



COMISIÓN
EUROPEA

Investigación comunitaria

La Energía del hidrógeno y las Pilas de combustible

Una visión para nuestro futuro



¿Le interesa la investigación europea?

Nuestra revista **RTD info** le mantiene informado de las noticias principales (resultados, programas, acontecimientos, etc.) en ese sector.

RTD info está disponible gratuitamente, mediante solicitud, en alemán, francés e inglés:

Comisión Europea
Dirección General de Investigación
Unidad de Comunicación
B-1049 Bruselas
Fax: (32-2) 295 8220
E-mail: research@cec.eu.int
Website: http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo_en.html

COMISIÓN EUROPEA

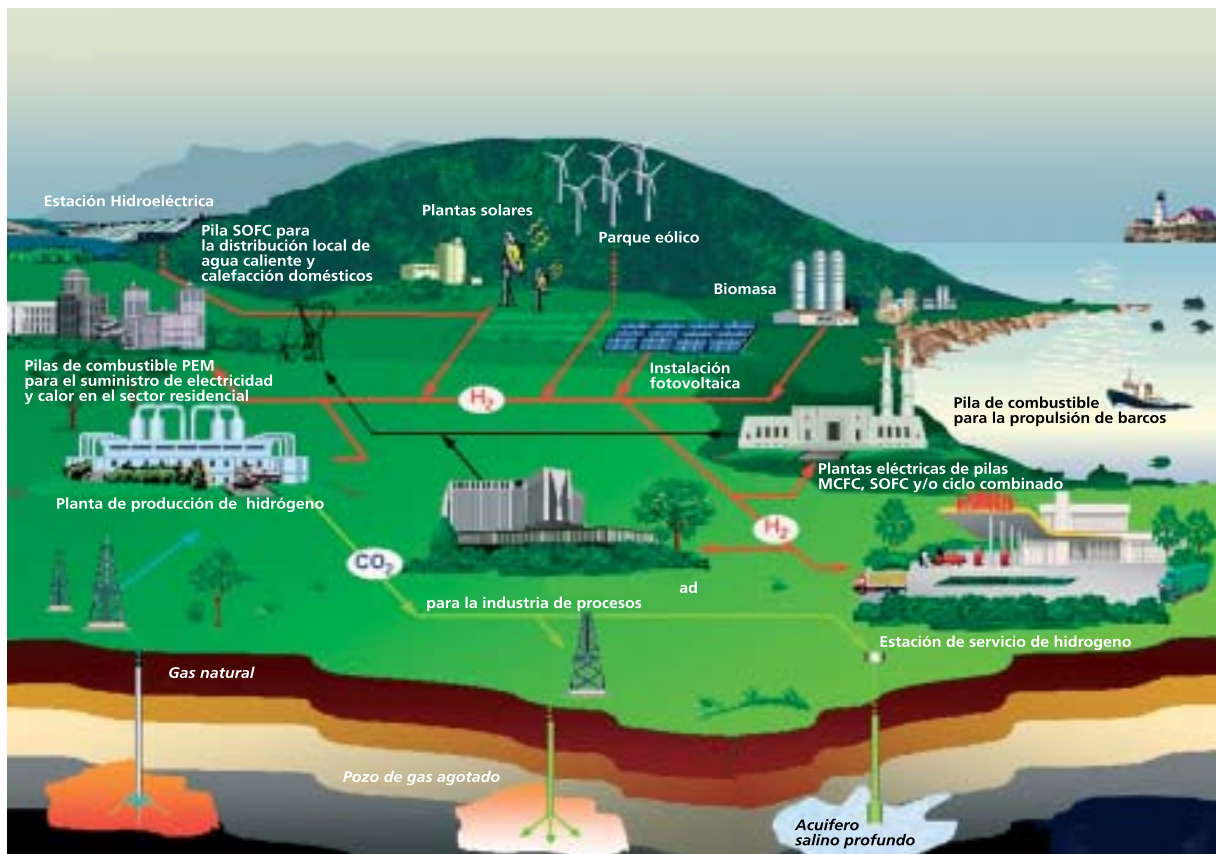
Dirección General de Investigación
Dirección J – Energía
Unidad J-2 – Sistemas de conversión y de transporte de la energía
B-1049 Bruselas
Helpdesk: rtd-energy@cec.eu.int
Internet: http://europa.eu.int/comm/research/energy/index_en.html

Dirección General de Energía y Transportes
Dirección D – Energías Nuevas y Control de la Demanda
Unidad D-4 – Transportes limpios
B-1049 Bruselas
Internet: http://europa.eu.int/comm/energy_transport/en/cut_en.html

Para más información, consulte el sitio web de CORDIS:
<http://www.cordis.lu/sustdev/energy/>

La Energía del hidrógeno y las Pilas de combustible

Una visión para nuestro futuro



Este es el aspecto que podría tener un sistema energético integrado en el futuro. Combinaría pilas de combustible grandes y pequeñas para generar electricidad doméstica y descentralizada. También podrían utilizarse redes locales de hidrógeno para alimentar vehículos convencionales o de pilas de combustible.

Europe Direct es un servicio destinado a ayudarle a encontrar respuestas a las preguntas que pueda plantearse sobre la Unión Europea

Un nuevo número de teléfono único y gratuito:
00 800 6 7 8 9 10 11

AVISO JURIDICO

Ni la Comisión Europea ni nadie que actúe en su nombre es responsable del uso a que pudiera destinarse las informaciones contenidas en esta publicación.

Las opiniones expresadas en esta publicación son responsabilidad exclusiva del autor y no reflejan las opiniones de la Comisión Europea.

Puede obtenerse información sobre la Unión Europea a través del servidor Europa en la siguiente dirección de Internet: <http://europa.eu.int>.

Al final de la obra figura una ficha bibliográfica.

Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, 1999

ISBN 92-894-6282-5

© Comunidades Europeas, 1999

Reproducción autorizada, con indicación de la fuente bibliográfica.

Printed in Belgium

IMPRESO EN PAPEL BLANQUEADO SIN CLORO

Origen del presente documento

Muchos consideran que el hidrógeno y las pilas de combustible constituirán soluciones esenciales para el siglo XXI, haciendo posible la producción eficiente de calor y electricidad a partir de distintas fuentes de energía primaria. Creado en octubre de 2002 por Loyola de Palacio, Vicepresidente de la Comisión Europea y Comisaria de Energía y Transporte, y por Philippe Busquin, Comisario de Investigación, el Grupo de alto nivel sobre el hidrógeno y las pilas de combustible recibió el encargo de formular una visión colectiva de la aportación que podrían hacer el hidrógeno y las pilas de combustible a la realización de sistemas de energía sostenibles en el futuro.

Se ha elaborado el presente informe final como continuación del informe resumido presentado en la Conferencia «La economía del hidrógeno: un puente hacia la energía sostenible» celebrada en Bruselas los días 16 y 17 de junio de 2003. El mandato recibido por el Grupo pedía la preparación de un informe que delineara las actividades de investigación, de despliegue y de tipo no técnico que resultarían necesarias para pasar de la actual economía basada en la energía de los combustibles fósiles a una futura economía sostenible orientada al hidrógeno con convertidores de energía de pilas de combustible.

Se pidió al Grupo de alto nivel, integrado por 19 representantes de la comunidad investigadora, la industria, las autoridades públicas y los usuarios finales (la lista de sus miembros figura en el anexo I), que adoptara la perspectiva de las partes interesadas, no de las empresas. El informe se elaboró con la ayuda de los «sherpas» de los miembros del Grupo de alto nivel, así como de redactores técnicos, la lista de los cuales figura en el anexo II.

El informe pretende reflejar una visión colectiva y unas recomendaciones consensuadas. Aun cuando los miembros del Grupo suscriban el punto de vista colectivo que el informe representa, es posible que su opinión personal sobre algunos aspectos del informe sea diferente.

EXENCIÓN DE RESPONSABILIDAD

El presente documento ha sido preparado en nombre del Grupo de alto nivel sobre tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible. La información y las opiniones en él contenidas constituyen el punto de vista colectivo del Grupo, no el particular de cada uno de sus miembros ni el de la Comisión Europea. Ni el Grupo de alto nivel, ni la Comisión Europea, ni ninguna persona que actúe en su nombre serán responsables de la utilización que pueda hacerse de la información contenida en la presente publicación.

Prefacio

La energía constituye la savia de la sociedad y de la economía actuales. Nuestro trabajo, nuestro ocio y nuestro bienestar económico, social y físico dependen de que el abastecimiento de energía sea suficiente y no se interrumpa. Sin embargo, actuamos como si estuviera garantizado, y la demanda de energía continúa creciendo año tras año. Las fuentes de energía tradicionales basadas en combustibles fósiles tales como el petróleo son limitadas, y el creciente desfase entre una demanda en aumento y una oferta en retroceso tendrá que ser compensado, en un futuro no muy lejano, utilizando fuentes de energía primaria alternativas. Tenemos que esforzarnos por que éstas resulten más sostenibles y así conjurar los efectos negativos del cambio climático planetario, el riesgo creciente de perturbaciones del abastecimiento, la volatilidad de los precios y la contaminación de la atmósfera asociados a los sistemas energéticos actuales. La política energética de la Comisión Europea⁽¹⁾ aboga por garantizar la seguridad del abastecimiento de energía y reducir al mismo tiempo las emisiones asociadas con el cambio climático. Esto exige actuaciones inmediatas de fomento de las fuentes de energía que no generan emisiones de gases de efecto invernadero, tales como las renovables, de los combustibles alternativos para el transporte y del aumento de la eficiencia energética.

En este contexto, dos tecnologías están atrayendo la atención de las autoridades públicas y del sector privado: el hidrógeno, vector energético limpio que puede producirse a partir de cualquier fuente de energía primaria, y las pilas de combustible, dispositivos muy eficientes de conversión de energía. El hidrógeno y las pilas de combustible, al hacer posible la denominada energía del hidrógeno, prometen como ninguna otra tecnología disipar nuestras inquietudes en materia de seguridad del abastecimiento y cambio climático.

Teniendo en mente estos factores, en octubre de 2002 establecimos un Grupo de alto nivel sobre el hidrógeno y las pilas de combustible y solicitamos a sus miembros que elaboraran en seis meses una visión colectiva sobre el modo en que estas tecnologías podrían contribuir a satisfacer las aspiraciones europeas en materia de sistemas energéticos sostenibles. El presente informe es resultado de esa petición y constituye, a nuestro parecer, un primer hito.

El informe subraya la necesidad de efectuar una planificación estratégica y de redoblar los esfuerzos en materia de investigación, desarrollo y despliegue de las tecnologías del hidrógeno y de las pilas de combustible. Formula asimismo unas recomendaciones generales relacionadas con la mayor estructuración del enfoque europeo en materia de política e investigación sobre energía, la educación y la formación y la sensibilización de los políticos y la población. Destaca entre sus recomendaciones la de establecer un Consorcio sobre tecnología del hidrógeno y las pilas de combustible y un Consejo consultivo para guiar este proceso.

(1) Libro Verde - Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético, COM (2000) 769.

La seguridad del abastecimiento de energía es una preocupación esencial de la Unión Europea. Mientras que la producción del Mar del Norte alcanza su valor máximo, se prevé que nuestra dependencia del petróleo importado, procedente en buena parte de Oriente Medio y esencial para los sistemas de transporte de hoy en día, pase del 75 % actual a más de un 85 % para 2020. Hemos sido también testigos de los trastornos y pérdidas económicas ocasionadas por los graves cortes del suministro eléctrico padecidos recientemente en América del Norte y en Italia, que ilustran la necesidad de reforzar la seguridad del abastecimiento. En la cumbre trasatlántica celebrada el 25 de junio de 2003 en Washington, el Presidente Prodi, el Primer Ministro Simitis y el Presidente Bush afirmaron que la Unión Europea y Estados Unidos debían cooperar para acelerar el desarrollo de la economía del hidrógeno como solución para hacer frente a las inquietudes relacionadas con la seguridad de la energía y con el medio ambiente.

