

# LAS TENDENCIAS TECNOLÓGICAS EN EL SECTOR ESPAÑOL DE LA ENERGÍA.

.....  
**JUAN ANTONIO CABRERA JIMÉNEZ**  
**ANA CLAVER CABRERO**  
**FERNANDO SÁNCHEZ SUDÓN**

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)

**LA PROSPECTIVA ES UN PROCESO SISTEMÁTICO UTILIZADO PARA EXPLORAR EL FUTURO A LARGO PLAZO DE LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA, LA ECONOMÍA, EL MEDIO AMBIENTE Y LA SOCIEDAD MEDIANTE EL DESARROLLO DE VISIONES ALTER-**

73

nativas de lo que puede suceder. Los estudios de prospectiva tecnológica realizados por el CIEMAT entre los años 1999 y 2001, dentro del plan de trabajo de la fundación Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial (OPTI), han tenido como objetivo analizar el futuro tecnológico del sector energético, recopilando información sobre las áreas de investigación estratégica en que se apoyan y cuáles serán sus posibles escenarios de desarrollo en nuestro país.

Continuando su plan de trabajo, el OPTI abordó el objetivo de cómo difundir el conocimiento acumulado para hacer llegar esta información al mayor número posible de los actores del sistema de ciencia y tecnología. Para ello se ha desarrollado una metodología que, tomando como base los resultados obtenidos en estos estudios, ha permitido identificar cuáles serán las tecnologías que desempeñarán un papel más relevante en el sector de la energía a medio y largo plazo.

En la primera parte de este artículo se recoge un breve resumen de las características técnicas de los estudios de prospectiva citados anteriormente y de sus aspectos más relevantes. A continuación se explica la metodología seguida para agrupar los resultados en grandes tendencias tecnológicas, identificando las tecnologías asociadas a su desarrollo y estableciendo una serie de criterios para seleccionar cuáles eran las que se consideraban de mayor importancia. Finalmente, se enumeran

cuáles son estas tecnologías, con una breve descripción del papel que desempeñarán en el futuro del sector.

## ESTUDIOS DE PROSPECTIVA SOBRE LA ENERGÍA

En la primera fase del programa de prospectiva español el CIEMAT desarrolló tres estudios sobre «Energías renovables», «Tecnologías avanzadas de conversión de combustibles fósiles» y «Transporte, almacenamiento y uso final de la energía». El objetivo era 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. Cada estudio proponía varios temas, junto con una serie de variables relacionadas con la importancia y el impacto que tendría su materialización, cuándo se esperaba que ocurriese, la posición de España con relación a otros países de nuestro entorno y las medidas aconsejables para vencer las barreras existentes.

### ENERGÍAS RENOVABLES

La elección de las energías renovables para el primer estudio se basó en que es el subsector que presenta el mayor reto respecto a innovación tecnológica y desarrollo de mercado en nuestro país. El estudio se realizó entre julio de 1998 y febrero de 1999 mediante un cuestionario Delphi con 54 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 eran detectar la situación actual de nuestro país respecto a las tecnologías emergentes en este subsector, identificando las áreas potencialmente más favorables y las acciones que debían ponerse en marcha para mejorar la posición en que nos encontramos.

El cuestionario estaba estructurado en seis módulos, cinco específicos para cada una de las tecnologías renovables, biomasa, eólica, solar térmica y fotovoltaica, y un



sexto recogiendo temas de carácter general relacionados con el desarrollo del sector. Fue enviado a doscientos expertos en energías renovables obteniéndose una respuesta global del 37% en las dos rondas de la consulta Delphi.

A la hora de analizar las conclusiones del estudio debe tenerse en cuenta que este estudio se realizó antes de la publicación del real decreto sobre «Régimen especial de producción de energía eléctrica por energías renovables», por lo que algunas de las opiniones que reflejan los resultados podrían haber sido distintas ante la realidad actual, modificada por las nuevas condiciones legislativas.

### TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE CONVERSIÓN DE COMBUSTIBLES FÓSILES

Durante el período 1999-2000, y siguiendo la planificación de los trabajos del OPTI, se abordó un estudio con los objetivos de detectar las posibilidades tecnológicas existentes en el sector de los combustibles fósiles tratando de identificar las tecnologías emergentes en tres áreas:

✓ Tecnologías que permitan aumentar la eficiencia energética disminuyendo la cantidad de energía que es necesario consu-

mir 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 carbono).

✓ Tecnologías que permitan capturar y almacenar para su eliminación el CO<sub>2</sub> de las emisiones antes de alcanzar el medio ambiente.

El cuestionario, formado por 43 temas, se envió a 250 expertos, obteniéndose una respuesta global del 39% en las dos rondas de la consulta Delphi.

### TENDENCIAS TECNOLÓGICAS EN TRANSPORTE, DISTRIBUCIÓN, ALMACENAMIENTO Y USO FINAL DE LA ENERGÍA

El CIEMAT, para completar la visión prospectiva integrada del sector energético, abordó el el tercer estudio con el objetivo de evaluar la capacidad de las tecnologías existentes para mejorar la economía y flexibilidad del uso energético, así como las tecnologías emergentes en cuatro áreas:

■ Tecnologías que permitan la mejora del transporte y operación de los sistemas eléctricos: cables superconductores, fibra óptica de alta velocidad, nuevos sistemas de control, etc.

■ Tecnologías capaces de mejorar los actuales sistemas de distribución de energía para adaptarlos a los nuevos requerimientos de demanda, calidad del servicio y mercado.

■ Tecnologías que permitan el almacenamiento de la energía, que tendrán una incidencia decisiva en la integración de las energías renovables, eliminando su carácter intermitente, y en la regulación del sistema eléctrico: anillos de superconductores, almacenamiento de hidrógeno, volantes de inercia.

