

# Tendencias tecnológicas en el sector energético

Juan Antonio Cabrera Jiménez  
CIEMAT

La Fundación Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial (OPTI) ha editado recientemente una serie de siete publicaciones donde se presentan cuales serán las Tendencias Tecnológicas que van a marcar el futuro de algunos de los principales sectores de actividad de la economía española.

desarrollo, en función de las oportunidades para la innovación que presentan, el papel que pueden jugar para dar respuesta a las necesidades futuras de la sociedad y la posición en que se encuentra nuestro país para afrontar su desarrollo.

## Opti y el programa de prospectiva español

OPTI nace en 1997 por iniciativa del entonces Ministerio de Industria con el objetivo de generar una base de información y conocimiento sobre la evolución de la tecnología para facilitar a la Administración y a las empresas la toma de decisiones en el diseño de sus políticas tecnológicas. Para ello el observatorio desarrolla actividades de prospectiva y vigilancia tecnológica, ayudando a identi-

ficar aquellas tecnologías emergentes que deben impulsarse en nuestro país. En diciembre de 1999 se constituye la Fundación OPTI bajo el protectorado del Ministerio de Ciencia y Tecnología, pasando así a tener entidad jurídica propia. Desde sus inicios, se estructura como una red de Centros con capacidad tecnológica propia, cada uno de los cuales aporta sus competencias específicas para desarrollar sus actividades de prospectiva y se responsabiliza de los trabajos en su sector.

La prospectiva constituye un proceso desarrollado para analizar el futuro a largo plazo de la ciencia y la tecnología con el objetivo de identificar las oportunidades que pueden aparecer como respuesta a las necesidades de la sociedad. Permite desarrollar una visión compartida por

Los sectores analizados han sido: Agroalimentación, Energía, Medio Ambiente Industrial, Químico, Transporte, Tecnologías de Diseño y Producción y Tecnologías de la Información y la Comunicación. Para cada uno de estos sectores junto a las tendencias se han determinado aquellas tecnologías consideradas como críticas para su

los expertos, que participan en los ejercicios sobre cuales serán los posibles escenarios tecnológicos futuros, identificando las acciones que es necesario realizar hoy para que ese futuro sea lo más favorable posible.

OPTI es responsable del Programa de Prospectiva Tecnológica de España, en cuya primera fase se han desarrollado veintiséis estudios en los sectores de actividad citados anteriormente, que han sido recogidos en tres informes sobre el futuro tecnológico en el horizonte del 2015.

### Estudios de prospectiva realizados en el sector de la energía

Dentro de la serie de estudios desarrollada por OPTI, el sector de la energía ha sido responsabilidad del Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), que entre los años 1999 y 2001 ha realizado tres estudios para disponer de una panorámica del sector energético en nuestro país construida sobre la base de las opiniones de los expertos que desarrollan sus actividades en este campo.

Como objetivo del primer estudio se seleccionaron las "Energías Renovables" en base a que es el subsector que tiene el mayor reto respecto a innovación tecnológica y desarrollo de mercado en España. El estudio se desarrolló entre julio de 1998 y febrero de 1999 sobre temas relacionados con las tecnologías de aprovechamiento de recursos renovables más significativas hoy día, particularizado para cada una de ellas: biomasa, solar térmica, solar fotovoltaica, eólica y minihidráulica. Los objetivos del estudio consistían en detectar la situación actual de nuestro país respecto a las tecnologías emergentes en estos subsectores, y así identificar las oportunidades de mercado futuras para nuestra indus-

tria y las medidas que deberían tomarse con objeto facilitar el desarrollo de los temas propuestos, solventando así las posibles limitaciones existentes para el desarrollo.

Durante el período 1999-2000 se abordó un estudio con los objetivos de detectar las posibilidades tecnoló-

*"Los estudios en el sector de la energía, como los realizados por OPTI, han utilizado una misma metodología basada en la utilización de un cuestionario Delphi"*

gicas existentes en el sector de la "Conversión de Combustibles Fósiles". Se trataba de identificar tecnologías emergentes para aumentar la eficiencia energética disminuyendo la cantidad de energía que es necesario consumir por unidad económica producida (intensidad energética), tecnologías capaces de producir energías más limpias reduciendo la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido por unidad de energía utilizada (intensidad de carbón) y tecnologías que permitan capturar y almacenar para su elimi-



Foto cedida por APPA

nación el CO<sub>2</sub> de las emisiones antes de alcanzar el medio ambiente.