Los sistemas energéticos basados en el hidrógeno podrían tender puentes hacia el futuro, pero planificar una transición rentable y eficiente es un ejercicio extremadamente complejo. La enorme inversión necesaria, tanto humana como de capital, tardará muchos años en producir frutos. No obstante, estamos obligados a empezar ya a explorar esta vía hacia un futuro más sostenible.

Las opiniones del Grupo de alto nivel fueron presentadas en la conferencia «La economía del hidrógeno: un puente hacia la energía sostenible» celebrada en Bruselas en junio de 2003 y presidida por el Presidente Prodi. La visión y las recomendaciones del Grupo recibieron un decidido apoyo. Respaldamos, pues, las recomendaciones del Grupo de alto nivel y la necesidad de emprender acciones desde hoy mismo. Por ese motivo, tenemos la intención de poner en marcha un «Consortio europeo en favor de la economía del hidrógeno sostenible» lo antes posible, con el fin de movilizar a una amplia gama de partes interesadas y estructurar un esfuerzo coherente para impulsar las tecnologías sostenibles del hidrógeno y las pilas de combustible en Europa.

Por último, deseamos agradecer a los miembros del Grupo de alto nivel y a sus «sherpas» el considerable tiempo y esfuerzo invertido para llegar a esta visión colectiva, que estamos convencidos contribuirá a allanar el camino hacia una economía del hidrógeno sostenible.



Loyola de Palacio

*Vicepresidente
de la Comisión Europea,
Comisario de
Transporte y Energía*



Philippe Busquin

Comisario de Investigación

Una economía sostenible para el transporte basada en el hidrógeno ...



Formación de nubes



Comienza a llover

Índice

1. El reto de la energía	09
2. Hidrógeno y pilas de combustible: motivación	10
Seguridad y abastecimiento de energía	12
Competitividad económica	13
Mejora de la calidad del aire y de la salud	13
Reducción de los gases de invernadero	13
3. ¿Qué puede hacer Europa?	16
El marco político	16
– Coordinación de medidas políticas	17
El plan estratégico de investigación	17
– Ejecución del plan de investigación	18
La estrategia de despliegue del hidrógeno y las pilas de combustible	19
– Transición al hidrógeno y a las pilas de combustible	19
– Financiación de la transición	20
La hoja de ruta europea para el hidrógeno y las pilas de combustible	21
– A corto y medio plazo (hasta 2010)	21
– A medio plazo (hasta 2020)	21
– A medio y largo plazo (después de 2020)	22
La Asociación europea de tecnología del hidrógeno y las pilas de combustible	22
4. Resumen de conclusiones y recomendaciones	24
ANEXO TÉCNICO	
Tecnologías del hidrógeno y de las pilas de combustible y retos conexos	25
ANEXO I	
Grupo de alto nivel sobre el hidrógeno y las pilas de combustible	32
ANEXO II	
Grupo de alto nivel sobre el hidrógeno y las pilas de combustible: Sherpas	33



Almacenamiento de agua de lluvia en embalses

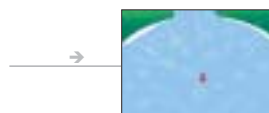
El reto de la energía

La demanda mundial de energía está creciendo a un ritmo alarmante. La «Perspectiva mundial sobre política climática y tecnología energética» (WETO) europea predice para la energía primaria en el mundo un crecimiento medio del 1,8 % anual durante el período 2000-2030. Esta mayor demanda se satisface fundamentalmente utilizando las reservas de combustibles fósiles, que emiten gases de invernadero y otros contaminantes. Reservas que, por otra parte, irán encareciéndose a medida que vayan disminuyendo. Actualmente, el nivel de emisiones de CO₂ per cápita en las naciones en desarrollo asciende al 20 % del correspondiente a las grandes naciones industriales. Esta proporción se incrementará sustancialmente al industrializarse los países en desarrollo. Para 2030, las emisiones de CO₂ de los países en desarrollo podrían representar más de la mitad de las emisiones mundiales de CO₂. Los países industrializados deberían liderar el desarrollo de nuevos sistemas energéticos que puedan contrarrestar esta tendencia.

El abastecimiento seguro de energía constituye un problema importante. Los combustibles fósiles, en particular el petróleo, se produce solo en determinadas zonas del mundo, por lo que la continuidad del abastecimiento se ve gobernada por factores políticos, económicos y ecológicos. Estos factores conspiran para que los precios del combustible resulten volátiles, y a menudo elevados, al tiempo que la política de medio ambiente exige una reducción de los gases de invernadero y de las emisiones tóxicas.

Resulta necesaria una estrategia energética coherente, referida tanto a la oferta como a la demanda, que tenga en cuenta el ciclo de vida completo de la energía, incluyendo la producción, transmisión y distribución del combustible y la conversión energética, así como el impacto sobre los fabricantes de equipos energéticos y los usuarios finales de los sistemas de energía. A corto plazo, el objetivo debería ser aumentar la eficiencia energética e incrementar el abastecimiento basado en fuentes europeas, en particular renovables. A largo plazo, una economía basada en el hidrógeno tendrá consecuencias para todos estos sectores. A la vista de los avances de la tecnología, los fabricantes de vehículos y componentes, los transportistas, la industria de la energía e incluso los particulares están pensando seriamente en adoptar combustibles y fuentes de energía alternativas y en tecnologías más eficientes y limpias, en particular el hidrógeno y las pilas de combustible alimentadas por hidrógeno.

En el presente documento, el Grupo de alto nivel subraya el potencial de los sistemas energéticos basados en el hidrógeno a nivel mundial, y en particular en Europa, en el contexto de una estrategia general en materia de energía y medio ambiente. A continuación, señala las estructuras y actividades de investigación necesarias para su desarrollo y su despliegue en el mercado.



Seguimiento de una gota de agua en el embalse

Hidrógeno y pilas de combustible: motivación

Conseguir una calidad de vida elevada y sostenible constituye la justificación básica para desear un suministro de energía limpio, seguro, fiable y estable en Europa. Para garantizar un marco económico competitivo, los sistemas energéticos han de satisfacer a precios asequibles las siguientes necesidades sociales:

- Mitigar los efectos del cambio climático;
- Reducir la producción de contaminantes tóxicos y
- Hacer frente a la disminución de las reservas de petróleo.

El hecho de no satisfacer estas necesidades tendrá importantes consecuencias adversas para:

- la economía;
- el medio ambiente y
- la salud pública.

Por consiguiente, es necesario introducir medidas que fomenten:

- el uso más eficiente de la energía y
- el suministro de energía a partir de una proporción creciente de fuentes libres de carbono.

El cambio climático puede tener unos efectos muy graves y, lo que es más importante, irreversibles. Europa no puede permitirse aplazar la adopción de medidas correctoras, y debe fijarse el objetivo ideal de un futuro libre de emisiones basado en la energía sostenible. La electricidad y el hidrógeno representan una de las formas más prometedoras de conseguirlo, con el complemento de las pilas de combustible, que aportan una conversión de energía muy eficiente.

El hidrógeno no es una fuente de energía primaria como el carbón y el gas, sino un vector energético. Inicialmente se producirá utilizando los sistemas energéticos existentes basados en distintos vectores y fuentes primarias convencionales. A plazo más largo, las energías renovables se convertirán en la fuente más importante para la producción de hidrógeno. El hidrógeno regenerado y el producido a partir de fuentes nucleares y sistemas de conversión de

energía basados en combustibles fósiles con captura y almacenamiento seguro (fijación) de las emisiones de CO₂, constituyen vías energéticas casi completamente libres de carbono.

La producción de hidrógeno en la considerable cuantía exigida por los mercados estacionario y de transporte podría constituir un obstáculo para avanzar más allá de la fase inicial de demostración. Si las preocupaciones dominantes son el coste y la seguridad del abastecimiento, entonces la gasificación del carbón con fijación del CO₂ podría resultar de interés en muchas partes de Europa. Si la voluntad política es avanzar hacia las energías renovables, entonces soluciones como las energías de biomasa, solar, eólica y oceánica serán más o menos viables según las condiciones climáticas y geográficas regionales. Por ejemplo, la energía térmica solar concentrada puede constituir una opción segura y potencialmente económica para la producción de hidrógeno a gran escala, especialmente en la Europa meridional. La amplia gama de opciones en lo que se refiere a fuentes, convertidores y aplicaciones que se refleja en las figuras 1 y 2, sin ser exhaustiva, ilustra la flexibilidad de los sistemas energéticos de hidrógeno y pilas de combustible.

Las pilas de combustible se utilizarán en una amplia variedad de productos: desde dispositivos portátiles tales como teléfonos móviles y laptops, que utilizarán pilas de tamaño muy pequeño, pasando por aplicaciones móviles como coches, vehículos de transporte, autobuses y buques, hasta los generadores de calor y energía en aplicaciones estacionarias en los sectores doméstico e industrial. Los futuros sistemas energéticos incluirán asimismo convertidores de energía convencional mejorados basados en el hidrógeno (p. ej., motores de combustión interna, motores de Stirling o turbinas), así como otros vectores energéticos (p. ej., calor y electricidad producidos directamente a partir de energía renovable y biocarburantes para el transporte).

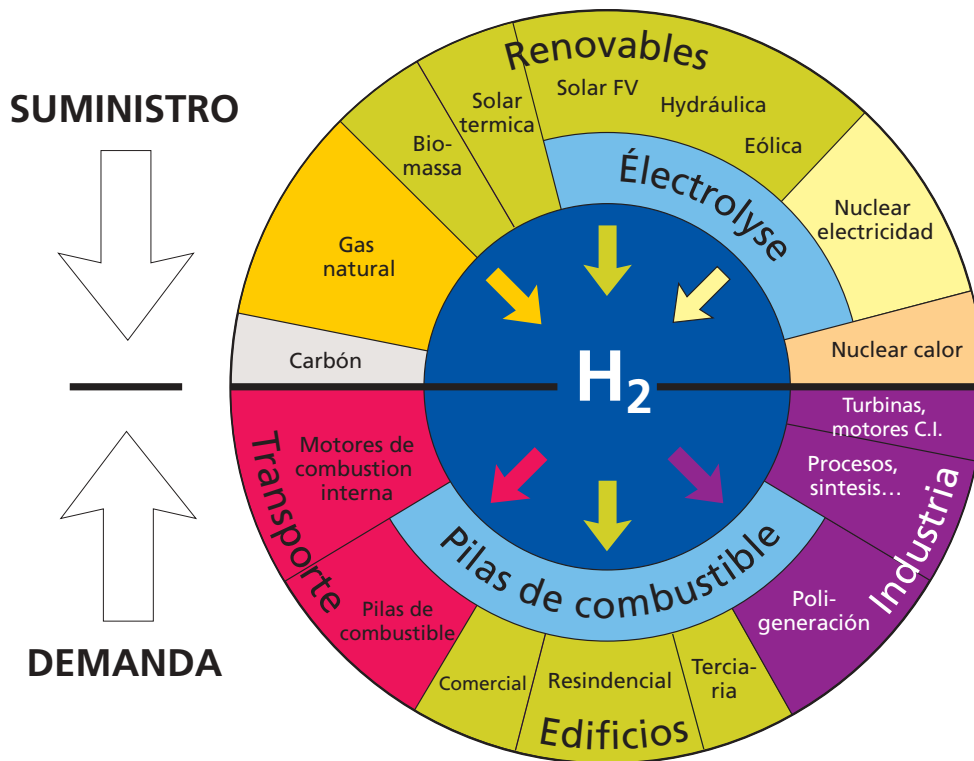


Figura 1: Hidrógeno: fuentes de energía primarias, conversores de energía y aplicaciones

Nota – Los tamaños de los «sectores» no guardan relación con los mercados actuales o previstos.