■ Tecnologías que favorezcan el uso eficiente de la energía en los sectores residencial y terciario, el transporte y en el sector industrial: cogeneración, eficiencia

energética en procesos industriales, eficiencia energética en el transporte.

El porcentaje global de respuestas obtenido para los 55 temas propuestos en las dos rondas de consulta para los 185 cuestionarios enviados fue del 30%.

### METODOLOGÍA

Los tres estudios de prospectiva realizados han permitido analizar 152 temas, sobre los que han opinado un total de 289 expertos, alcanzándose una respuesta global del 36% en las dos rondas del ejercicio Delphi. Los resultados que aparecen en los estudios, referenciados en la bibliografía, constituyen una fuente de información de gran valor sobre las tecnologías emergentes en el sector de la energía y cuáles serán los escenarios de futuro para su desarrollo a largo plazo en nuestro país.

La siguiente fase del plan de trabajo del OPTI consistió en elaborar los resultados de los estudios para hacer llegar la información pertinente al mayor número posible de los interesados en el futuro tecnológico. El objetivo era analizar los temas que habían alcanzado mayor importancia en los estudios y agruparlos en función de sus características comunes en grandes tendencias. A estas tendencias aparecían asociadas un conjunto de tecnologías ligadas a su materialización y que desempeñarán por tanto un importante papel en el futuro del sector. También se pusieron de manifiesto una serie de acontecimientos considerados críticos, por su posible influencia sobre los escenarios futuros.

Estas tareas han sido llevadas a cabo 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 CIE-MAT, bajo la coordinación del OPTI. La incorporación de expertos ajenos al ejercicio de prospectiva significaba contar con una opinión cualificada sobre el desarrollo de los estudios y una evaluación de los resultados obtenidos.



### TENDENCIAS TECNOLÓGICAS

En primer lugar, y sobre la base de los resultados de los tres estudios de prospectiva, el grupo de trabajo determinó cuáles eran los factores comunes existentes en cada uno de los temas que marcaban los diferentes caminos posibles para el desarrollo tecnológico. De esta forma, los temas se agrupaban en una serie de líneas de futuro con características similares que convergían en seis grandes tendencias:

- ✓ Diversificación energética mediante el uso de las energías renovables.
- ✓ Descentralización: sistemas distribuidos de energía eléctrica.
- ✓ Tecnologías de almacenamiento y transporte de energía.
- ✓ Tecnologías de uso limpio de combustibles fósiles para generar electricidad.
- ✓ Diversificación energética en el sector transporte.
- ✓ Eficiencia energética.

Dentro de estas tendencias aparecían agrupadas aquellas tecnologías ligadas a su desarrollo con funciones similares o que correspondían a métodos de producción que pueden funcionar conjuntamente. El nivel

de agrupación dentro de algunas de estas grandes tendencias aconsejaba, en algunos casos, establecer un segundo nivel de agrupación donde las tecnologías asociadas, aunque presentaban características comunes, podían ser diferenciadas entre sí por corresponder a aplicaciones específicas.

Para seleccionar de entre todas estas tecnologías cuáles pueden considerarse más importantes, se realizó una evaluación de cada una de ellas utilizando los resultados obtenidos en los estudios referentes a contar con la capacidad científica y técnica necesaria para abordar su desarrollo, y de las oportunidades para innovación, comercialización o producción que presentaba.

De esta manera, la relación entre la posición de España y el atractivo de las tecnologías permitía realizar un proceso de intercomparación donde destacaban las tecnologías consideradas críticas para el futuro del sector y que se presentan en el siguiente apartado.

### ACONTECIMIENTOS CRÍTICOS

Hay que tener en cuenta, a la hora de evaluar los posibles escenarios de futuro, la existencia de una serie de factores 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. En este sentido se han identificado los siguientes acontecimientos:

- ✓ Establecimiento de políticas energéticas específicas para conseguir que la contribución de las energías renovables a la energía primaria en España suponga un 12%.
- ✓ Establecimiento de políticas energéticas para conseguir que la eficiencia energética en España mejore conforme al Plan de acción de la UE.
- ✓ Normativa que exige la implantación de tecnologías limpias en las nuevas plantas energéticas basadas en los combustibles fósiles.
- ✓ Aplicación de los acuerdos internacionales alcanzados para el control de las emisiones (protocolo de Kioto).
- ✓ Liberalización e integración del mercado energético.
- ✓ Variaciones significativas en el precio de la energía relacionadas con acontecimientos geopolíticos.
- ✓ Incremento sostenido del consumo sobre los valores actuales, causando variaciones espectaculares en la demanda.

Además de estos acontecimientos, las medidas de política científica o tecnológica que puedan tomarse en cada momento sobre las distintas tecnologías influirán sobre el futuro de esa tendencia. Para medir esta evolución se ha seleccionado, para cada una de las tecnologías, un factor numérico que permita disponer de información cuantitativa sobre su grado de desarrollo. Se trata, así, de contar con información de origen estadístico o datos relacionados con cada una de las tecnologías identificadas como críticas, que permitan seguir el acercamiento o alejamiento de nuestro país en relación con su grado de implementación. Cada uno de los indicadores aparece asociado a la tecnología, cuyo desarrollo intenta medirse y será objeto de seguimiento periódico por parte del OPTI.



ambiente, consigan reducir de manera significativa los costes de generación. Se configura así una tendencia al desarrollo de sistemas flexibles y adaptables a la demanda con capacidad para contribuir a cubrir la demanda prevista.

