra superar su fase actual de demostración. La utilización más amplia de las tecnologías fotovoltaicas depende, pues, de los resultados de la I+D+i mencionada, y es, junto con la solar de concentración, la solución energética masiva y sostenible para países que dispongan de abundante radiación solar, además de constituir, en esos países, una fuente de energía autóctona.

- La explotación de *la biomasa* precisa desarrollos que optimicen la conversión termoquímica de nuevos materiales orgánicos. Para ello hay que mejorar el conocimiento de los mecanismos básicos que permiten la transformación de los recursos así como los tratamientos físicos y químicos. El desarrollo de la biomasa para producir calor y electricidad precisa consolidar actuaciones relacionadas con nuevos cultivos que no compitan con el consumo humano, además de desarrollar tecnologías que faciliten su integración en la producción de energía. No obstante, la biomasa ya contribuye en la diversificación en el sector transporte que origina casi un tercio de las emisiones europeas de CO₂, mediante la producción de biocarburantes, bioetanol o biodiésel, y también a la generación de calor y electricidad a través del biogás. Es preciso promover la I+D+i sobre esta fuente energética para cumplir con los objetivos europeos para 2020, ya que los actuales biocarburantes están amenazados por el alza del precio del maíz y otros productos ligados al mercado alimentario, y su amplia utilización puede conllevar, en un futuro, consecuencias sociales indeseables. Por tanto, hay que incentivar las investigaciones en la conocida como biocarburantes de segunda generación, basada, por ejemplo, en la hemicelulosa o la lignina. El desarrollo de esta fuente energética se prevé gradual, pero muchas de las tecnologías que requiere están ya disponibles, en particular para la producción de biocarburantes, tengan un origen agrícola o provengan de la transformación de residuos orgánicos. Está previsto, y puede ser alcanzable, que para 2010 los biocarburantes constituyan un 5,8% del consumo energético en el transporte. También consideramos que es posible conseguir el compromiso europeo para el 2020 (10%).
- Otras energías renovables como *las geotérmica y oceánica* también han de ser objeto de I+D+i, aunque su contribución global en el abastecimiento energético será, en nuestra opinión limitada, en casi todos los países. No así es el caso de la *solar de baja y media temperatura*, que no requiere radiación directa y cuya repercusión puede ser más amplia. De hecho, actualmente ya la tiene (globalmente del orden de veinte veces más que la fotovoltaica), en particular para disponer de calor y agua caliente en edificios e instalaciones industriales.

España es un país en el que las energías renovables tienen ya un papel destacado en la generación de energía y en la industria de ingeniería y fabricación de bienes de equipo asociada, y en muchos casos, ofrecen una opción muy prometedora. Por ejemplo, un reciente estudio, elaborado

por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, considera factible alcanzar para 2030 una potencia instalada mediante energías renovables de 83.330 MW, lo que permitiría satisfacer el 41% de la demanda eléctrica, reduciendo el consumo de carbón a 8.000 MW, en comparación con los 11.934 MW actuales. En resumen, en el dominio de las energías renovables nuestro país puede cumplir con sus compromisos europeos para el 2020, con posteriores y más ambiciosas perspectivas.

Las tecnologías limpias de combustión permiten consolidar una mayor eficiencia disminuyendo al máximo las emisiones mediante la mejora de las centrales de carbón pulverizado. Este progreso en la eficiencia energética es muy importante porque un aumento del 10% supone reducir en un 25% las emisiones de CO₂. También existen otras tecnologías que utilizan ciclos supercríticos, aun en fase de aplicación, y que requieren disponer de nuevos materiales para operar en condiciones adecuadas de presión y temperatura. Lo mismo ocurre con los sistemas avanzados de combustión, que también necesitan mejoras en los procesos de depuración. Al tiempo que se optimizan las tecnologías actuales para separar el CO₂ a escala industrial, se necesita desarrollar asimismo otras para su captura en fase de precombustión y evaluar alternativas cuando el carbón se quema en una atmósfera rica en oxígeno. Los procesos de captura precisan desarrollos multidisciplinarios y plantas de demostración para evaluarlos. El almacenamiento de CO₂ ha de ser objeto no sólo de I+D+i, caracterizando potenciales almacenamientos sino de evaluación económica y de planteamiento políticos transnacionales (principalmente europeos, en el caso de España). La mejora de eficiencias en la combustión puede alcanzarse progresivamente desde un futuro próximo, la combustión limpia previsiblemente requerirá más de una década y el almacenamiento competitivo previsiblemente llevará más tiempo.