Para completar una visión prospectiva integrada del sector energético, se abordaron en el tercer estudio las tendencias en "Transporte, Distribución, Almacenamiento y uso Final de la Energía" con el objetivo de evaluar la capacidad de las tecnologías existentes para mejorar la economía

y flexibilidad del uso energético, identificar tecnologías emergentes que permitan la optimización del transporte y operación de los sistemas eléctricos, que son capaces de mejorar los actuales sistemas de distribución de energía para adaptarlos a los nuevos requerimientos y tecnologías para el almacenamiento de la energía, que tendrán una incidencia decisiva en la integración de las energías renovables y la regulación del sistema eléctrico. Se incluyeron también en el estudio tecnologías para favorecer el uso eficiente de la energía en los sectores residencial y terciario, el transporte y en el sector industrial.

### Metodología

Los estudios en el sector de la energía, al igual que todos los realizados por OPTI, han utilizado una misma metodología basada en la utilización de un cuestionario Delphi. En este cuestionario se propone a los participantes un conjunto de temas como hipótesis de futuro, y se les pregunta su opinión sobre una serie de variables relacionadas con la importancia y el impacto que tendrían si se cumplieren, el intervalo temporal en que se espera que ocurra su desarrollo, la posición de España con relación a otros países de nuestro entorno, las barreras actuales existentes y las medidas que deben ponerse en marcha para conseguir su materialización. La característica del

método Delphi es que los participantes pueden variar sus respuestas en una segunda ronda del cuestionario en función de las opiniones recogidas. De esta forma, se obtiene como resultado una opinión del grupo y se conoce el grado de consenso existente sobre el tema planteado.

La gran cantidad de información sobre el futuro recogida en los tres

estudios de prospectiva fue analizada y sintetizada por un grupo de trabajo formado por expertos del sector energético procedentes del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE, y del Ministerio de Ciencia y Tecnología, MCYT, junto con el soporte del equipo de prospectiva del CIEMAT, bajo la coordinación de OPTI. De esta forma se incorpora la opinión de los expertos del IDAE y del MCYT a los resultados finales del proceso de prospectiva permitiendo obtener una visión integrada del sector en un horizonte temporal a medio plazo, estableciendo cual es la posición de España, las metas que resulta posible alcanzar y las barreras, para poder elaborar recomendaciones de actuación.

El grupo de trabajo determinó cuáles eran los factores comunes detectados en cada uno de los estudios, que marcaban los diferentes caminos posibles para el desarrollo tecnológico. De esta forma, surgían una serie de líneas con característi-

Para seleccionar cuáles de estas tecnologías podían ser consideradas críticas se realizó un análisis de cada una de ellas, teniendo en consideración los resultados obtenidos en los estudios respecto a las posibilidades de España para contar con la capacidad científica y técnica necesaria pa-

*“La liberalización del mercado eléctrico y los condicionantes medioambientales dibujan un escenario futuro orientado a la diversificación energética basada en la utilización de fuentes de energía renovables”*

ra abordar su desarrollo, y las oportunidades para innovación, comercialización o producción que presentaba, tomando como referencia el entorno europeo. De esta manera, la relación entre la posición de España y el atractivo de las tecnologías permitía realizar un proceso de

que pueden suceder y que, según el momento en que ocurran o la velocidad con que se desarrollen, tendrían efectos decisivos sobre las tendencias y por tanto sobre la materialización de las tecnologías.

Para cada una de las tecnologías se han seleccionado los correspondientes indicadores, es decir factores numéricos que permitan disponer de información cuantitativa relativa al grado de cumplimiento del tema. Se trata de contar con información de origen estadístico o datos relacionados con una determinada tecnología que permitan seguir el acercamiento o alejamiento de nuestro país en relación con el grado de implementación alcanzado por las tecnologías identificadas como críticas. Cada uno de los indicadores aparece asociado a la tecnología cuyo desarrollo intenta medirse y serán objeto de seguimiento periódico por parte de OPTI.