Las energías renovables, por sus características intrínsecas, contribuirán de una manera clara a esta diversificación de las fuentes energéticas, garantizando el suministro y disminuyendo así la dependencia exterior. En este proceso se puede distinguir entre tecnologías cuyo desarrollo aparece asociado a conseguir una reducción de costes y otras ligadas a impulsar la integración de los sistemas renovables en la red eléctrica o en el sector de la edificación.

#### REDUCCIÓN DE COSTES

Las limitaciones detectadas en el desarrollo de una serie de tecnologías aparecen ligadas a factores económicos. Se considera necesario conseguir una reducción significativa respecto a los costes de inversión requeridos para construir una planta generadora económicamente competitiva con las actuales.

**Centrales solares termoelectricas.** La necesidad de construir las primeras instalaciones comerciales contribuirá al despeje de un sector industrial que todavía no tiene presencia en el mercado, pronosticando su realización a medio plazo. Esta visión se está haciendo realidad con proyectos basados en diseños de centrales en configuración híbrida, central electrosolar con apoyo de combustibles fósiles, o sólo solar, utilizando tecnologías de torre o de colectores distribuidos con producción directa de vapor en el colector.

**Aerogeneradores de grandes tamaños.** La utilización generalizada de aerogeneradores con potencias en el rango entre 1 y 3 MW es una opción favorable de inmediata materialización en España, que dispone de una posición favorable para su realización pero que necesita de un esfuerzo de desarrollo tecnológico y de reducción de costes. El desarrollo alcanzado está llevando actualmente a la producción en serie y a la comercialización de este tipo de máquinas.

#### TECNOLOGÍAS IDENTIFICADAS EN LAS TENDENCIAS

A continuación se presentan, para cada una de las tendencias identificadas en el análisis de los resultados de los ejercicios de prospectiva cuáles han sido las tecnologías que se consideran críticas para su desarrollo. Los detalles sobre el período de materialización, la situación actual en que se encuentra en nuestro país y las medidas que se aconseja tomar para impulsar su materialización aparecen en los estudios de la bibliografía.

#### DIVERSIFICACIÓN ENERGÉTICA MEDIANTE ENERGÍAS RENOVABLES

La liberalización del mercado eléctrico y los condicionantes medioambientales configuran un escenario de futuro orientado hacia la diversificación energética, con un aumento significativo en la utilización de energías limpias y un incremento en la eficiencia energética de los procesos. Esta situación abre el mercado energético a la libre competencia, con ventaja para aquellos agentes generadores que, cumpliendo con los condicionantes respecto al medio

### **Tecnologías que permitan la reducción de costes de fabricación a 200 euros/m<sup>2</sup> (costes actuales 300 euros/m<sup>2</sup>).**

En los últimos años se ha producido una reducción evidente en el coste de la inversión por kilovatio eólico instalado, respondiendo a la economía de escala y mejora del rendimiento de los aerogeneradores. El índice de crecimiento de la energía eólica en España ha sido elevado, y las previsiones perfilan una continuidad en este ritmo, que conducirá al abaratamiento de las máquinas.

### **Parques eólicos comercialmente competitivos en conexión a redes de distribución.**

Hoy día, la relevancia de la contribución de la energía procedente de parques eólicos al sistema energético del país es cada vez mayor, pero sin alcanzarse aún su límite de desarrollo. Se prevé un uso generalizado y competitivo en el mercado, en función del beneficio medioambiental de la tecnología y su aportación al autoabastecimiento.

### **Aerogeneradores sin caja de multiplicación y generadores síncronos multipolos.**

Actualmente la tecnología de sistemas de acoplamiento directo (sin caja de multiplicación) está ya presente en el mercado de la energía eólica. España está capacitada para abordar este desarrollo, observándose un crecimiento del número de fabricantes, y puede considerarse como una más de las opciones de diseño para su desarrollo futuro.

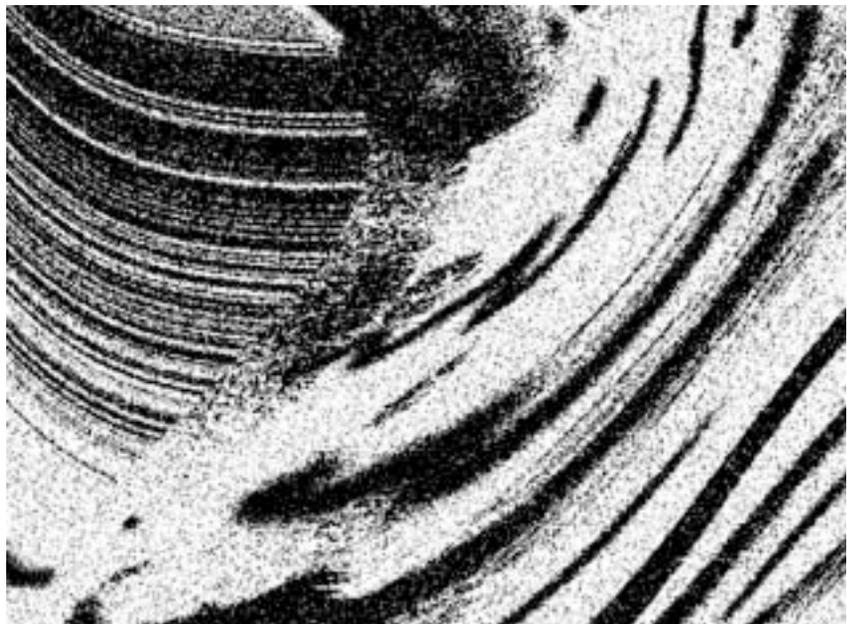
### **Módulos fotovoltaicos de lámina delgada de gran superficie, con rendimiento superior al 15%.**

Se perfila una tendencia hacia el desarrollo de células de lámina delgada basadas en nuevos materiales con mayor eficiencia de conversión. Se confía en estos innovadores componentes como solución a los problemas de coste y de rendimiento de los actuales sistemas fotovoltaicos basados en el silicio.