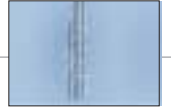
Los beneficios del hidrógeno y de las pilas de combustible son numerosos, pero no se apreciarán plenamente mientras no se utilicen de forma generalizada. En los sistemas de pilas de combustible basados en el hidrógeno, las emisiones de carbono son nulas o muy bajas, y nulas las emisiones de sustancias nocivas para el aire ambiente tales como el dióxido de nitrógeno, el dióxido de azufre o el monóxido de carbono. Dado su bajo nivel de ruido y su elevada calidad de energía, los sistemas de pilas de combustible son ideales para su uso en hospitales, centros de TI y aplicaciones móviles. Ofrecen rendimientos elevados que son independientes del tamaño. Los grupos motopropulsores de pilas de combustible pueden aportar una reducción significativa del consumo de energía y de las emisiones reguladas. Las pilas de combustible pueden utilizarse también como unidades auxiliares de potencia (APU) en combinación con motores de combustión interna, o en sistemas de reserva estacionarios, cuando funcionan

con reformadores para conversión a bordo de otros combustibles, ahorrando energía y reduciendo la contaminación atmosférica, especialmente en el congestionado tráfico urbano.

En resumen, la combinación del hidrógeno y la electricidad representa una de las vías más prometedoras para hacer realidad la energía sostenible, mientras que las pilas de combustible constituyen el dispositivo más eficiente para convertir el hidrógeno, y posiblemente otros combustibles, en electricidad. El hidrógeno y las pilas de combustible allanan el camino hacia unos «sistemas energéticos abiertos» integrados capaces de hacer frente simultáneamente a todos los grandes retos planteados en materia de energía y de medio ambiente y suficientemente flexibles para adaptarse a las fuentes de energía renovables diversas e intermitentes de que dispondrá Europa en 2030.



La turbina pone en marcha el generador



El generador produce electricidad para el transformador

la electricidad puede contribuir a la suavización de las curvas de carga y a compensar la naturaleza intermitente de los recursos de energía renovables. El hidrógeno es también uno de los pocos vectores energéticos que permiten introducir las fuentes de energía renovables en los sistemas de transporte.

Competitividad económica

Desde la primera crisis del petróleo de los años setenta, el crecimiento económico no ha estado ligado directamente al crecimiento de la demanda de energía en el sector industrial, mientras que, en el sector del transporte, el incremento de la movilidad sigue induciendo un incremento proporcional del consumo de energía. Es necesario reducir la cantidad de energía necesaria por unidad de crecimiento, para lo cual adquiere gran importancia el desarrollo de tecnologías y vectores energéticos que garanticen el abastecimiento de energía a bajo coste. El desarrollo y la venta de sistemas energéticos constituyen además un componente esencial de la creación de riqueza, desde los automóviles a las centrales generadoras, pues crean puestos de trabajo y oportunidades de exportación, en especial hacia los países en vías de industrialización. El liderazgo europeo en lo que se refiere al hidrógeno y las pilas de combustible desempeñará un papel importante en la creación de oportunidades de empleo de alta calidad, desde la I+D estratégica a la producción y los oficios.

En Estados Unidos y Japón se considera al hidrógeno y a las pilas de combustible tecnologías esenciales para el siglo XXI, importantes para la prosperidad económica. En estos países se asiste a fuertes inversiones y a una vigorosa actividad industrial en esta área, impulsando así la transición a la economía del hidrógeno con independencia de Europa. Si Europa desea competir y tener un papel protagonista a nivel mundial, debe intensificar sus esfuerzos y crear un marco favorable al desarrollo de los negocios.

Mejora de la calidad del aire y de la salud

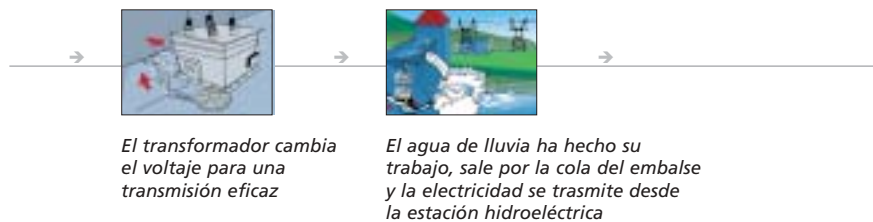
La mejora de la tecnología y los tratamientos posteriores a la combustión para las tecnologías convencionales están reduciendo constantemente las emisiones de contaminantes. No obstante, los óxidos de nitrógeno y las partículas siguen siendo preocupantes en algunas zonas, en tanto que la tendencia mundial hacia la urbanización subraya la necesidad de encontrar soluciones limpias en materia de energía y de mejorar el transporte público. La generación de energía estacionaria y para vehículos basada en el hidrógeno produce emisiones nulas en el punto de utilización, con los consiguientes beneficios para la calidad del aire local.

Reducción de los gases de invernadero

Es posible producir hidrógeno a partir de fuentes de energía libres de carbono o neutras con respecto al mismo, o a partir de combustibles fósiles con captura y almacenamiento (fijación) del CO₂. Por ello, el uso del hidrógeno podría eliminar con el tiempo las emisiones de gases de invernadero del sector de la energía. Las pilas de combustible generan electricidad de manera eficiente y limpia a partir de diversos combustibles. Además, pueden ubicarse cerca del punto de uso final, lo que permite explotar el calor generado en el proceso.

El cuadro que figura a continuación ilustra la reducción de las emisiones promedio de gases de invernadero del parque europeo de turismos, en comparación con el promedio de 140g/km CO₂¹ previsto para 2008, que supondría en una economía madura orientada al hidrógeno la introducción de vehículos alimentados por

(1) La European Automobile Manufacturers' Association (ACEA) ha asumido el compromiso voluntario de reducir el nivel promedio de emisiones de CO₂ a 140 g/km para los vehículos nuevos vendidos en el mercado europeo en 2008. El promedio actual es de 165-170 g/km.



AÑO	% de automóviles nuevos ⁽¹⁾ propulsados alimentados por hidrógeno libre de carbono	% de la flota alimentada por hidrógeno libre de carbono	Reducción del CO ₂ promedio (todos los automóviles) ⁽²⁾	CO ₂ evitado al año (Mt CO ₂)
2020	5	2	2,8 g/km	15
2030	25	15	21,0 g/km	112
2040	35	32	44,8 g/km	240

(1) Cifras basadas en la hipótesis de un parque europeo de 175 millones de vehículos. El tamaño del parque aumentará significativamente de aquí a 2040, por lo que los beneficios serán consiguientemente mayores.

(2) El cálculo es independiente del número total de automóviles.

hidrógeno y libres de carbono. En la última columna se muestran las cantidades de emisiones de CO₂ que podrían evitarse. Sirva de comparación el nivel total de emisiones de CO₂ del transporte por carretera previsto en 2010, que asciende a 750 - 800 Mt. El número de automóviles alimentados por H₂ constituye una hipótesis basada en un estudio de los expertos relativo a grupos motopropulsores convencionales y alternativos, no una predicción de la producción o las ventas futuras.

Podría conseguirse una reducción de los gases de invernadero de unas 140 Mt de CO₂ anuales (14% de las emisiones actuales de CO₂ procedentes de la generación de electricidad) si el 17% aproximadamente de la demanda total de electricidad abastecida actualmente con centrales eléctricas centralizadas lo fuera por centrales descentralizadas más eficientes, incorporando sistemas estacionarios de pilas de combustible de alta temperatura alimentadas por gas natural. Los sistemas de pilas de combustible se utilizarán como carga base en los futuros sistemas energéticos descentralizados.

No se proponen estos ejemplos como objetivos, sino como meras ilustraciones de la reducción de las emisiones de CO₂ que podría obtenerse con penetraciones muy modestas de los vehículos de hidrógeno y de las instalaciones estacionarias de pilas de combustible. Conjuntamente, un 15% de vehículos de hidrógeno regenerado y los mencionados sistemas híbridos (turbina de gas/pilas de combustible) distribuidos podrían suponer un ahorro anual de unos 250 Mt de CO₂, cifra que constituye aproximadamente el 6% de las emisiones relacionadas con la energía previstas en 2030. Progresos como éstos permitirían a Europa sobrepasar los objetivos de Kioto.



La electricidad renovable, a partir de energías como la solar y la eólica, se puede conectar también a la red eléctrica



La electricidad es transmitida a las ciudades

Vigorous impulse in United States and Japan

A coalition of interested parties in fuel cells in the United States recently advocated for a ten-year program of the federal government for the implementation and deployment of hydrogen technologies and fuel cells. The coalition asked for a public financing of 550 million dollars. The administration responded in January 2003 proposing a total of 1700 million (including 720 million of new financing) over the next five years for the development of hydrogen fuel cells, infrastructure for hydrogen and advanced technologies of the automobile. According to the US Department of Energy, these activities will lead to the creation of 750,000 new jobs by 2030.

Japan also aggressively pursues research and demonstration of hydrogen and fuel cells, with a budget for 2002 of about 240 million dollars. The commercialization of fuel cells, managed by the Japanese Association of Electric Vehicles, will commission six refueling stations

of hydrogen in Tokyo and Yokohama in 2002-2003. The Japanese have announced initial commercialization objectives of 50,000 vehicles for 2010, and 5 million for 2020, and a installed capacity of stationary fuel cells of 2,100 MW for 2010, with 10,000 MW for 2020.

Europe alone can face this challenge with investment levels similar to those of the US and the EU. The support proposed in the US is five to six times higher than the support to hydrogen and fuel cells provided in the sixth framework program of European research. Even with a significant additional contribution from the member states, the level of public support in Europe will remain far below that of the US. Consequently, a substantial increase is needed if Europe is to compete with the US and Japan. And for it to be effective, it will be necessary to coordinate well the research, development and deployment with the aim of achieving a critical mass and avoiding unnecessary repetitions. ■



La electricidad llega a las ciudades, es transformada y distribuida bajo suelo

¿Qué puede hacer Europa?

Europa cuenta con la capacitación, los recursos y potencial necesarios para convertirse en uno de los protagonistas del suministro y despliegue de las tecnologías del hidrógeno. Su diversidad constituye una de sus mejores bazas, siempre que pueda ser aprovechada y guiada estratégicamente, pero actualmente la política, la investigación y el desarrollo europeos están fragmentados tanto dentro de cada país como entre unos y otros.

Cinco acciones para un futuro basado en la energía del hidrógeno:

- Un *marco político* que permita entrar en el mercado a las nuevas tecnologías en el contexto más amplio de las futuras estrategias y políticas sobre transporte y energía.
- Un *plan estratégico de investigación* a nivel europeo que oriente los programas comunitarios y nacionales de forma concertada.
- Una *estrategia de despliegue* que permita a la tecnología pasar de la fase de prototipo a la de demostración y, posteriormente, comercialización, mediante proyectos «insignia» prestigiosos que integren los sistemas de transporte y estacionarios y constituyan la espina dorsal de una infraestructura transeuropea del hidrógeno, de manera que los vehículos de hidrógeno puedan desplazarse y repostar entre Edimburgo y Atenas, entre Lisboa y Helsinki.
- Una *hoja de ruta europea para el hidrógeno y las pilas de combustible* que guíe la transición hacia un futuro basado en el hidrógeno, examinando las opciones y fijando objetivos y puntos de toma de decisiones en materia de investigación, demostración, inversión y comercialización.
- Una *Asociación europea de tecnología del hidrógeno y de las pilas de combustible*, dirigida por un *Consejo consultivo* que ofrezca asesoramiento, estimule las iniciativas y efectúe un seguimiento de los progresos conseguidos, como medio de guiar y aplicar lo anteriormente mencionado sobre la base de un consenso entre las partes interesadas.