La energía nuclear de Fusión es una apuesta a largo plazo por un sistema energético sostenible, ya que no tiene limitaciones de combustible. Por ahora se encuentra en un momento de investigación y desarrollo, para poder demostrar su viabilidad energética. Más tarde pasará a la fase de demostración antes de hacerse comercial, en un plazo de varias décadas, que como pronto se estima en el 2040. España, dentro de Europa, junto con muchos otros países del planeta, participa activamente en el experimento ITER de Fusión por Confinamiento Magnético. Una inversión grande pero que, de ser exitosa, y previsiblemente lo será, nos abrirá las puertas a esta fuente masiva de extraordinaria importancia. No olvidaremos hacer una referencia a la Fusión por Confinamiento Inercial, que también progresa considerablemente impulsada por las grandes potencias, particularmente los Estados Unidos. Puede que su viabilidad se demuestre más o menos al mismo tiempo que la basada en

el Confinamiento Magnético pero su despliegue comercial estará condicionado por el hecho de utilizar tecnologías sensibles desde el punto de vista bélico.

La distribución, transmisión y almacenamiento de electricidad no sólo es clave para el abastecimiento con un sistema de generación más distribuido sino que permite mejoras que optimicen su funcionamiento actual, de especial utilidad para integrar la generación con energías renovables, además de solucionar problemas causados por averías en la red y mantener la calidad de suministro. La red actual de distribución de electricidad necesita incorporar sistemas de automatización y control para conocer en todo momento su estado. Esto facilitará actuaciones remotas rápidas para reponer pérdidas de suministro, mejorando la eficiencia de operación del sistema y las condiciones de transmisión y distribución. La gestión activa de la demanda permite adecuar la potencia instalada frente a las necesidades y contribuye también en la óptima adaptación de los patrones de consumo mediante herramientas de gestión predictiva de la red en tiempo real, satisfaciendo las necesidades sin pérdidas de calidad de suministro en base. Estos desarrollos conducirán a “redes inteligentes”, que incorporarán los avances en tecnologías de control y comunicaciones, lo que permitirá a los agentes del mercado utilizar mejor las fuentes intermitentes y programar la potencia de generación requerida cuando falle el recurso. La mejora de la red de distribución habrá de ser gradual y adaptarse a la combinación de fuentes generadoras de electricidad en cada momento.

El *hidrógeno* es un nuevo vector energético que constituye una opción a largo plazo pero que tiene un gran atractivo. No sólo nos ayudará a liberarnos de la hipoteca del petróleo para el transporte, sino que puede ser de extrema utilidad para almacenar energía. Su utilización masiva requiere todavía el desarrollo, la optimización y la implantación de múltiples tecnologías, aunque constituye, sin duda, una esperanza. El hidrógeno, como la electricidad, es una fuente secundaria de energía que necesita energía primaria para su generación. Es un elemento abundante y la energía necesaria para producirlo puede provenir de todo tipo de fuentes. Se puede utilizar para generar calor y electricidad con alta eficiencia y sin emisiones, ya que su combustión sólo produce agua. A corto plazo su producción dependerá de los combustibles fósiles basados en el carbono. Sin embargo para que dicha producción sea limpia, es necesario incorporar tecnologías de captura y secuestro de CO₂, lo que repercutirá sobre su coste. Posteriormente, la I+D+i relativa a la electrolisis, a partir de energías renovables, particularmente la eólica, impulsará su penetración en el mercado, y el mejor conocimiento de los procesos de fotólisis y el desarrollo de ciclos termoquímicos sin duda ayudarán a su consolidación. Las