### **INTEGRACIÓN DE SISTEMAS RENOVABLES EN LA RED ELÉCTRICA**

---

Además de conseguir una disminución de los costes de producción es necesario superar limitaciones tecnológicas ligadas a la dificultad de conseguir que las fuentes re-



novables formen parte de la red eléctrica, lo que supone el desarrollo de las siguientes tecnologías:

### **Sistemas de concentración fotovoltaica.**

La utilización de sistemas de concentración óptica supondría un avance importante para la reducción de costes actuales de los sistemas de conversión fotovoltaicos por permitir la disminución del área de la célula solar. Es un objetivo a largo plazo cuya viabilidad comercial está limitada principalmente por la dificultad en la fabricación de los componentes, lentes y células de concentración, y por la complejidad de los sistemas necesarios, más sofisticados y aparatosos que los de un simple módulo fotovoltaico, que dificultan su propagación en el mercado.

### **Cultivos agroenergéticos en combinación con residuos agroforestales para producción de calor y electricidad.**

Se trata de una actividad emergente basada en desarrollar cultivos herbáceos y leñosos para producción de biomasa, que servirá de fuente energética para la producción de electricidad y/o calor. Se requiere el desarrollo de tecnologías avanzadas de conversión termoquímica (combustión en lecho fluido, gasificación y pirólisis), junto con la caracterización y estandarización de los diferentes tipos de biomásas de origen residual y de los cultivos energéticos.

### **Generalización del uso de biogás de vertederos como fuente energética.**

La tecnología está basada en la utilización de los gases producidos espontáneamente por la fermentación de las basuras depositadas en los vertederos para producción eléctrica. Se aprovecha el gas metano (en una proporción del 45% al 60% del biogás, en función de la composición del residuo), mediante un motor-alternador produciendo electricidad que se suministra a la red.

### **Utilización de generadores eléctricos sumergidos.**

La producción eléctrica mediante el aprovechamiento de pequeños saltos hidráulicos es tradicional en España, existiendo un marco legislativo y económico que favorece su explotación y ha revitalizado la construcción o la rehabilitación de este tipo de instalaciones. Se trata de una tecnología madura que cuenta con un mercado consolidado y capacidad industrial para abordar los desarrollos e incorporación de avances tecnológicos. La innovación aparece ligada al desarrollo de nuevos diseños de turbinas capaces de minimizar los impactos medioambientales y los daños sobre los sistemas acuáticos y piscícolas sin pérdida de eficiencia.

### **INTEGRACIÓN DE SISTEMAS RENOVABLES EN LA EDIFICACIÓN**

---

Un factor importante para conseguir aumentar la utilización de las energías reno-

vables es integrar los desarrollos existentes en el sector de la edificación, lo que supone medidas legislativas y normativas para impulsar la implantación generalizada de las siguientes tecnologías:

**Desarrollo de componentes fotovoltaicos para edificación.** La integración de sistemas fotovoltaicos en la edificación, formando parte de sistemas aislados o conectados a la red, constituirá en un corto espacio de tiempo el motor de despegue comercial de la industria fotovoltaica.

Ya ha iniciado la industria española el desarrollo y comercialización de los primeros componentes fotovoltaicos adaptados a su uso específico en el sector de la edificación. Nuevos materiales con una apariencia estética futurista que, además, producen energía eléctrica, como los módulos semitransparentes de gran superficie o los de sustrato cerámico para adaptación en construcción se perfilan en un horizonte cercano de realización.

**Utilización generalizada de sistemas solares para suministro de agua caliente sanitaria en hogares con sistemas centralizados y descentralizados.** La instalación de sistemas de agua caliente sanitaria no ofrece ninguna dificultad tecnológica. Es un sector con total madurez comercial en España, pero, a pesar de esta experiencia, sólo existen actualmente 400.000 m<sup>2</sup> instalados, que contrastan con los valores de otros países europeos menos favorecidos en cuanto a potencial solar. Las instalaciones de agua caliente sanitaria son aplicables, bien a una vivienda unifamiliar o bien a instalaciones centralizadas en urbanizaciones, centros comerciales, industriales o deportivos, residencias, colegios, hoteles, etc.

Aunque no tiene problemas técnicos, sí existen actualmente ciertas dificultades en las condiciones legales y administrativas para conseguir la implantación generalizada de estos sistemas, que una vez solucionados modificarán la red de distribución eléctrica actual.

El sistema eléctrico actual plantea problemas a la adquisición de la energía producida por sistemas descentralizados, basados principalmente en el aprovechamiento de recursos renovables y de cogeneración, sobre la base de su mayor coste adicional en comparación con los productores ordinarios. Sin embargo, en este debate adquiere cada vez mayor relevancia la necesaria consideración de los costes externos asociados a las repercusiones medioambientales de cada sistema.

Las energías renovables desempeñarían un papel relevante en el diseño de un sistema de generación descentralizado, por lo que al hablar de esta tendencia de descentralización tendrían cabida todas las tecnologías descritas en el apartado anterior, con referencia a la «diversificación energética mediante el uso de las energías renovables».

Todos estos comentarios serían aplicables tanto a la transformación que pudiera sufrir el sistema eléctrico español como a los cambios en los sistemas eléctricos de los países en vías de desarrollo, que serían usuarios potenciales de estas tecnologías si en su estrategia adoptasen este nuevo concepto de sistemas descentralizados, favoreciendo la diversificación y el autoabastecimiento energético.