### Tendencias tecnológicas

Como resultado de los trabajos citados anteriormente se identificaron las siguientes tendencias y tecnologías:

- *Diversificación energética mediante el uso de las energías renovables.*

La liberalización del mercado eléctrico junto a los condicionantes medioambientales dibuja un escenario futuro orientado a la diversificación energética basada en la utilización de fuentes de energía renovables y configurando un sistema eléctrico en el que los centros de generación se sitúan en zonas cercanas a los puntos de consumo. La construcción de instalaciones comerciales, el despegue del sector industrial y el aumento de su presencia en el mercado requiere conseguir una reducción de los costes actuales de inversión que permita,

- la construcción de centrales solares termoeléctricas en configuración híbrida, central electrosolar con



Foto cedida por APPA

cas parecidas que convergían en grandes tendencias. Dentro de estas tendencias se encuentran agrupadas las tecnologías que realizan funciones similares y que corresponden a métodos de producción o productos que pueden funcionar conjuntamente.

comparación en el que se destacaban las tecnologías consideradas más importantes para el futuro del sector.

Hay que tener en cuenta a la hora de evaluar los posibles escenarios de futuro, la existencia de “acontecimientos críticos”, es decir factores

apoyo de combustibles fósiles, o solo solar de colectores distribuidos,

- la implantación de parques eólicos comercialmente competitivos conectados a la red,

- la utilización de grandes turbinas con potencias entre 1 y 3 Mw para producir mayores niveles de energía utilizable y de nuevos diseños de aerogeneradores sin caja de multiplicación y generadores sincros multipolos,

- el desarrollo de módulos fotovoltaicos basados en células de lámina delgada con nuevos materiales con mejores rendimientos y así menor coste que los actuales,

- utilización de sistemas de concentración fotovoltaica para disminuir el área de la célula y obtener mayor rendimiento, disminuyendo así el precio del kilovatio producido.

La integración de los sistemas renovables en la red eléctrica se materializará respecto a la biomasa en la utilización de cultivos agroenergéticos en combinación con residuos agroforestales para producir calor y electricidad. Se generalizará el uso de biogas procedente de vertederos como fuente energética y se aumentará el aprovechamiento de los pequeños saltos hidráulicos con el desarrollo de turbinas que minimicen el impacto medioambiental.

La integración de módulos fotovoltaicos en edificios conectados a la red o en sistemas aislados junto con el desarrollo de componentes fotovoltaicos adaptados a usos específicos potenciará su despegue comercial en el sector de la edificación, unido a la utilización generalizada de sistemas solares para suministro de agua caliente sanitaria en viviendas unifamiliares o en instalaciones centralizadas en urbanizaciones, centros comerciales e industriales, etc.

- *Descentralización: Sistemas distribuidos de energía eléctrica.*

La tendencia a la implantación de sistemas descentralizados de

energía eléctrica modificará el modelo de generación de la red de distribución actual disminuyendo las inversiones requeridas para nuevos tendidos eléctricos y permitiendo el aprovechamiento de sistemas auto-productores.



Foto cedida por APPA

Junto a las energías renovables, los sistemas de cogeneración basados en utilizar el calor producido en la combustión para generar simultáneamente electricidad y otra forma útil de energía térmica, vapor o agua caliente, permitirán aumentar significativamente la eficiencia en los procesos de los sectores industrial o terciario.

*“La generación de hidrógeno, producido a partir de combustibles fósiles o por electrólisis, podría basarse en utilizar las energías renovables para descomponer el agua o por procesos fotoquímicos”*

Las pilas de combustible constituyen uno de los sistemas más prometedores en cuanto a alternativa de futuro, por su alta eficiencia y mínima contaminación ambiental, para la generación distribuida de electricidad a escala industrial y para producir electricidad y calor en los hogares.

Los problemas planteados por los sistemas descentralizados y la necesidad de mantener la calidad del suministro requieren contadores bidireccionales que permitan discriminar entre la energía producida o consumida añadiendo nuevas funciones a

las disponibles hoy en día. La capacidad de las redes de transporte para responder a la demanda exigirá el desarrollo de dispositivos basados en electrónica de potencia para controlar el flujo de corriente en las redes facilitando la operación.