fuentes energéticas que se espera contribuyan a la producción más competitiva del hidrógeno son la solar de concentración y la nuclear de la Generación IV (el reactor térmico de muy alta temperatura). Las pilas de combustible pueden ser un componente importante ya que generan energía limpia sin las limitaciones del ciclo de Carnot. Sin embargo, el horizonte para su despliegue requiere numerosos avances. Sus aplicaciones son numerosas, desde la generación de calor y frío junto con la de electricidad y, en el sector del transporte, conseguir eficiencias superiores a la de los motores térmicos actuales, eliminando emisiones de gases de efecto invernadero. La introducción del hidrógeno en el sistema energético tiene ventajas de seguridad de suministro y un casi nulo efecto ambiental, en función de la fuente energética utilizada para su producción, presentando además importantes oportunidades económicas. Sin embargo su implantación a gran escala, incluyendo su almacenamiento, transporte y red de distribución no se espera a corto o medio plazo, no sólo por las tecnologías pendientes de desarrollo, sino porque significa un cambio copernicano del actual sistema de distribución y utilización de combustibles fósiles basados en el carbono.

La eficiencia en la generación y utilización de la energía es fundamental. Por ejemplo el consumo mundial de energía representa aproximadamente 10 Gtep, repartidos entre 1 Gtep de electricidad, 2 Gtep en el sector transporte y 3 Gtep en la producción de calor. El resto se pierde en la conversión energética o como consecuencia de la ineficiencia en su utilización. La electricidad se produce a partir de carbón con una eficiencia del 38%. Es decir 62% de la energía contenida en el carbón no entra en la red. Durante el transporte y distribución desde la planta se pierde alrededor el 2%, y cuando se utiliza en una bombilla convencional sólo el 2% se transforma en luz, el resto se convierte en calor. En consecuencia es preciso buscar soluciones que permitan mejorar el uso de los recursos disponibles. Disminuir las pérdidas que se producen a lo largo de toda la cadena desde las fuentes primarias a los usos finales es un punto clave en el diseño de un sistema energético sostenible. La optimización del consumo de energía es muy mejorable. Crece continuamente, por ejemplo, en la edificación y en los sectores terciario y doméstico. Incrementar el ahorro mediante la incorporación de sistemas más eficientes, utilizando también recursos energéticos renovables, como con la edificación bioclimática que permitirá un ahorro del 50% y del 80% si integra fuentes renovables, ofrece numerosas posibilidades de actuación para reducir significativamente la intensidad energética y garantizar un menor consumo.

Considerando el incremento de la intensidad energética en España desde 1992 y aunque se promuevan todas las actuaciones mencionadas en

esta sección no será fácil que podamos cumplir con el compromiso europeo al respecto: 20% en la reducción de emisiones de CO₂ respecto de 1992.

Escenarios futuros

Las contribuciones presentadas en este libro muestran cómo la ciencia y la tecnología constituyen herramientas fundamentales para alcanzar un sistema energético sostenible. Esto precisa la puesta en marcha de estrategias de ciencia y tecnología, movilizándolo coordinadamente a todos los agentes del sistema nacional de innovación con un mismo objetivo. Sin duda, para optimizar el aprovechamiento de todas las capacidades existentes, la I+D+i ha de ser necesariamente multidisciplinar, no sólo para permitir el desarrollo de nuevas tecnologías energéticas, en un marco de estrecha cooperación, sino para impulsar y agilizar todos los mecanismos de transferencia de tecnología entre la industria, los centros de investigación y las universidades, con el apoyo del sector inversor. Dentro del Plan Nacional de I+D+i 2008-2011 se ha priorizado la energía y la minimización de sus repercusiones en el cambio climático, mediante una Acción Especial y se ha realizado un ejercicio de prospectiva para identificar líneas prioritarias y estratégicas que están en acuerdo con lo anteriormente descrito, y entre las que procede insistir en las siguientes.