Las tecnologías aparecen asociadas al desarrollo de sistemas de cogeneración, las pilas de combustible y a garantizar la calidad de suministro.

y electricidad supone una mejora en la eficiencia del balance energético de los procesos productivos.

**Sistemas de cogeneración.** El control de la combustión, la reducción de pérdidas, el aprovechamiento de energía en cascada en los procesos y la cogeneración serán métodos generalizados en los próximos años, que permitirán alcanzar mejoras de hasta un 30% de eficiencia en los procesos térmicos directos (hornos, secaderos, etc.).

La cogeneración, entendida como un proceso de generación distribuida y cuya utilización se extendería tanto en el sector industrial como en el terciario, se basaría en utilizar turbinas de gas o pilas de combustible, superando las barreras tecnológicas y económicas, aprovechando que se dispone de la capacidad científica necesaria para su desarrollo.

#### PILAS DE COMBUSTIBLE

Son dispositivos donde la energía de una reacción química se convierte en electricidad sin combustión. Se trata de uno de los sistemas más prometedores en cuanto a alternativa de futuro, por su alta eficiencia y mínima emisión de contaminantes. Pueden utilizar hidrógeno como combustible, transformándose directamente en energía eléctrica en un proceso similar al de una batería convencional. El hidrógeno aparece formando parte de otros compuestos, como el gas natural, metano, propano, etanol o gasolina, de donde puede extraerse para su utilización en la pila.

**Pilas de combustible en aplicaciones de generación distribuida a escala industrial y en los hogares para cogeneración de calor y electricidad.** El desarrollo de centrales basadas en pilas de combustible implica realizar un esfuerzo de desarrollo, unido al requerido para configurar un sistema eléctrico distribuido. La utilización en pequeñas unidades descentralizadas es también una tecnología prometedora, de interés para las empresas, por sus posibilidades de mercado.

El lanzamiento de esta tecnología en las diferentes aplicaciones posibles depende de establecer vías de colaboración entre los centros de investigación o tecnológi-

## SISTEMAS DISTRIBUIDOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La producción distribuida consiste en la instalación de sistemas para la generación de electricidad en emplazamientos cercanos a los puntos de consumo, evitando las pérdidas en el transporte y distribución, disminuyendo así la necesidad de realizar inversiones en nuevos tendidos eléctricos.

### COGENERACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS RESIDUALES EN PROCESOS TÉRMICOS

Los sistemas de cogeneración se basan en recuperar el calor disipado en una turbina o un motor, convirtiéndolo en vapor o agua caliente mediante un intercambiador. Esta producción combinada de calor

cos con la industria. Actualmente existen grupos presentes en los principales proyectos europeos de desarrollo, por lo que se requiere un impulso de la Administración.

### TECNOLOGÍAS GARANTES DE LA CALIDAD DE SUMINISTRO

La nueva configuración de la red eléctrica exige contar con un sistema de transporte que garantice el suministro, asegurando la correspondencia entre la producción y la demanda, y el mantenimiento de las exigencias de calidad.

**Contadores bidireccionales.** Estos contadores permitirían medir la diferencia entre la energía suministrada por la red a la que un usuario autoprodutor está conectado y los excedentes de la electricidad generada por éste, que son vertidos a la mencionada red.

Estos dispositivos forman parte de una nueva generación de contadores más complejos que los actuales y que añaden nuevas funciones a las disponibles hoy día para el usuario, como la información sobre el precio del kilovatio, que facilitaría la posibilidad de cambiar de suministrador en un contexto liberalizado del mercado.

**Dispositivos basados en electrónica de potencia.** La búsqueda de equipos que permitan aumentar la capacidad de transporte de potencia en las redes actuales plantea la utilización de nuevas tecnologías como los FACTS, sistemas de transporte flexible en corriente alterna. Los FACTS designan una familia de equipos que puede utilizarse de forma individual o conjunta, basada en electrónica de potencia y que permite controlar el flujo de potencia por las redes de una forma más adecuada a la operación.

### TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

Los cambios que se avecinan en el sector eléctrico ofrecen un escenario de futuro



en el que surgirá un amplio abanico para usos innovadores de almacenamiento, en función de la disponibilidad de tecnologías más eficaces y económicamente más competitivas que las actuales.

Los sistemas de almacenamiento desempeñarán un importante papel en la integración de los sistemas renovables a la red eléctrica, al eliminar los problemas generados, por su carácter discontinuo, en el funcionamiento de la red de distribución, ya que sirven de base a una serie de aplicaciones cuyo objetivo es asegurar el suministro, aumentar la capacidad y garantizar el servicio al usuario, y en la implantación de nuevos sistemas de propulsión para la automoción.

Las tecnologías identificadas aparecen ligadas al papel del hidrógeno en el futuro energético, la introducción de mejoras significativas en las tecnologías de almacenamiento actuales y el desarrollo de nuevas tecnologías para su aplicación en el transporte de electricidad.

### EL HIDRÓGENO, NUEVA BASE PARA LA ECONOMÍA ENERGÉTICA

Utilizar el hidrógeno para almacenar y transportar la energía, el llamado vector energético, abre un gran número de posibilidades de aplicación. Se trata del elemento más abundante en el universo, que

puede utilizarse con gran eficiencia en reacciones con oxígeno para obtener energía sin emisiones contaminantes. Presenta un aprovechamiento limpio y es versátil, con muchos usos energéticos posibles, tanto en uso directo como combustible o como aditivo para mejorar la eficiencia de otros combustibles.

Las dificultades aparecen ligadas a la obtención de mejores tecnologías para su almacenamiento, al desarrollo de sistemas eficientes de producción de bajo coste y a la creación de la necesaria infraestructura de distribución.