El marco político

A la vista de los sustanciales beneficios públicos y privados a largo plazo derivados del hidrógeno y las pilas de combustible, la Unión Europea y los gobiernos nacionales de toda Europa deben contribuir a la instauración de un marco político europeo coherente en cuya base se sitúe la política energética sostenible. Lo ideal sería que cualquier sistema incluyera el coste ambiental de la energía en el proceso de adopción de decisiones. El desarrollo de toda política debe ser a plazo suficientemente largo para que las organizaciones industriales y los inversores se sientan cómodos y puedan gestionar el riesgo de su inversión. Están apareciendo líderes y paladines en el sector privado, pero no existe ninguna empresa, industria o consorcio capaz individualmente de hacer que se produzca la transición. Y esto no se debe solamente a las importantes inversiones en investigación, desarrollo y despliegue necesarias, ni a los riesgos asociados. Existen además otros obstáculos, tales como la necesidad de reflejar el beneficio público en las decisiones comerciales individuales, de manera que la actividad comercial pueda convertirse en última instancia en el motor de la transformación. Si no reciben las señales adecuadas en materia de precios, los nuevos «mercados» no se desarrollarán, dado que existen alternativas muy consolidadas y de coste inferior (aunque menos limpias) en el actual «mix» de energías y equipos.

Para poder avanzar resulta esencial una participación significativa del sector público. Hacen falta fondos públicos para estimular la actividad y compartir los riesgos en la investigación, el desarrollo y el despliegue inicial. Es necesario que los entes públicos aporten mecanismos que permitan coordinar con eficacia las actividades y fomentar la cooperación transfronteriza y entre empresas. Deben formularse unas políticas fiscales y reguladoras que impulsen comercialmente el desarrollo, y estas políticas deben ser coherentes con el fomento de otras tendencias paralelas en materia de combustibles o energía limpias. Es precisa la coordinación en la elaboración de códigos y normas, no sólo dentro de la región, sino a nivel mundial.



La electricidad se utiliza también para producir hidrógeno renovable para el transporte



La electricidad se distribuye a las estaciones de servicio de hidrógeno



El agua es transformada en hidrógeno y oxígeno mediante electrólisis

Coordinación de medidas políticas

Para garantizar una generalización rápida del hidrógeno y las pilas de combustible será necesario coordinar unas vigorosas medidas políticas de apoyo a la tecnología, la investigación y el desarrollo, teniendo en cuenta el plazo necesario para la comercialización. Tales medidas deben referirse tanto a la oferta como la demanda, tomando en consideración la competitividad mundial y recompensando a las tecnologías en proporción a su capacidad para alcanzar los objetivos de la política. Podrían figurar entre ellas:

- Apoyo (fiscal, financiero y regulador) a los proyectos piloto y de demostración mediante acciones directas o indirectas, incluidos descuentos en los impuestos sobre los combustibles y mayores desgravaciones sobre bienes de capital;
- Promoción de medidas de eficiencia energética para estimular la demanda de aplicaciones limpias, tanto estacionarias y como de transporte;
- Apoyo al diseño, la planificación y la evaluación de la viabilidad de las infraestructuras en las distintas fases de desarrollo del mercado;
- Examen y supresión de los obstáculos reguladores a la comercialización del hidrógeno y las pilas de combustible;
- Examen y elaboración de códigos y normas en apoyo del desarrollo comercial;
- Simplificación y armonización de las necesidades de planificación y certificación (p. ej., normas sobre combustibles y seguridad);
- Evaluación de la posibilidad y de la eficacia de combinaciones alternativas de medidas políticas, incluidas las de fijación de precios incremental/ impulso del mercado y la utilización activa de los regímenes de contratación pública, incluidas posibles aplicaciones en la defensa;
- Coordinación internacional de la elaboración de políticas y de las estrategias de despliegue.

El plan estratégico de investigación

Para desarrollar una tecnología competitiva a nivel mundial resulta imprescindible una investigación de primera línea. El plan estratégico de investigación debe reunir a los mejores grupos investigadores de la Europa actual. Debe generar una masa crítica en cuanto a recursos, esfuerzo y competencias para analizar y resolver cuestiones de índole no técnica y socioeconómicas y para derribar los obstáculos técnicos que todavía se oponen a la introducción del hidrógeno y las pilas de combustible. Se tratará, en particular, de:

- Resolver los retos tecnológicos que plantea la producción, distribución, almacenamiento, infraestructura y seguridad del hidrógeno y reducir los costes de todo ello, al tiempo que mejoran los materiales, los componentes y el diseño de sistemas;
- Resolver los retos tecnológicos que plantean las prestaciones, la duración y los costes de los ensamblados de pilas de combustible, así como de todos los componentes periféricos (reformador, limpiador de gas, válvulas de control, sensores, sistemas neumáticos e hidráulicos);
- Llevar a cabo análisis de sistemas que suministren escenarios, análisis tecnoeconómicos, ambientales y socioeconómicos de diferentes configuraciones vector/conversor de energía y vías de transición, incluidas las distintas vías que llevan de la producción del hidrógeno al uso final y las distintas aplicaciones de las pilas de combustible, para evaluar la viabilidad de las diferentes opciones;
- Contribuir a la definición, examen permanente y mejora de una hoja de ruta europea para el hidrógeno, con objetivos, hitos y criterios de revisión basados en los resultados de la investigación.

El plan estratégico de investigación debe detallar las prioridades en las que debe centrarse la investigación básica, donde se requiere investigación sobre materiales básicos o estudios de modelización en profundidad, así como investigación aplicada para conseguir avances técnicos decisivos.

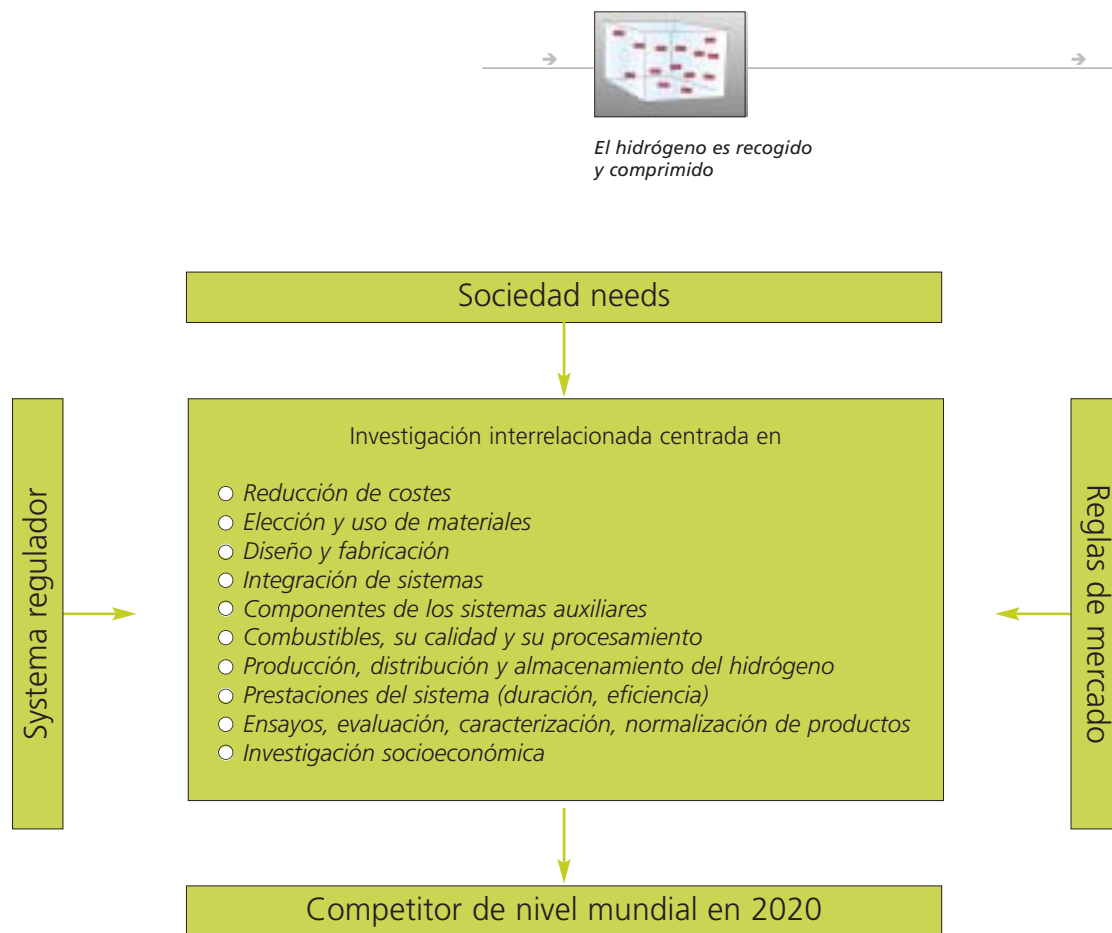


Figura 3: Elementos y condicionantes clave de un plan estratégico de investigación

El plan estratégico de investigación debe definir acciones a corto, medio y largo plazo sin discontinuidades. Deben identificarse desde el primer momento las sinergias entre las vías de combustible, la infraestructura y las diferentes aplicaciones de las pilas de combustible. El objetivo, deben ser las soluciones modulares y la integración de sistemas, facilitadas por ambiciosos proyectos de demostración.

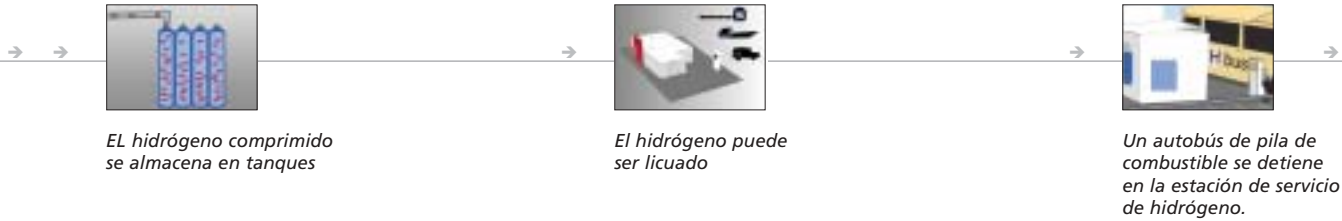
Ejecución del plan de investigación

El plan estratégico de investigación debe procurarse apoyos de varias fuentes públicas y privadas, incluidos los programas de investigación nacionales y regionales y el programa marco europeo de investigación. Debería basarse en los actuales acuerdos, iniciativas, proyectos y redes temáticas con dimensión estratégica existentes en Europa. Entre las medidas concretas de ejecución deberían figurar:

- Designación de varios centros de excelencia virtuales estratégicos europeos que actúen como puntos focales en investigaciones de carácter crítico;
- Establecimiento de varios proyectos de demostración de prototipos para validar la tecnología;

- Definición de normas sobre propiedad intelectual que faciliten la investigación internacional en cooperación;
- Fomento y facilitación de la cooperación internacional, especialmente cuando pueda acelerar el desarrollo del mercado;
- Establecimiento de foros de partes interesadas y de un comité director del plan estratégico de investigación;
- Indagación de mecanismos para elaborar programas conjuntos de investigación entre los Estados miembros, incluyendo el recurso al artículo 169;
- Coordinación de la investigación y el desarrollo para aplicaciones de defensa;
- Examen de los criterios, objetivos e hitos de la hoja de ruta europea del hidrógeno y las pilas de combustible.