La generación eólica, las plantas solares de concentración y las tecnologías fotovoltaicas precisan desarrollos tecnológicos y procesos de fabricación más eficientes que deben impulsarse para aprovechar las oportunidades que ofrece nuestra situación científica e industrial. Por ejemplo en solar fotovoltaica, fortaleciendo líneas para consolidar sistemas basados en lentes concentradoras de luz sobre células fotovoltaicas, o promoviendo tecnologías innovadoras, basadas en células orgánicas para superar su actual fase de demostración y laboratorio,

El desarrollo de la biomasa como recurso energético requiere consolidar actuaciones relacionadas con nuevos cultivos y técnicas de explotación de suelos junto con tecnologías para facilitar su integración en la producción de energía, pretratamiento de materiales o nuevas calderas. También la mejora de capacidades para conseguir optimizar la conversión termoquímica de nuevos materiales orgánicos, incluyendo la valorización energética de los estiércoles y residuos de depuradoras. Estas actuaciones permitirán también la optimización de la producción de biocarburantes, bioetanol o biodiésel, y completar las capacidades que pueden activar; a medio plazo, el concepto de biorrefinería, donde se integran los distintos procesos y tecnologías de conversión de biomasa para producir calor, generar electricidad, biocarburantes y otros productos de alto valor añadido.

La I+D+i relacionada con el almacenamiento de energía eléctrica permitirá la incorporación de tecnologías más eficientes y con mejores prestaciones que las actuales. Tecnologías que aproximen la generación a los puntos de consumo y el desarrollo de sistemas distribuidos, permitirán alcanzar, disponiendo de sistemas de predicción de energía, una mejor planificación y eficiencia en las condiciones de operación.

Como hemos referido, el hidrógeno ofrece opciones novedosas para almacenar, transportar y producir energía y, junto con las pilas de combustible, puede contribuir en un sistema energético sostenible. La futura economía del hidrógeno necesita capacidades científicas, tecnológicas e industriales, que permitan su utilización en cantidades considerables. Se necesitarán progresos, también, en las tecnologías de almacenamiento, ya que las actuales suponen un alto gasto energético para comprimirlo o licuarlo. Para ello hay que generar nuevos conocimientos sobre los procesos físicos y químicos que actúan en la interacción del hidrógeno con materiales donde se almacena por absorción. A su vez las pilas de combustible requieren numerosos avances que afectan a sus componentes principales para conseguir ser una opción competitiva de mercado.

Con relación a la energía nuclear, se pueden abordar el desarrollo de tecnologías para facilitar la inspección, evaluación y el control de los procesos de degradación que ocurren en la central. La gestión del combustible gastado en el reactor y las tecnologías de reciclado, precisan fomentar nuevas capacidades científicas y tecnológicas que permitan una solución sólida y estable para el problema de los residuos. La Generación IV, que es intrínsecamente más segura y dispone de mecanismos de resistencia a la proliferación precisa múltiples desarrollos, varios de ellos similares a los que se necesitan para la eliminación de residuos de larga vida media y alta toxicidad.

El futuro de la fusión como fuente de energía a largo plazo requiere disponer de un amplio espectro de tecnologías avanzadas, que permitan demostrar su viabilidad, y que tendrán, sin duda, como las derivadas de la investigación sobre la estructura íntima de la materia utilizando aceleradores, una amplia repercusión social.

Finalmente, disminuir las pérdidas que se producen a lo largo de toda la cadena, desde las fuentes primarias hasta los usos finales, resulta clave en el diseño de un sistema energético más sostenible.

■ Consideraciones sobre capacidades

El progreso en I+D+i sobre energía a buen seguro reducirá el efecto de la pérdida de capacidades del sector; consecuencia de muchos años sin recibir atención prioritaria, lo que ha repercutido, también, en otras áreas

de importancia tecnológica. Es preciso modificar la tendencia continua de pérdida de recursos humanos en tecnologías como las de generación de energética. Los licenciados e ingenieros se han visto, y aun se ven, atraídos por otras especialidades emergentes de menor complejidad y mayor interés para su futuro, tanto aquellos que inician una carrera profesional como los que seleccionan una especialización.

La situación es especialmente preocupante en el caso de las tecnologías nucleares y radiológicas, quizás las pioneras, aparte de otras relativas a los combustibles fósiles en sus primeras épocas de explotación y consumo, en requerir una formación intensa y una calidad alta. En ellas la disminución de las actividades del sector industrial, la negativa percepción pública de los usos de la energía nuclear y consecuentemente las posiciones políticas generales, se han traducido en una reducción en la oferta de los programas de estudio y de contenidos de los mismos, un menor número de estudiantes interesados, mayor edad media del profesorado, envejecimiento de las instalaciones experimentales y, en definitiva, la falta de expertos jóvenes que sustituyan a los de mayor edad en el sector.