**Hidruros metálicos para almacenamiento de hidrógeno.** Esta tecnología está basada en la capacidad de ciertos metales y aleaciones de combinarse con el hidrógeno, formando compuestos denominados hidruros metálicos, que tienen la propiedad de descomponerse al ser calentados, desprendiendo el hidrógeno previamente absorbido.

Disponer de materiales con capacidad de absorción suficiente, que puedan operar en un rango de temperaturas adecuado, son temas de investigación actual, apareciendo lejos su desarrollo comercial.

**Almacenamiento de hidrógeno líquido en depósitos criogénicos con superaislamiento.** La licuefacción del hidrógeno

no es una técnica que facilita su almacenaje y transporte en condiciones de seguridad, haciendo viable la utilización del hidrógeno en muchas aplicaciones.

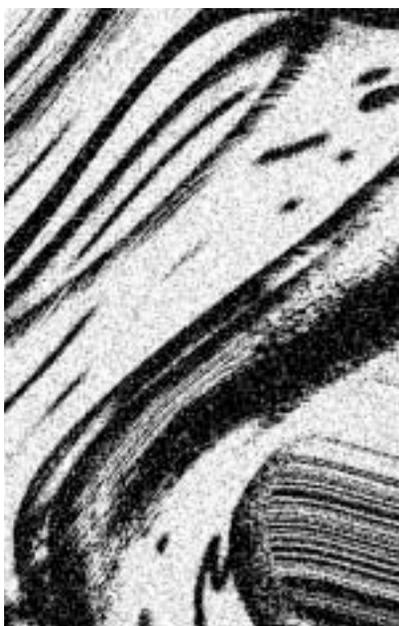
Para su empleo en aplicaciones estacionarias es necesario aumentar la eficiencia de los sistemas comerciales disponibles actualmente. Las investigaciones de estas tecnologías se dirigen a la mejora de la energía contenida por unidad de volumen o peso y al aumento de la eficiencia.

**Almacenamiento de hidrógeno en nanotubos y fibras de carbono.** Uno de los sistemas de almacenamiento con probabilidad de éxito en el futuro está basado en la tecnología de nanotubos, cilindros huecos de carbono de tamaño micrométrico cuya pared está formada por una única capa de átomos de carbono. Entre las propiedades de estos materiales está la de poder absorber una gran cantidad de moléculas de hidrógeno en el interior de su red cristalina a temperatura ambiente, que son capaces de liberar cuando se eleva la temperatura. Las investigaciones en este tema se centran en conseguir mayores concentraciones del hidrógeno absorbido y operación en diferentes rangos de temperaturas.

**Conversión de la energía procedente de fuentes limpias o renovables en hidrógeno como vector energético.** La electricidad producida mediante distintas fuentes energéticas se utilizaría para descomponer el agua en hidrógeno y oxígeno por medio de procesos de electrólisis. También podría utilizarse en procesos, de fotólisis utilizando electrodos semiconductores para absorber la luz solar y descomponer directamente el agua mediante una reacción química. La implantación de estos sistemas supondría un impulso a la integración de las energías renovables en el sistema eléctrico.

#### OTROS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Los sistemas utilizados para almacenar energía han tenido un uso limitado, por su baja capacidad, su largo tiempo de respuesta para cubrir la demanda y su elevado coste. Disponer de tecnologías más efi-



caces y económicamente competitivas tendría un gran impacto en los sistemas de generación, transmisión y distribución de la electricidad.

**Baterías convencionales para la regulación de potencia requerida por la red.** Las baterías avanzadas tratan de optimizar parámetros de funcionamiento como la capacidad de almacenamiento, el tiempo de descarga, los ciclos de carga y descarga, volumen y peso. Las más prometedoras son desarrollos de las de plomo convencionales, como baterías de plomo ácido estacionarias o las reguladas por válvula (Valve-Regulated Lead Acid). Además, se investiga sobre nuevos materiales para electrodos, como sodio y zinc o bromo.

**Volantes de inercia convencionales.** Son sistemas compuestos por un disco o un cilindro que gira a gran velocidad almacenando la energía que le proporciona una fuente externa en forma de energía cinética. Cuando se produce un fallo en el suministro o se necesita energía adicional en la red el volante se acopla al generador de un motor y produce electricidad. La energía que puede almacenar el sistema es proporcional al cuadrado de la velocidad de giro y está limitada por las tensiones en el material del volante, los rozamientos entre el volante y el rotor del motor y la fricción con el aire.

**Volantes de inercia para almacenamiento de electricidad basados en superconductores.** Continuando el desarrollo del período anterior aparece la aplicación de las tecnologías de superconductividad a los volantes. La combinación de ambos permitirá disminuir los problemas de fricción que presentan los volantes convencionales, conseguir velocidades de giro muy superiores, simplificar el diseño, contribuyendo a conseguir el incremento de los tiempos de acumulación. El tema clave es de tecnologías de materiales adecuados para estas aplicaciones y con las características de resistencia necesarias.

**Sistemas basados en anillos superconductores, donde la energía se almacena como campos magnéticos.** La corriente eléctrica puede almacenarse en la forma de un campo magnético creado por una corriente eléctrica que circula por los hilos de una bobina. En un material conductor convencional, la energía magnética se disipa en forma de calor, debido a la resistencia del hilo, pero si se trata de un material superconductor no existe resistencia y la energía se puede almacenar indefinidamente.