Por consiguiente, para establecer el plan estratégico de investigación es necesaria la cooperación entre una amplia gama de partes interesadas: centros de investigación universitarios, nacionales, de defensa y privados, industria, usuarios finales, sociedad civil, pequeñas y medianas empresas y autoridades públicas a todos los niveles (local, regional



y europeo). Deben abordarse asimismo objetivos internacionales más amplios para garantizar que la tecnología europea sea competitiva en la escena internacional.

La estrategia de despliegue del hidrógeno y las pilas de combustible

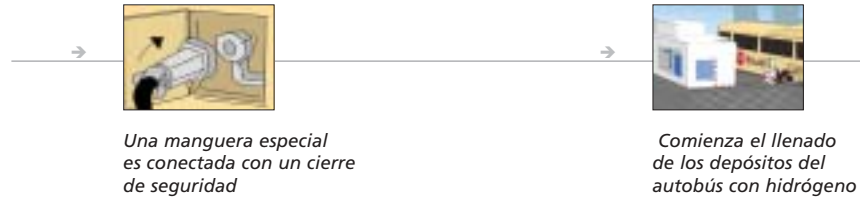
Actualmente, el hidrógeno y las pilas de combustible no ofrecen al usuario final suficientes ventajas a corto plazo como para compensar unos costes superiores a los de las tecnologías convencionales. Por lo tanto, la estrategia de despliegue debería tratar de definir formas de aumentar la infraestructura y la producción. De esta forma se reducirán los costes y se crearán oportunidades de mercado, haciendo innecesario en última instancia el apoyo público. En algunas aplicaciones, tales como la energía portátil, la energía de reserva para emergencias o las unidades auxiliares de potencia, las pilas de combustible pueden resultar ventajosas para los clientes desde el principio y justificar unos precios superiores. Sin embargo, en los mercados emergentes estacionario y de transporte resulta necesaria la intervención de las administraciones públicas, en atención a los beneficios públicos y privados que se obtendrán a largo plazo.

Transición al hidrógeno y a las pilas de combustible

El paso de la economía y basada en los combustibles fósiles de 2003 a una economía basada en el hidrógeno y las pilas de combustible no se producirá de un día para otro. Enormes infraestructuras físicas y económicas apuntalan la situación actual, y un cambio demasiado rápido podría originar importantes perturbaciones económicas. Resulta necesaria una estrategia para beneficiarse al máximo de tecnologías de transición tales como los motores de combustión y explorar las opciones de reformado a bordo para que los vehículos de pilas de combustible puedan utilizar las infraestructuras actuales.

Están apareciendo ya pilas de combustible estacionarias en determinados nichos de mercado. Los grupos motopropulsores de vehículos de pilas de combustible se hallan todavía en una fase de desarrollo precomercial. Las pilas de combustible del mercado estacionario funcionarán fundamentalmente con gas natural hasta que exista una disponibilidad generalizada de hidrógeno (también puede distribuirse mediante mezcla con gas natural). Las pilas de combustible serán introducidas también en aplicaciones portátiles y en la generación autónoma de electricidad, posiblemente utilizando vectores energéticos tales como biocarburantes o combustibles sintéticos. Los primeros usos en los vehículos pueden darse en unidades auxiliares de potencia para la generación de electricidad a bordo, p. ej. para camiones refrigerados, unidades de aire acondicionado para autobuses, y vehículos de lujo. El desarrollo de pilas de combustible para aplicaciones de defensa cubre un nicho estratégico que podría acelerar significativamente el desarrollo de pilas de combustible civiles. Durante la fase de transición, e incluso con posterioridad a ella, seguirán resultando esenciales las tecnologías convencionales. Es posible utilizar turbinas y motores de combustión interna alimentados por hidrógeno en los sistemas energéticos estacionarios y en el transporte. Los vehículos de pilas de combustible tendrán que competir con vehículos híbridos (eléctricos/ de motor de combustión) muy limpios y eficientes, aunque la comercialización de grupos motopropulsores híbridos reducirá los costes de los componentes eléctricos y electrónicos usados también por los vehículos de pilas de combustible.

En el caso del transporte, la aceptación por parte de los clientes depende de la existencia de una infraestructura de repostaje generalizada. Pero constituir una infraestructura dedicada al hidrógeno exige una cuantiosa inversión de capital, del orden de varios centenares de miles de millones de euros. Es este, pues, un obstáculo importante para la comercialización. Las estaciones de repostaje de hidrógeno pueden utilizar hidrógeno producido local o industrial-



mente. Para efectuar las primeras demostraciones podría desarrollarse la actual red europea de conductos de hidrógeno (de unos 1 100 km de longitud), que ha servido a la industria durante muchos años. El hidrógeno líquido se distribuye también rutinariamente mediante camiones, y podría expandirse fácilmente la capacidad actual para hacer frente hasta a un 5% de vehículos nuevos. También es posible combinar el hidrógeno con gas natural y distribuirlo a través de los conductos de gas natural. Deberían investigarse las tecnologías de reformado a bordo, que aprovechan la infraestructura actual, al tiempo que se desarrollan unas tecnologías de almacenamiento y repostaje de hidrógeno viables.

Se espera que la introducción de vehículos de hidrógeno comience en flotas de autobuses y de vehículos de entrega urbana de mercancías explotadas de forma centralizada en grandes ciudades densamente pobladas, antes de incorporarse los automóviles privados. Los autobuses urbanos resultan atractivos a causa de las instalaciones de repostaje centralizadas, la disponibilidad de personal cualificado, la tradición técnica de las empresas de transporte público, los intensos horarios de servicio en condiciones arduas de congestión y su capacidad para concienciar a la población. A partir de estos núcleos emplazados estratégicamente podría irse desarrollando luego una red transeuropea de energía de hidrógeno.

Las aplicaciones en navegación, desde las chalanas en los canales a los buques en los océanos, brindarán igualmente oportunidades al hidrógeno y a las pilas de combustible. Una introducción satisfactoria de las pilas de combustible –y del hidrógeno– en el transporte requerirá un apoyo inicial considerable por parte de las administraciones públicas y la industria. La elaboración de códigos y normas perfeccionadas y el establecimiento de la «mejor práctica» en materia de disposición de las estaciones de combustible, preferiblemente con coordinación internacional, debería contribuir a reducir

significativamente los plazos y los costes del otorgamiento de licencias. Y, por supuesto, los proyectos iniciales de demostración deberían estimular la aceptación por la población, demostrando que el hidrógeno no es peligroso.

Deben demostrarse sistemas estacionarios de pilas de combustible y combustión de hidrógeno en ámbitos en los que presenten ventajas desde el principio, como por ejemplo en zonas apartadas, islas con recursos renovables y microrredes de energía y calor combinados. La vinculación real de las demostraciones estacionarias y en el transporte contribuirá a explotar al máximo la tecnología y a mejorar la comprensión de las probables sinergias. Debe prestarse apoyo no sólo a las grandes empresas, sino también a las pequeñas iniciativas empresariales que se propongan crearse nichos.

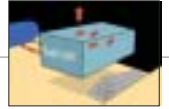
Las demostraciones y los experimentos de campo resultan críticos para la comercialización, ya que son imprescindibles para probar los beneficios, la fiabilidad y la duración ante los usuarios potenciales y los gobiernos.

Financiación de la transición

La inversión necesaria para construir una economía basada en la energía del hidrógeno y las pilas de combustible se calcula en varios cientos de miles de millones de euros, por lo cual sólo es posible a lo largo de varias décadas, a medida que se amorticen las inversiones de capital actuales. Por ejemplo, instalar el hidrógeno en el 30% de las estaciones de servicio europeas (penetración necesaria para la comodidad del cliente) podría costar del orden de 100 a 200 miles de millones de euros. La financiación pública es muy importante, pues simboliza el compromiso de los gobiernos con la tecnología y estimula la financiación privada, que es el motor principal del cambio. El programa marco y los programas nacionales seguirán siendo



Los depósitos del techo se llenan



El hidrógeno de los depósitos alimenta a la pila de combustible

los principales instrumentos de financiación pública de la investigación, el desarrollo y la demostración, en tanto que los proyectos de ayuda regional podrían servir de oportunidad para iniciativas de despliegue más amplias. Para los proyectos ambiciosos, debería explorarse la financiación a partir de varias fuentes.

La hoja de ruta europea para el hidrógeno y las pilas de combustible

Para sacar a Europa de la dependencia de los combustibles fósiles típica del siglo XX y transportarla a la nueva era de los vectores energéticos complementarios, electricidad e hidrógeno, hace falta una cuidadosa planificación estratégica. No es probable que el hidrógeno sea el único combustible del transporte en el futuro. Además, para mantener la prosperidad económica durante el período de transición será necesario hacer un uso lo más eficiente posible de distintas formas de combustibles y vectores energéticos de origen fósil, tales como el gas natural, el etanol, el carbón y los combustibles líquidos sintéticos derivados del gas natural. Durante dicha transición será también importante introducir fuentes de energía renovables tales como la biomasa, material orgánico producido principalmente por los sectores agrario y forestal que puede utilizarse para generar calor, electricidad y diversos combustibles, como los combustibles líquidos sintéticos y el hidrógeno. Cuando proceda, podrá recurrirse a las formas tradicionales de generación de electricidad para producir hidrógeno mediante electrolisis del agua, al tiempo que se utilizan tecnologías nuevas y seguras y fuentes renovables para reducir al mínimo las emisiones nocivas de gases de invernadero y contaminantes. Durante este período, podrá utilizarse cada vez en mayor medida la electricidad procedente de fuentes de energía renovables para generar hidrógeno. El hecho de que resulte más fácil almacenar hidrógeno que electricidad abre interesantes posibilidades para el almacenamiento de energía, contribuyendo a resolver el problema de los picos y los valles que padece la industria generadora de electricidad. Pueden

construirse estaciones de repostaje de hidrógeno que utilicen hidrógeno de producción local o industrial. Dado que la gama de opciones disponibles es muy compleja, será preciso establecer un marco para la introducción del hidrógeno y de las pilas de combustible. Esta transición deberá constituir un proceso progresivo ajustado a las siguientes grandes líneas:

A corto y medio plazo (hasta 2010):

- Intensificar el uso de fuentes de energía renovables para generar una electricidad que puede utilizarse para producir hidrógeno por electrolisis o bien ser introducida directamente en las redes de suministro eléctrico;
- Mejorar la eficiencia de las tecnologías basadas en combustibles fósiles y la calidad de los combustibles líquidos de origen fósil;
- Incrementar el uso de combustibles líquidos sintéticos producidos a partir del gas natural y la biomasa, que pueden utilizarse tanto en sistemas de combustión convencionales como en sistemas de pilas de combustible;
- Introducir prontamente aplicaciones del hidrógeno y las pilas de combustible en nichos de mercado importantes con el fin de estimular el mercado, la aceptación por la población y la experiencia a través de la demostración, aprovechando los sistemas de conductos de hidrógeno existentes;
- Desarrollar motores de combustión interna alimentados por hidrógeno para aplicaciones estacionarias y de transporte, favoreciendo así el rápido despliegue de una infraestructura del hidrógeno, siempre que no contribuyan a incrementar las emisiones totales de CO₂.

Durante todo este período resultará necesaria una intensa investigación fundamental sobre condicionantes tecnológicos clave, p. ej., producción, almacenamiento y seguridad del hidrógeno y prestaciones, costes y duración de las pilas de combustible.