Un informe de la OCDE, publicado en el año 2000, ya alertaba a los países miembros sobre la situación de la educación y la formación en este sector ante la necesidad de contar con expertos en física e ingeniería, no sólo para mantener o impulsar éste u otro dominio energético, sino también para fomentar tecnologías de salud, medicina o materiales avanzados de amplio uso. Las conclusiones del estudio indicaban que, aunque el número actual de científicos y tecnólogos podría ser próximo al mínimo necesario, existen indicadores fiables, como el número de estudiantes en formación y su perfil profesional, que no coincide con el requerido por las empresas, los contenidos de los cursos ofertados por las universidades y la disminución de instalaciones, que indicaban que existe un alto riesgo de no poder contar con las capacidades necesarias para el futuro. Y, como se ha mencionado, la amenaza es similar, en mayor o menor grado, para todos los sectores energéticos.

En energía es imprescindible disponer de instalaciones que permitan el desarrollo y ensayo de nuevas tecnologías. Suelen ser instalaciones complejas que no se improvisan fácilmente. Por tanto, es muy importante proteger la mejora de las existentes y añadir otras, a ser posible sin duplicaciones que malgasten recursos. Sin ellas, nuestros investigadores aportarán sus conocimientos y trabajo en beneficio de otros países, aunque a la postre también beneficien al nuestro. Además, para detectar cuáles van a ser las necesidades futuras y tomar las medidas oportunas que permitan disponer de una infraestructura apropiada y de los recursos humanos adecuados al futuro energético deseable, resulta imprescindible establecer redes de colaboración entre la industria, los departamentos

de universidades y escuelas técnicas y centros de I+D+i, particularmente los dedicados a energía y medio ambiente. También conviene establecer las colaboraciones internacionales apropiadas, particularmente con Europa, que completen los recursos y que permitan aunar esfuerzos para alcanzar objetivos con amplia repercusión internacional.

Finalmente, la percepción social de la energía, no por ser mencionada en último lugar es menos importante. Una auténtica “Cultura de la Energía” resulta imprescindible para que los ciudadanos entiendan, juzguen y participen en las iniciativas que requiere la solución a la encrucijada energética.

■ Conclusiones

Existen tecnologías capaces de contribuir en un sistema energético más sostenible que el actual, cambiando progresivamente la forma de generación y utilización de la energía. En su mayoría necesitan un desarrollo gradual, y un intervalo de tiempo para ser alternativa real en los mercados. Este tiempo dependerá de los esfuerzos en I+D+i y de las medidas de apoyo que se pongan en marcha. Por tanto, el horizonte temporal de su difusión dependerá del escenario concreto que se aplique, el ritmo con el que se ejecute y la actitud de la sociedad hacia los problemas ambientales y el uso del recurso energético.

Pensar en un horizonte futuro supone identificar cual es el modelo energético deseable y las medidas necesarias para alcanzarlo. El progreso hacia un modelo más sostenible que el actual requiere conocer bien los distintos aspectos sobre la seguridad del suministro, los efectos el medio ambiente y las emisiones, así como las consecuencias económicas y sociales. A su vez, las actuaciones que se precisan suponen oportunidades y beneficios que afectan a otras áreas y que deben ser considerados en la planificación y la legislación. En este análisis estratégico también deben incluirse otras consideraciones relativas a la política fiscal, la cooperación ciencia e industria, la percepción ciudadana y la comunicación, de forma que se alcance un compromiso para la transición de modelo.

Somos parte de Europa, pero conviene no olvidar que nuestros vínculos con Latinoamérica y con los países del Mediterráneo son privilegiados y que, desde luego, en los dominios de la energía, la ciencia y la tecnología, nuestras relaciones son excelentes con los países avanzados pero también con otros más desfavorecidos, que bien nos necesitan. De todos ellos podemos aprender y a todos ellos podemos enseñar. A la postre un modelo energético sostenible no es tarea de un país, ni de un continente, sino de todo el planeta.