#### TECNOLOGÍAS MÁS EFICIENTES Y BARATAS EN EL TRANSPORTE ELÉCTRICO

La construcción de nuevos tendidos eléctricos para cubrir el crecimiento de la demanda se ve afectada por el coste de los materiales y por los gastos de conservación y reparación necesarios para mantener un correcto funcionamiento de la red. Las previsiones de demanda y generación, teniendo en cuenta las localizaciones respectivas, los planes de desarrollo de la red de transporte (líneas, subestaciones, transformadores, componentes), que se estima permitirán garantizar el suministro a los usuarios y asegurar la evacuación desde los centros de generación en las debidas condiciones, proponen un aumento de la red de transporte, hasta el año 2006, cuantificable en unos 7.200 km de nuevos circuitos y 15.800 MVA de transformación.

**Nuevos sistemas de cables y aislantes en redes de transporte para grandes distancias.** Se necesita disponer de nuevos materiales que permitan fabricar cables ca-



desarrollo y demostración, ya que presenta una gran eficiencia de generación, unida a una tasa de emisiones muy baja. En las plantas de ciclo combinado (IGCC), el carbón se gasifica bajo presión y el gas combustible se quema en una turbina, generando alrededor de dos tercios de la electricidad de la planta. Los gases calientes de la turbina pueden usarse para generar vapor, que es, a su vez, utilizado en una turbina convencional para producir el resto de la energía de la generada en planta. Las plantas IGCC garantizan el uso limpio y eficiente del carbón, constituyendo un factor de competitividad que puede reducir el plazo para su incorporación al mercado una vez reducidos los costes de inversión.



#### CONTROL DE EMISIONES

El cumplimiento de los objetivos normativos está asociado a la eliminación de los impactos causados, y esto supone la incorporación de nuevas tecnologías limpias con menor impacto ambiental, una mejora de la eficiencia basada en el diseño de plantas con mayor rendimiento, la eliminación de NOx, SOx y CO<sub>2</sub> de los gases de combustión y el almacenamiento de CO<sub>2</sub> y otros gases de invernadero.

Las emisiones de partículas, unidas a las de óxidos de nitrógeno y azufre, son grandes preocupaciones medioambientales. No hay que olvidar que la materia particulada puede transportar otros compuestos orgánicos persistentes, con el peligro que esto conlleva. Constituyen así un punto crítico que determina la calidad de los combustibles. En la medida en que la legislación exija más especificaciones en cuanto a emisiones, como el tamaño de la materia particulada, con especial atención a las partículas ultrafinas, forzará al productor a modificar y mejorar la calidad del combustible.

**Sistemas avanzados de combustión de baja emisión de NO<sub>2</sub>.** Las técnicas utilizadas actualmente para reducir los NOx incluyen la instalación de quemadores de baja emisión, la inyección de aire secundario o de reactivos, y de combustible a diferentes niveles mediante técnicas de combustión escalonada.

Se continúa explorando el desarrollo de sistemas más sofisticados y eficaces para alcanzar niveles de reducción más elevados.

**Combustión en lecho fluidizado.** La combustión en lecho fluidizado permite el aprovechamiento de combustibles pobres, como residuos y carbón de mala calidad, en términos aceptables en cuanto a su eficiencia de combustión e impacto medioambiental. Como opera a temperaturas de combustión relativamente bajas, se reduce la formación de NOx, lo que permite la inyección en el lecho de reactivos de absorción química para la eliminación de los óxidos de azufre. Aun así, este tipo de combustión admite mejoras en los procesos de depuración de humos mediante la incorporación de conceptos avanzados para el control de las emisiones.

**Almacenamiento del CO<sub>2</sub> de las centrales de carbón.** Si se quiere conseguir plantas avanzadas de futuro, con mínimo impacto ambiental en cuanto a emisiones, será vital la incorporación de tecnologías que permitan capturar y almacenar con seguridad el dióxido de carbono emitido.

Es previsible la aparición y desarrollo de nuevos conceptos tecnológicamente viables que permitan dar un salto cualitativo en los sistemas actuales de eliminación de CO<sub>2</sub>

#### CENTRALES AVANZADAS

El desarrollo tecnológico permite la construcción de centrales basadas en nuevos conceptos y en los avances producidos en otras tendencias.

**Sistemas expertos para gestión automatizada de procesos en plantas.** La utilización de sistemas expertos simplifica la operación y mejora el rendimiento de los procesos que se desarrollan en todo tipo de plantas. Conviene tener presente que el acertado desarrollo de éstos está ligado al conocimiento real de los procesos de producción. Es importante saber trasladar el conocimiento adquirido en producción a la ciencia e investigación, incorporándolo al diseño de sistemas expertos.

**Centrales de gas de ciclo combinado.** La disponibilidad, en los últimos años, de gas natural a bajo precio y las ventajas en cuanto a emisiones de este combustible han llevado a la instalación de centrales con turbinas de gas de alta temperatura para generar electricidad acopladas a un generador de vapor combinando ambos ciclos.

Aprovechando los gases de combustión se consigue un mayor rendimiento y una reducción en el coste respecto a las centrales convencionales.

**Repotenciación de plantas energéticas.** La repotenciación puede realizarse utilizando la planta existente con un ciclo combinado basado en gas natural, o instalando un recuperador en el generador de vapor a través de la misma turbina y los equipos auxiliares existentes. En el primer caso, la eficiencia es mayor, ya que en el segundo dependerá de la edad de los equipos y del diseño de la turbina.

La sinergia en la utilización de diversas energías es un aspecto muy relevante que ha de considerarse. No se necesita tanto el desarrollo de nuevos equipos como el planteamiento de sistemas complejos de operación que permitan mejorar la efectividad de la planta, siendo, por tanto, una técnica totalmente factible y que ya está disponible comercialmente.