La pila de combustible genera electricidad mediante la combinación del hidrógeno con el oxígeno del aire

A medio plazo (hasta 2020):

- Seguir incrementando la utilización de combustibles líquidos derivados de la biomasa;
- Seguir utilizando combustibles líquidos y gaseosos de origen fósil en pilas de combustible directamente y reformando combustibles fósiles (incluido el carbón) para extraer hidrógeno. De esta manera será posible la transición a una economía del hidrógeno, capturando y fijando el CO₂. El hidrógeno así producido se puede utilizar luego en sistemas de combustión convencionales modificados adecuadamente, turbinas de hidrógeno y sistemas de pilas de combustible, reduciendo así las emisiones de gases de invernadero y contaminantes;
- Desarrollar e implantar sistemas de producción de hidrógeno a partir de la electricidad renovable y la biomasa; proseguir la investigación y el desarrollo en relación con otras fuentes libres de carbono, tales como la energía térmica solar y la nuclear avanzada.

A medio y largo plazo (después de 2020):

- La demanda de electricidad seguirá aumentando y el hidrógeno vendrá a complementarla. Utilización de la electricidad y el hidrógeno como vectores energéticos para sustituir progresivamente a los vectores energéticos basados en el carbono mediante la introducción de fuentes de energía renovables y de la energía nuclear mejorada. Expansión de las redes de distribución del hidrógeno. Mantenimiento de otras opciones respetuosas del medio ambiente en el ámbito de los combustibles.

En la figura 4 se presenta, como base para una consulta y un debate más amplios, una propuesta esquemática muy preliminar referida a los elementos y las fechas principales de una hoja de ruta europea para la producción y distribución del hidrógeno, así como de sistemas de hidrógeno y de pilas de combustible.

La Asociación europea de tecnología del hidrógeno y las pilas de combustible

Se recomienda la constitución sin demora de una Asociación europea de tecnología del hidrógeno y las pilas de combustible, con el fin de estimular y gestionar las iniciativas mencionadas. Esta Asociación debería incluir a las empresas más importantes e innovadoras que trabajan en Europa en el campo del hidrógeno y las pilas de combustible y en ella deberían estar representadas en pie de igualdad los expertos y las partes interesadas. Debería estar dirigida y controlada por un consejo consultivo que facilitara orientaciones sobre la manera de poner en marcha e impulsar cada uno de los elementos mencionados, apoyándose en las iniciativas, redes y estructuras europeas ya existentes. El Grupo de alto nivel está dispuesto a asesorar sobre la creación de esta Asociación y a ayudar en los siguientes pasos. Deberían crearse «grupos de iniciativa» específicos, dedicados por ejemplo a lo siguiente: investigación estratégica técnica y socioeconómica, política del hidrógeno, desarrollo empresarial, demostración, educación y formación, seguridad y normas, etc. Debería elaborarse lo antes posible un marco empresarial para facilitar el desarrollo de una cadena de suministro de componentes y fomentar la innovación. Los cometidos de la Asociación serían:

- Establecer unos objetivos y previsiones de comercialización claros, fomentar la planificación estratégica y el despliegue en respuesta a las prioridades políticas y efectuar un seguimiento de los progresos;
- Poner en marcha una iniciativa de desarrollo empresarial para fomentar la inversión en innovación, con participación de empresas de capital-riesgo, inversores institucionales, iniciativas de desarrollo regional y el Banco Europeo de Inversiones;
- Promover un programa de educación y formación mediante el desarrollo de un plan rector en materia de educación e información, para estimular el aprendizaje a todos los niveles;



La pila de combustible emite solo vapor de agua



La electricidad de la pila de combustible alimenta al motor eléctrico



El motor eléctrico hace funcionar el autobús

- Introducir una estrategia de estímulo de la cooperación internacional tanto con los países desarrollados como con los países en desarrollo, con vistas a cooperar en los ámbitos de condicionantes tecnológicos, códigos y normas y transferencia de tecnología;
- Crear un centro de consolidación y difusión de la información que pueda facilitar sensiblemente la coordinación de la transición hacia el hidrógeno y las pilas de combustible.

Una visión europea del hidrógeno

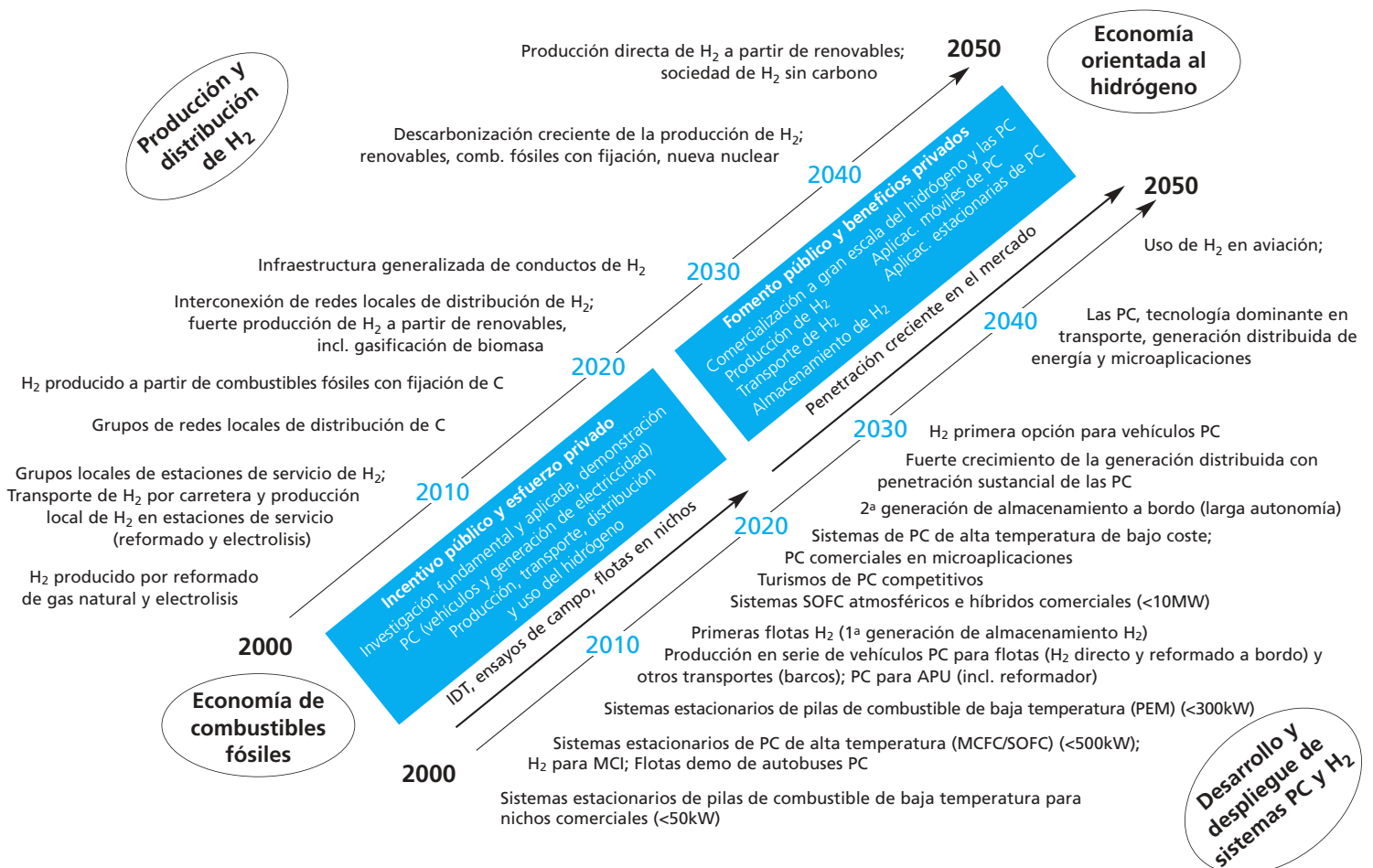


Figura 4: Propuesta esquemática de hoja de ruta europea para el hidrógeno y las pilas de combustible



La pila de combustible emite solo vapor de agua a la atmósfera

El vapor de agua vuelve a las nubes y el ciclo del hidrógeno comienza de nuevo

Resumen de conclusiones y recomendaciones

Para preservar la prosperidad económica y la calidad de vida, Europa necesita un sistema de energía sostenible capaz de hacer frente a las demandas contradictorias de aumento del suministro, mayor seguridad, mantenimiento de la competitividad de costes, lucha contra el cambio climático y mejora de la calidad del aire.

El hidrógeno y las pilas de combustible están sólidamente asentados como tecnologías estratégicas para alcanzar estos objetivos, y pueden crear situaciones en las que tanto las partes interesadas públicas como privadas salgan ganando. Los beneficios sólo empezarán a hacerse patentes si se aplican incentivos públicos y esfuerzos privados al fomento y al desarrollo de los mercados principales: producción energía estacionaria y transporte. Y esto debe hacerse de forma equilibrada, reflejando el uso más eficaz en función de los costes de las diferentes fuentes de energía primaria y vectores energéticos alternativos.

La competencia de los países de América del Norte y del arco del Pacífico es especialmente vigorosa, y es imprescindible que Europa incremente sustancialmente sus esfuerzos y sus presupuestos para construir y desplegar una industria de pilas de combustible y una tecnología del hidrógeno competitivas. Y no debe permitirse que esto suceda de forma descoordinada, a nivel de cada Estado miembro. Para ser líderes en el mundo será necesaria una estrategia coherente a nivel europeo que incluya la investigación y el desarrollo, la demostración y la entrada en el mercado, en la línea seguida para el desarrollo de la industria aeronáutica europea.

Por consiguiente, el Grupo de alto nivel recomienda la constitución de una **Asociación sobre tecnología del hidrógeno y las pilas de combustible**, dirigida por un **Consejo consultivo europeo del hidrógeno y las pilas de combustible** que facilite asesoramiento, fomente las iniciativas y efectúe un seguimiento de los progresos. El Comité consultivo recogerá las directrices y aportaciones

de las distintas partes interesadas en el área de la energía del hidrógeno, supervisando el establecimiento de «grupos de iniciativa» específicos capaces de impulsar el desarrollo de un programa amplio y ambicioso en materia de hidrógeno y pilas de combustible que comprenda:

- La creación de un **marco político coherente** en los ámbitos del transporte, la energía y el medio ambiente que favorezca las tecnologías que contribuyan a alcanzar los objetivos de la política;
- Un **presupuesto de investigación y desarrollo sustancialmente reforzado** en lo que se refiere a las tecnologías del hidrógeno y las pilas del combustible, desde la ciencia fundamental a los programas de validación;
- Un **programa piloto y de demostración** que haga llegar los ejercicios de validación de la tecnología al ámbito del desarrollo del mercado a través de una serie de proyectos «insignia» de demostración;
- Un **programa integrado de investigación socioeconómica** para complementar y orientar el apoyo técnico;
- Una **iniciativa de desarrollo empresarial** que reúna a distintas organizaciones financieras con el fin de liderar la explotación de la tecnología;
- Un **programa de educación y formación de alcance europeo**, que abarque desde la enseñanza primaria a la investigación de primera línea;
- Una **cooperación internacional potenciada**, trabajando en asociación con América del Norte y el arco del Pacífico, así como con los países en desarrollo, para acelerar la introducción de las tecnologías de la energía sostenible;
- Un **centro de comunicación y difusión** de todas estas iniciativas.

Es necesario que la planificación y las actuaciones necesarias para aplicar estas recomendaciones se inicien ya, con una perspectiva de veinte a treinta años.

ANEXO TÉCNICO

Tecnologías del hidrógeno y de las pilas de combustible y retos conexos

Producción de hidrógeno

El hidrógeno puede producirse por vías muy distintas, utilizando una amplia gama de tecnologías. En algunas de ellas intervienen procesos industriales consolidados, mientras que otras están aún en fase de laboratorio. Algunas se podrían introducir inmediatamente para contribuir al desarrollo de un sistema de abastecimiento de energía a partir del hidrógeno, mientras que otras precisan todavía de una investigación y desarrollo considerables.