- *Tecnologías de almacenamiento y transporte de energía.*

El desarrollo de tecnologías de almacenamiento con mayor capacidad para almacenar energía, menor tiempo de respuesta, más eficaces que las actuales, y económicamente más competitivas, jugará un papel importante en el futuro modelo de suministro de electricidad. La posibilidad de utilizar hidrógeno como un medio para almacenar y transportar energía, el llamado vector energético, requiere disponer de sistemas que permitan su almacenamiento basados en depósitos criogénicos con mejores propiedades de aislamiento o en el desarrollo de tecnologías basadas en hidruros, nanotubos y compuestos de carbono. La generación de hidrógeno, producido hoy

a partir de combustibles fósiles o por electrólisis, podría basarse en utilizar las energías renovables para descomponer el agua o mediante procesos fotoquímicos. La implantación de estos sistemas impulsaría el papel de las renovables en el sistema eléctrico evitando el carácter intermitente de estos recursos.

Los sistemas de almacenamiento basados en desarrollos avanzados de baterías convencionales permitirán regular la potencia requerida por la red contribuyendo a la calidad de servicio demandada por los usuarios. La aparición de volantes de inercia convencionales o basados en superconductores significará un avance importante en aplicaciones de reposición de servicio, que continuará a largo plazo con los anillos basados en superconductores de alta temperatura que permitan almacenar la energía como campo magnético sin pérdidas.

Tecnologías más eficientes para reducir los costes de transporte en las redes eléctricas gracias a la utilización

diseño de la red eléctrica actual.

• *Tecnologías de uso limpio de combustibles fósiles para generar electricidad.*

La necesidad de cubrir la creciente demanda energética nos llevará a

*“La eficiencia energética como utilización óptima de recursos energéticos es clave para reducir el consumo implantando hábitos más racionales de consumo, introduciendo mejores sistemas de gestión y mejorando el rendimiento de los equipos”*

seguir recurriendo a combustibles fósiles sobre la base de su disponibilidad frente a otros combustibles, pero cumpliendo con el requisito de eliminar los impactos medioambientales ligados a su utilización. La necesidad de nuevas tecnologías limpias en las nuevas plantas energéticas para responder a las normativas de reducción de emisio-

plantas de uso limpio, que utilizarán calderas de carbón pulverizado con cámaras de combustión presurizada y los desarrollos en tecnologías de licuefacción y gasificación a costes competitivos con los actuales.

El control de las emisiones se basa en la implantación en los nuevos proyectos de centrales de sistemas, que eliminan los óxidos de nitrógeno o en el aprovechamiento de los combustibles pobres mediante la combustión en lecho fluidizado. Minimizar el impacto ambiental mediante el desarrollo de técnicas eficaces para capturar y almacenar el dióxido de carbono emitido.

El desarrollo de centrales avanzadas basadas en la incorporación de sistemas expertos en las plantas para así simplificar la operación mejorando su eficiencia y aumentando el rendimiento o en la utilización del gas natural para alimentar turbinas en centrales de ciclo combinado aprovechando el calor residual en un generador de vapor para producir más electricidad aumentando la eficiencia térmica. La repotenciación de plantas energéticas, modificando el sistema de combustión existente o mediante la introducción de sistemas que mejoren el rendimiento, es una técnica factible y disponible comercialmente para mejorar la efectividad de las plantas existentes. La incorporación de mejores tecnologías de catálisis aumentando la eficiencia de los procesos, implica una mejor comprensión de su desarrollo y mayores conocimientos que los actuales.

El objetivo de mejorar la eficiencia puede conseguirse alimentando las turbinas con gases pobres enriquecidos en hidrógeno abriendo el camino a la utilización de combustibles que hoy no resultan rentables. Una opción a largo plazo es el desarrollo de turbinas que utilizan directamente hidrógeno como combustible, lo que requerirá importantes avances en materiales.



Foto cedida por APPA

de nuevos materiales para cables y aislantes junto con la aplicación de los avances en materiales superconductores de alta temperatura en el diseño de nuevas aplicaciones e instalaciones configuran el cambio de

nes, requerirá disponer de plantas de demostración que permitan integrar distintas tecnologías y estudiar su eficiencia global.