■ Referencias

- A White Paper on Nuclear Power.* Department for Business, Enterprise, Regulatory Reform, UK, 2008.
- Energy Technologies Perspectives. Scenarios & Strategies to 2050.* International Energy Agency: IEA/OECD, París, 2006.
- Estrategia Nacional de Ciencia y Tecnología. Ejercicio de Prospectiva a 2020.* FECYT. SISSE, 2008.
- European Energy Futures 2030. Technology and Social Visions from the European Energy Delphi Survey.
- International Energy Outlook 2007 Energy Information Administration (EIA), <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/>
- R&D e Innovación en España. Mejorando los instrumentos OECD. FECYT. 2007
- Sécurité énergétique et Union Européenne. Propositions pour la présidence française. Le Rapport Mandil. 28 avril 2008.
- Shell energy scenarios to 2050 Shell International BV. 2008.
- Wehnert, T., López Araguás J. P., Bernardini O., Jaworski L., Jorgensen B. H., Jør8 W., Nielsen O., Ninni A., Onizsk-Poplawska A., Velte D.: Springer Verlag, Heilderberg, 2007.

Juan Antonio Rubio

Director General del CIEMAT

Presentación

El estudio “Energía: las tecnologías del futuro”, pretende hacer un análisis exhaustivo de la evolución de las tecnologías en el sector energético, así como dibujar cual puede ser el mapa de éstas para el futuro.

31

Hace casi dos siglos y medio, James Hargreaves inventó la Spinning Jenny, una potente máquina relacionada con la industria textil, comenzando la primera revolución industrial. La invención de la máquina de vapor fue otra de las innovaciones más importantes de aquella.

Cien años más tarde, el inventor alemán Nicolaus Otto diseñó el motor de combustión interna, y comenzó la segunda revolución industrial. La era del petróleo avanzó a pasos agigantados en la ciencia, la medicina y el transporte, y generó prosperidad a una escala inimaginable en generaciones anteriores.

En la primera mitad del siglo XXI, nos estamos acercando al ocaso de la era del petróleo. El precio del petróleo continúa al alza en los mercados globales y las reservas mundiales de petróleo podrían agotarse en las próximas décadas. Por otra parte, el fuerte incremento de las emisiones de dióxido de carbono procedentes de los combustibles fósiles, está contribuyendo al calentamiento de la Tierra y a la alteración sin precedentes de la química del planeta y del clima mundial.

Es evidente que todas las decisiones económicas y políticas que se adopten en el transcurso del próximo medio siglo, estarán condicionadas y supeditadas al

coste creciente de la energía procedente de los combustibles fósiles y al deterioro paulatino del clima y la ecología.

En la actualidad, los 27 Estados miembros de la UE están haciendo todo lo posible para garantizar que las reservas existentes de combustibles fósiles sean utilizadas de una manera más eficiente y, paralelamente, están experimentando con tecnologías de energía limpia al objeto de reducir las emisiones de dióxido de carbono procedentes de la quema de combustibles convencionales.

De cara al futuro, todos los gobiernos deberán explorar formas alternativas de energía y crear modelos económicos innovadores con el fin de que las emisiones de carbono sean lo más próximas posibles a cero.

Los grandes ajustes económicos que han desempeñado un papel decisivo en la historia del mundo tuvieron lugar al converger un nuevo régimen energético y un nuevo régimen de las telecomunicaciones.

■ 32 ■ *Pero, si bien es cierto que la productividad de todos los sectores industriales ha aumentado gracias a las nuevas revoluciones de software y de las telecomunicaciones, su potencial real no ha sido explotado a fondo.*

Hoy en Europa importamos alrededor del 50% de nuestra energía y en 2030 nos acercaremos al 70% si mantenemos las políticas actuales.

Al mismo tiempo, el auge de nuevos gigantes de la economía mundial como China y la India, suponen conjuntamente, casi la mitad de todo el crecimiento mundial de la demanda energética entre 2005 y 2030.

Lo anterior implica que Europa esté expuesta a una competencia cada vez más intensa de otros países por los recursos energéticos mundiales, volviéndose cada vez más dependiente de importaciones de petróleo y gas de regiones geopolíticamente inciertas.

Como las revoluciones industriales precedentes, ésta estará impulsada por la tecnología y las nuevas formas de energía. Y transformará también a nuestras sociedades de maneras que aún no podemos imaginar.

José Alejandro Pina Barrio

Presidente de ENRESA