Actualmente el hidrógeno se produce principalmente a gran escala. Para tener un sistema energético basado en el hidrógeno plenamente comprobado y totalmente introducido serán necesarios

numerosos proyectos piloto y de demostración regionales. Aparte de los equipos industriales a gran escala, resultarán necesarias tecnologías de producción a pequeña escala, incluidos electrolizadores y reformadores estacionarios y de a bordo, que extraen hidrógeno de combustibles líquidos y gaseosos tales como el gas natural, la gasolina y el metanol. Muchas organizaciones están desarrollando tecnologías específicamente para esta escala de funcionamiento. La seguridad será una cuestión vital. En el cuadro que figura a continuación se comparan las principales vías de producción de hidrógeno.

Cuadro 1: Resumen de las tecnologías de producción de hidrógeno

Tecnología de producción de hidrógeno	Ventajas	Obstáculos
<i>Electrolisis</i> : descomposición del agua utilizando la electricidad	Disponible comercialmente con una tecnología comprobada; proceso industrial perfectamente entendido; modular; hidrógeno de gran pureza, conveniente para producir H ₂ a partir de electricidad renovable, que compensa la naturaleza intermitente de algunas energías renovables	Competencia con el uso directo de la electricidad renovable
<i>Reformado (aplicaciones estacionarias y en vehículos)</i> : descomposición de hidrocarburos con calor y vapor	Perfectamente entendido a gran escala; generalizado; hidrógeno de bajo coste a partir de gas natural; oportunidades para combinar con la fijación de CO ₂ a gran escala («almacenamiento del carbono»)	Las unidades a pequeña escala no son comerciales; el hidrógeno contiene algunas impurezas (en algunas aplicaciones puede resultar necesaria una limpieza del gas); emisiones de CO ₂ ; la fijación del CO ₂ genera costes adicionales
<i>Gasificación</i> : descomposición de hidrocarburos pesados y biomasa en hidrógeno y gases para reformado	Perfectamente entendido para hidrocarburos pesados a gran escala; puede utilizarse para combustibles sólidos y líquidos; posibles sinergias con combustibles sintéticos derivados de la biomasa -la gasificación de biomasa en fase de demostración	Las unidades pequeñas son muy escasas; el hidrógeno suele exigir una limpieza sustancial antes de su uso; las gasificación de biomasa aún es objeto de investigación; la biomasa tiene implicaciones para la utilización del territorio; competencia con los combustibles sintéticos derivados de la biomasa
<i>Ciclos termoquímicos</i> que utilizan el calor barato de alta temperatura procedente de la energía nuclear o solar concentrada	Producción potencialmente a gran escala y bajo coste y sin emisión de gases de invernadero para la industria pesada o el transporte; colaboración internacional (Estados Unidos, Europa y Japón) sobre investigación, desarrollo y despliegue	Hace falta investigación y desarrollo no comerciales sobre el proceso a lo largo de diez años: materiales, tecnología química; se precisa la implantación del reactor nuclear de alta temperatura (HTR)
<i>Producción biológica</i> : las algas y las bacterias producen directamente hidrógeno en determinadas condiciones	Recurso de gran envergadura potencial	Ritmo de producción de hidrógeno lento; se necesitan grandes superficies; la mayor parte de los organismos apropiados no se han encontrado todavía; aún es objeto de investigación

Almacenamiento del hidrógeno

El almacenamiento del hidrógeno es una práctica común en la industria, donde funciona de manera segura y presta el servicio deseado. Además, el hidrógeno pueden ser almacenado fácilmente a gran escala en depósitos o en cavernas subterráneas. Sin embargo, en el caso de las aplicaciones móviles sigue resultando necesario, para conseguir un radio de acción comparable al de los modernos vehículos de gasóleo o gasolina, un avance decisivo en la tecnología de almacenamiento del hidrógeno a bordo del vehículo. Las innovaciones en el diseño de los vehículos podrían contribuir a superar los inconvenientes actuales. Está llevándose a cabo una intensa actividad de investigación y desarrollo, con algunos sistemas nuevos en fase de demostración.

Puede conseguirse que algunos de los medios convencionales de almacenamiento, tales como los cilindros de gas comprimido y los tanques de líquido, resulten más ligeros, resistentes y baratos. Los métodos nuevos, entre los que figura la absorción del hidrógeno utilizando hidruros metálicos o químicos y estructuras de carbono, precisan aún de más desarrollo y evaluación.

Uso final del hidrógeno

El hidrógeno puede utilizarse para generar calor por combustión, para impulsar turbinas o, en motores de combustión interna, para generar energía eléctrica y de movimiento. Muchas de estas tecnologías están ya maduras, aunque la mejora de los materiales y los procesos contribuirá a que funcionen mejor y duren más. Las pilas de combustible se encuentran en sus primeras fases de comercialización y ofrecen mayor eficiencia en el uso del hidrógeno. Los motores de combustión interna de hidrógeno instalados en vehículos pueden constituir un buen medio de introducción del hidrógeno, en tanto se desarrollan otras tecnologías, tales como grupos motopropulsores eléctricos de pilas de combustible.

Infraestructura del hidrógeno

Es necesaria cierta infraestructura para la producción, el almacenamiento y la distribución del hidrógeno, y en el caso del transporte harán falta unas instalaciones especiales para que los vehículos reposten. Esto tiene consecuencias para la planificación del uso del suelo, así como para la explotación y el mantenimiento seguros de los equipos relacionados con el hidrógeno.

Cuadro 2: Resumen de tecnologías de almacenamiento del hidrógeno

Tecnología de almacenamiento	Ventajas	Obstáculos
<i>Cilindros de gas comprimido:</i>	Bien entendida hasta presiones de 200 bar; disponibilidad general; puede ser de bajo coste	Sólo se almacenan cantidades relativamente pequeñas de H ₂ a 200 bares; las densidades energéticas de combustible y almacenamiento a alta presión (700 bar) son comparables al hidrógeno líquido, pero están todavía por debajo de las de la gasolina y el gasóleo; el almacenamiento a alta presión está aún en fase desarrollo
<i>Tanques de líquido:</i>	Tecnología bien entendida; es posible una buena densidad de almacenamiento	Las temperaturas muy bajas requieren un aislamiento extraordinario; el coste puede ser elevado; se pierde algo de hidrógeno por evaporación; intensidad energética de la producción; la energía almacenada todavía no es comparable a los combustibles fósiles líquidos
<i>Hidruros metálicos:</i>	Se dispone de alguna tecnología; almacenamiento de estado sólido; se le pueden dar diferentes formas; los efectos térmicos pueden utilizarse en subsistemas; muy seguro;	Peso elevado; puede degradarse con el tiempo; actualmente caro; el rellenado exige circuito de refrigeración
<i>Hidruros químicos:</i>	Reacciones de formación de hidruros reversibles bien conocidas, p. ej., NaBH ₄ ; compacto	Problemas con la manipulación de residuos y en lo que se refiere a las infraestructuras necesarias
<i>Estructuras de carbono:</i>	Pueden permitir una elevada densidad de almacenamiento; ligeras; pueden resultar baratas	Ni entendidas ni desarrolladas plenamente; las promesas iniciales no acaban de materializarse

También resulta necesario abordar otras cuestiones. Una buena infraestructura de apoyo de cualquier producto o servicio exige un personal de mantenimiento adiestrado, unos investigadores con formación específica y unos códigos y normas aceptados, y todos estos elementos resultarán vitales para el éxito de la introducción del hidrógeno y las pilas de combustible.

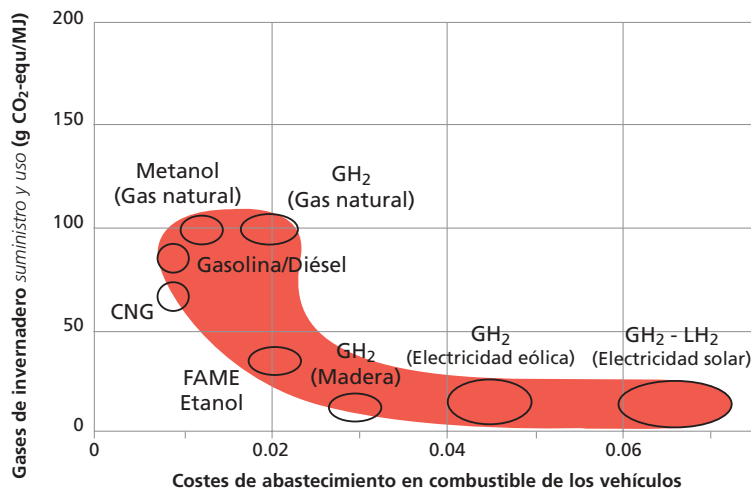
El uso de vehículos de transporte propulsados por hidrógeno dependerá de la existencia de una infraestructura de repostaje generalizada y asequible. Actualmente, existen en todo el mundo sólo unas pocas y costosas estaciones de repostaje de hidrógeno, y es preciso reducir los costes de las estaciones para que resulten comercialmente viables. El mayor reto será hacer frente a millones de automóviles privados, pero antes de eso se introducirán estaciones de repostaje para vehículos de flota. También podría iniciarse el desarrollo de una infraestructura con el suministro de combustible de hidrógeno a transbordadores u otras embarcaciones locales.

Emisiones relativas de gases de invernadero y costes de las vías de suministro de hidrógeno

La capacidad total de generación de electricidad en los 15 Estados miembros de la Unión Europea (EU15) se sitúa actualmente en torno a los 573 GW_{el}. Las previsiones para 2020 a 2030 indican que la capacidad de generación de electricidad a partir de pilas de combustible estará entre 30 y 60 GW_{el}. Supuesta una capacidad de generación a partir de pilas de combustible de 60 GW_{el} para 2020-2030 (en el límite superior del intervalo pronosticado), el ahorro de CO₂ resultante sería de unas 140 Mt anuales. Esto correspondería más o menos al 10 % de las emisiones de CO₂ ocasionadas por la generación de electricidad previstas para 2030 en EU15. Estas cifras suponen que la explotación en carga base de las futuras centrales de pilas de combustible de gas natural tendrá una eficiencia del 60% y funcionará 7 500 horas al año, sin fijación de CO₂.

En la figura 1 se indican los costes relativos del hidrógeno como combustible para el transporte. En ella se presentan los costes relativos y los niveles de emisiones de gases de invernadero por unidad

Figura 1: Emisiones específicas de gases de invernadero – Suministro y uso – en función de los costes de suministro de combustible al vehículo



- Notas:
1. FAME - ésteres metílicos de ácidos grasos (biodiésel).
 2. Emisiones distintas de cero a partir de vías de electricidad renovable directas resultantes de la construcción y erección de los equipos de fuentes renovables, para los que el «mix» europeo incluye una proporción de combustibles fósiles y por tanto emisiones de gases de invernadero.
 3. La eficiencia del uso final afectará al coste final del transporte para el consumidor. Las tecnologías más eficientes, como las pilas de combustible, podrían hacer que los costes del transporte fueran competitivos con unos costes del combustible más elevados.
 4. Los cálculos no incluyen los ahorros de CO₂ y de los costes asociados que podrían resultar de la fijación del CO₂.
 5. Los precios de la gasolina y el gasóleo se basan en un precio del crudo de aproximadamente 25 dólares por barril.
 6. Las emisiones de gases de invernadero específicas corresponden a las emisiones producidas por la **combustión completa en condiciones ideales** de 1 MJ del combustible en cuestión y de todos los procesos utilizados para producirlo. De esta manera se suprimen las variaciones resultantes de la conversión en energía final en distintos tipos de motor de combustión. En este sentido, se trata de una comparación basada en una combustión «buena a completa».

de energía aportada por distintos combustibles, entre ellos el hidrógeno comprimido y líquido, producidos por diferentes vías. Los niveles de gases de invernadero incluyen los liberados en la producción del combustible y durante su combustión completa en condiciones ideales. No incluyen variaciones en su uso final debidas a diferencias en la tecnología de conversión y en el ciclo de funcionamiento.