**Tecnologías de catálisis.** La incorporación de mejores tecnologías de catálisis





### Mejoras del 30% en la eficiencia del transporte de mercancías.

La mejora de la eficiencia energética de un vehículo pesado depende de la utilización de tecnologías, equipos y combustibles con un rendimiento energético superior. Los motores actuales de propulsión de camiones integran sistemas de turboalimentación, inyección electrónica de combustible y otros avances tecnológicos que han permitido mayores potencias y mejores prestaciones. En la materialización de este tema entran en juego más factores que éstos, referidos a los avances en las tecnologías energéticas para el transporte, cuyo análisis transcurre nuestro estudio, como el desarrollo de las infraestructuras terrestres de transporte, referidas con prioridad a la construcción de autovías y autopistas.

### Mejoras tecnológicas en el transporte colectivo permiten sustituir al privado en un 10%.

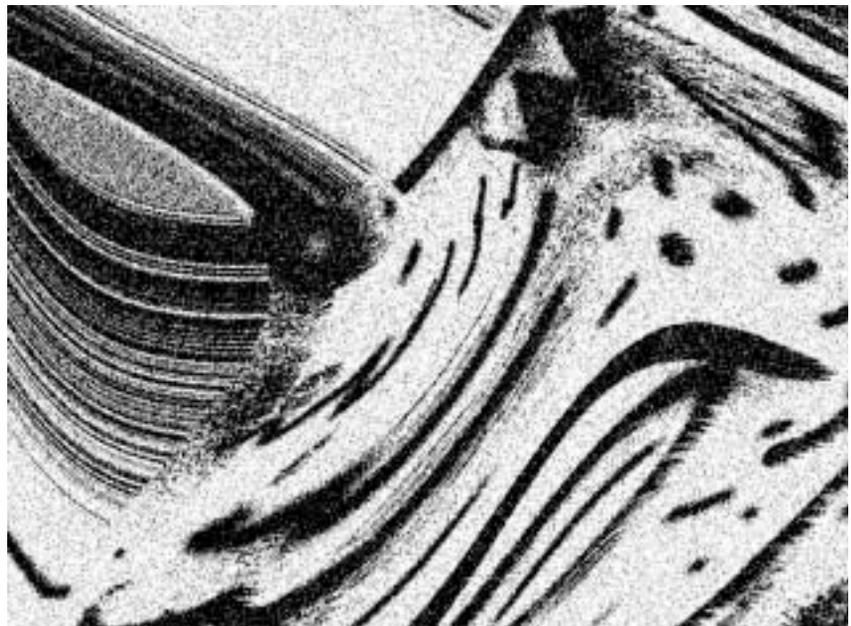
Para conseguir la reducción de este porcentaje, una de las soluciones es la disminución de los hábitos de uso del vehículo privado, en particular en entornos urbanos, impulsando la creación de sistemas de transporte colectivos, que son seis veces más efectivos que los vehículos privados, y más atractivos en cuanto a comodidad, precio y seguridad.

Respecto a las posibles mejoras tecnológicas, hay que considerar:

- El desarrollo de tecnologías innovadoras en materiales y nuevos diseños para la fabricación de vehículos más ligeros, avances tecnológicos que mejoren el *ratio* de carburante consumido por kilómetro recorrido, sistemas de diagnóstico a bordo que permitan detectar fallos en el vehículo y reducir niveles de emisión, mejoras en la calidad de los combustibles, etc.

- Implementación de nuevas tecnologías para propulsión de vehículos que faciliten la utilización de carburantes no derivados del petróleo: pilas de combustible, bio-combustibles líquidos como alternativa de carburante, vehículos híbridos o propulsados por gas natural.

- Incorporación de los desarrollos en las tecnologías de información para aplicar en la gestión de flotas de vehículos y en la optimización del tráfico.



### RACIONALIZACIÓN ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA

En los últimos años, la modernización del tejido industrial español ha influido positivamente en un aumento de la eficiencia energética de los procesos industriales. En este tipo de procesos hay varias actuaciones que determinan las tendencias de consumo energético menos intensivas:

- ✓ La introducción de tecnologías de fabricación y/o equipos de mayor rendimiento energético.
- ✓ La optimización, regulación y control de los procesos industriales: regulación electrónica de velocidad en motores, control de cargas eléctricas, algoritmos predictivos, etc.
- ✓ El aprovechamiento de calores residuales.
- ✓ Los sistemas de cogeneración (generación simultánea de calor y electricidad).
- ✓ La introducción de tecnologías de fabricación y/o equipos de mayor rendimiento energético.

**Sistemas de cogeneración en edificios del sector terciario.** El sector terciario es un gran consumidor de energía, que la

utiliza para calefacción, aire acondicionado, sistemas de iluminación y otros consumos. Es un sector heterogéneo y en continuo crecimiento. No olvidemos que incluye edificios de la Administración, oficinas, centros comerciales, educativos, y el turismo, una de las actividades más prometedoras y activas del país.

La estructura del consumo en el sector terciario corresponde en un 65% a electricidad, y el resto, a derivados del petróleo y gas, que cubre usos térmicos (calefacción y otros). Con estas características, es un sector en el que resultan apropiados los sistemas de cogeneración.

**Nuevos procesos que reducen un tercio el consumo en la industria.** La toma en consideración de criterios energéticos y medioambientales en la toma de decisiones relacionadas con la incorporación de nuevos productos o la modificación de los procesos utilizados condiciona el desarrollo final y el ritmo de incorporación de nuevas tecnologías capaces de incidir sobre el uso final de la energía en la industria.

Las empresas deben establecer un sistema global de gestión energética que abarque desde el aprovisionamiento de energía, para cubrir sus necesidades en función de los precios del mercado, hasta cómo apro-