Los requerimientos normativos y legales implicarán el desarrollo de

• *Diversificación energética en el sector transporte.*

El sector transporte, con un crecimiento continuado, requiere una revolución impulsada por su influencia en la calidad ambiental, ligado a nuevas tecnologías de propulsión que fomenten la diversificación energética. Además de la reducción de peso gracias a la utilización de materiales más ligeros y a la miniaturización de componentes, la alternativa que se vislumbra más cercana a los motores de combustión convencionales son los automóviles eléctricos, con baterías recargables, y los vehículos híbridos, utilizando electricidad con apoyo de un motor convencional, sobre todo en las denominadas flotas cautivas.

Los biocarburantes, bioetanol y biodiesel se emplearán como sustitutos de la gasolina y del gasóleo en los sistemas de transporte alcanzando cuotas de penetración en el mercado superiores al 2%.

Las pilas de combustible de tipo polimérico para automoción, consiguiendo rebajar los precios actuales y el empleo del hidrógeno combinado con gasolina, etanol o gas natural como sustituto de productos petrolíferos, reflejan nuevamente el futuro papel que puede jugar el hidrógeno como vector energético. Este papel requerirá disponer de sistemas de repostado con costes que permitan su penetración comercial.

El hidrógeno se utilizará como sustituto de los productos petrolíferos en los motores de combustión interna contribuyendo a la reducción de las emisiones.

• *Eficiencia energética.*

La eficiencia energética como utilización óptima de los recursos energéticos es un factor clave para reducir el consumo mediante la implantación de hábitos más racionales de consumo, la introducción de mejores sistemas de gestión y la mejora del rendimiento de

los equipos. Los consumos de energía en el sector residencial y terciario pueden reducirse significativamente mediante el uso de sistemas de iluminación con lámparas de bajo consumo y sensores que permitan definir el ambiente luminoso deseado así como sistemas de climatización más eficientes y autoregulables. La arquitectura bioclimática integra nuevos productos en los edificios lo que supone un factor muy importante en el ahorro energético al que se suma el que puede alcanzarse utilizando electrodomésticos de bajo consumo y la introducción de buenas prácticas de uso.

El peso sobre el consumo final de la energía del sector transporte puede reducirse actuando sobre los hábitos de los usuarios mejorando las



Foto cedida por APPA

prestaciones de los sistemas de transporte colectivo para disminuir el uso del vehículo privado, reduciendo el consumo específico de los automóviles, mejorando la eficiencia de los vehículos pesados para el transporte de mercancías por carretera y aumentando la diversificación de los sistemas de propulsión.

Con respecto al sector industrial, las actuaciones para disminuir la intensidad energética se basan en los sistemas de cogeneración, produciendo calor y electricidad, formando parte de un proceso de generación distribuida y la toma en consideración de criterios medioambientales para la toma de decisiones sobre la incorporación de nuevos productos en la industria estableciendo un sis-

tema global de gestión energética, que abarca desde el aprovisionamiento en función de los precios para cubrir sus necesidades hasta conseguir el máximo aprovechamiento de los residuos generados.

Estos resultados configuran una visión de futuro que permite enfocar las acciones a realizar hoy para que podamos afrontar en las mejores condiciones los retos que nos esperan.

## Conclusión

En esta primera fase del Programa de Prospectiva desarrollado por OPTI se ha conseguido movilizar a más de 5.000 expertos, obteniéndose un índice de respuesta del 32%, lo que avala plenamente la información obtenida y homologa el Programa español con los mejores ejercicios de prospectiva realizados en otros países.

Estos documentos de tendencias intentan servir de base a los procesos de toma de decisiones, en la planificación estratégica institucional y empresarial. Lo que se pretende es que las personas implicadas en estas actividades conozcan cuáles son las actuaciones que pueden realizar hoy, dónde dirigir los esfuerzos y cómo establecer prioridades canalizando los recursos disponibles en I+D+I para conseguir una posición más competitiva en su entorno de actuación.

## Bibliografía

- *Los tres Informes de Prospectiva Tecnológica Industrial y los documentos de tendencias en cada uno de los distintos sectores se pueden encontrar en formato electrónico en la página de publicaciones de la web de OPTI:*

***<http://www.opti.org/publicaciones.htm>***