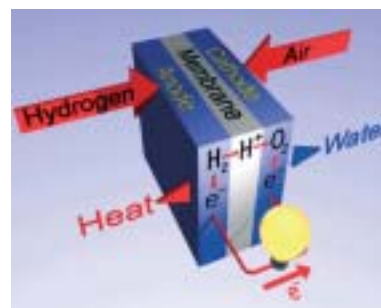
Como puede apreciarse, los costes del hidrógeno entregado al usuario final serán generalmente superiores a los costes de las opciones de combustibles fósiles actuales (excluyendo los impuestos sobre el combustible). Sin embargo, en algunos casos podría entregarse el hidrógeno (p. ej., mediante reformado a gran escala del gas natural) a un coste comparable o por debajo del de los combustibles fósiles impuestos incluidos, y a un coste competitivo con el de otros combustibles alternativos. Además, la introducción prudente del hidrógeno ocasionaría una reducción de los costes externos asociados a la conversión de energía en la generación de electricidad y el transporte, a causa de la disminución de la contaminación atmosférica y de las repercusiones sobre la salud asociadas a ella y la mitigación de las situaciones meteorológicas extremas debidas al cambio climático resultante de las emisiones de gases de invernadero. Las emisiones de estos gases asociadas al hidrógeno producido a partir de fuentes primarias renovables son en general muy bajas, pero no necesariamente nulas, ya que incluyen ciertas emisiones asociadas al consumo de energía de fuentes convencionales, por ejemplo en la compresión, licuefacción, distribución y almacenamiento del hidrógeno.

El elevado rendimiento de conversión de las pilas de combustible podría reducir más aún la distancia entre los combustibles fósiles convencionales y el hidrógeno. Además, los beneficios del hidrógeno desde el punto de vista ambiental podrían ser importantes en términos económicos, especialmente si se considera la posibilidad de que las emisiones a partir de fuentes renovables sean nulas. Se cree que el potencial de producción de hidrógeno a partir de fuentes de energía renovables es elevado, aunque es aún tema debatido.

Sistemas de pilas de combustible

Los distintos sistemas de pilas de combustible funcionan a niveles de temperatura también distintos, que van desde la temperatura ambiente hasta los 1000°C, y algunos pueden utilizar combustibles

Las pilas de combustible convierten el combustible y el aire directamente en electricidad, calor y agua en el proceso electroquímico que muestra el esquema. A diferencia de los motores convencionales, no se quema combustible para mover pistones o ejes, por lo que hay menos pérdidas de eficiencia, menos emisiones y ninguna pieza móvil. Se muestra el funcionamiento de una sola pila de combustible.



Sus ventajas son:

- elevada eficiencia;
- emisiones nulas si se usa hidrógeno y muy bajas si se usan otros combustibles (p.ej. NOx, CO,...);
- sencillez mecánica, vibración y ruido escasos, pocas necesidades de mantenimiento
- una razón electricidad/calor elevada en comparación con las centrales convencionales de cogeneración.

distintos del hidrógeno, tales como el gas natural o el metanol. Su carácter modular permite utilizar las pilas de combustible en una amplia gama de aplicaciones, desde los pequeños dispositivos electrónicos portátiles a las grandes aplicaciones estacionarias, así como en el transporte.

Acaso lo más importante es que se considera que estas pilas constituyen una «tecnología perturbadora» que podría acelerar de forma espectacular la transición de nuestro mundo actual a otro mundo nuevo, más limpio y eficiente, basado en el hidrógeno. Las pilas de combustible ofrecen considerables posibilidades de inno-

vación y podrían propiciar tecnologías o servicios que actualmente ni siquiera se imaginan.

Sin embargo, las pilas de combustible no son aún plenamente comerciales. Siguen siendo necesarias considerables inversiones en investigación, desarrollo y fabricación para reducir los costes, actualmente elevados, y mejorar sus prestaciones funcionales y su fiabilidad a largo plazo.

Hidrógeno y pilas de combustible para el transporte

Suele considerarse que el hidrógeno es el combustible más adecuado para vehículos eléctricos de pilas de combustible tales como automóviles privados, vehículos ligeros de carga y autobuses. El hidrógeno puede almacenarse a bordo de un vehículo en forma líquida o comprimida, o en hidruros metálicos o químicos. Los vehículos de pilas de combustible podrían tener un consumo muy bajo sin merma de la comodidad ni de la facilidad de conducción. La reducción de emisiones mejoraría tanto la calidad del aire local como el medio ambiente del planeta. Muchos de los principales fabricantes de automóviles del mundo han presentado ya vehículos de pilas de combustible en demostración, y están incluso empezando a alquilar un corto número de vehículos a primeros clientes seleccionados.

Los vehículos de pilas de combustible tienen una autonomía mayor que los de baterías, aunque los prototipos no pueden aún compararse con los vehículos convencionales de gasolina o gasóleo. No obstante, un vehículo de pila de combustible de hidrógeno ofrece algunas ventajas con respecto a los motores de combustión interna de hidrógeno o a las pilas de otros combustibles distintos.

Además, las pilas de combustible pueden servir también como fuente de energía eléctrica a bordo. Las unidades auxiliares de potencia (APU) basadas en pilas de combustible e instaladas en vehículos y camiones convencionales contribuyen a reducir las emisiones alimentando los equipos de acondicionamiento de aire, de refrigeración o eléctricos –especialmente cuando el vehículo está parado.

Las pilas de combustible y el hidrógeno son aplicables igualmente en el transporte por agua, donde existen asimismo importantes problemas de emisiones y ruidos. Las pilas de combustible de hidrógeno suministran ya una energía silenciosa –sin firma térmica– a bordo a

Ventajas de las pilas de combustible para el transporte

- **Eficiencia:** Los automóviles de pilas de combustible han demostrado eficiencias muy elevadas al funcionar con hidrógeno en comparación con los motores de combustión interna y las pilas de combustible acopladas con reformadores de metanol o gasolina a bordo.
- **Emisiones de CO₂ y seguridad energética:** Los vehículos de pilas de combustible alimentados por hidrógeno son los que más ventajas presentan en relación con los motores de combustión interna del futuro y con los vehículos de pilas de combustible que utilizan otros combustibles, especialmente en el contexto de una transición al hidrógeno renovable a plazo más largo.
- **Emisiones reguladas:** Los automóviles de pilas de combustible tienen unas emisiones muy bajas, e incluso nulas en el punto de utilización cuando están alimentadas por hidrógeno.
- **Energía:** Las pilas de combustible de los automóviles pueden suministrar la electricidad a bordo con un elevado rendimiento. De esta forma los automóviles de pilas de combustible podrían producir energía para el hogar, la oficina o zonas apartadas..
- **Prestaciones y cualidades:** Los vehículos de pilas de combustible y de hidrógeno podrían ofrecer cualidades similares o mejores en cuanto a prestaciones;
- **Congestión:** Los vehículos silenciosos podrían entregar mercancías de noche, aliviando el tráfico durante el día.
- **Comodidad:** Los vehículos de pilas de combustible tienen una marcha muy suave y emiten escaso ruido.

los submarinos. Podrían asimismo suministrar energía eléctrica a bordo, e incluso propulsión, a los buques, especialmente en zonas sensibles desde el punto de vista ambiental en el que las emisiones permitidas a los barcos sean nulas o muy bajas.

El hidrógeno líquido podría incluso tener aplicación en la aviación, según ha demostrado la investigación europea, aunque para ello hará falta mucho tiempo e inversiones cuantiosas.

Pilas de combustible para energía estacionaria

Existen pilas de combustible estacionarias de muchos tipos y tamaños, construidas con diferentes materiales y utilizables a temperaturas que van de 60° C a 1000° C. Se pueden utilizar en sistemas descentralizados para suministrar electricidad y calor con diferentes usos finales, incluso en unidades domésticas de suministro de energía a hogares individuales.

Pueden alimentarse directamente de gas natural, así como de biogás e hidrógeno. La biomasa gasificada (mediante fermentación o

gasificación) parece una buena opción, ya que las pilas de combustible de alta temperatura pueden convertir el metano y el monóxido de carbono sea directamente, sea a través de reformado interno. Para las pilas de combustible de baja temperatura, la solución preferible podría ser el reformado *in situ*.

Están siendo sometidas a prueba gran número de pilas de combustible estacionarias en ensayos de campo y demostraciones, tanto en hogares individuales como en aplicaciones de más envergadura, por ejemplo hospitales. En Estados Unidos se están utilizando pilas de combustible en el suministro de energía a bases militares.

Al igual que en el caso del transporte, las aplicaciones estacionarias de las pilas de combustible tienen todavía por delante muchos retos. Siguen siendo necesarios la investigación, el desarrollo y la demostración, combinados con la mejora de los procesos de fabricación, para mejorar la duración, fiabilidad y coste de los sistemas. En las primeras fases de comercialización, las pilas de combustible penetrarán en los mercados en que ofrezcan ventajas únicas. Las pilas de combustible utilizadas en el transporte se pueden usar también en algunos sistemas estacionarios, lo que permitiría obtener sinergias en la investigación y el desarrollo. Se espera que todos los tipos de pila de combustible puedan desempeñar algún papel en una futura economía energética, especialmente en una economía del hidrógeno. No obstante, por el momento los costes son demasiado elevados para competir con los sistemas convencionales en la mayor parte de las aplicaciones.

Pilas de combustible para obtener energía portátil

En las aplicaciones portátiles, las pilas de combustible pueden suministrar energía eléctrica durante períodos mucho más largos que las baterías. El creciente uso de equipos electrónicos y eléctricos portátiles (teléfonos móviles, radios, ordenadores laptop, PDA y herramientas eléctricas) podría abrir una amplia gama de aplicaciones. Las pilas de combustible portátiles pueden ser alimentadas por hidrógeno, metanol o etanol. Es positivo que incrementar el tiempo de funcionamiento de los equipos portátiles sea una de las principales prioridades de los consumidores en este momento, ya que su comportamiento superior al de las baterías en lo que esto se refiere podría contribuir a generalizar la aceptación de las pilas de combustible. Es evidente que en estas aplicaciones de bajo con-

Ventajas de las pilas de combustible estacionarias:

- **Eficiencia:** Las pilas de combustible tienen, con independencia de su tamaño, una elevada eficiencia y una gran calidad de potencia.
- **Emisiones:** Emisiones de carbono nulas o muy bajas y nula emisión de contaminantes del aire ambiente nocivos (dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono, etc.).
- **Medio ambiente:** Los bajos niveles de ruido y emisiones permiten ubicar las pilas de combustible en zonas sensibles.
- **Adecuación:** Las pilas de combustible pueden suministrar calor y electricidad a partir de diversos combustibles; funcionan con una relación energía/calor más elevada que los sistemas de cogeneración convencionales. ■

sumo de energía las posibilidades de reducción de los gases de invernadero son también pequeñas, si se las compara con las aplicaciones en el transporte y en la generación de energía estacionaria. No obstante, las posibilidades de innovación siguen siendo grandes en esta área.

Aplicaciones en los sectores de defensa y aeroespacial:

Las pilas de combustible tienen un gran potencial en las aplicaciones de defensa, ya que generan energía silenciosamente, al contrario que el diésel, como APUr para carros de combate, o producen elevados niveles de energía para uniformes avanzados. Los mercados de la defensa son menos sensibles a los costes que los privados, y pueden brindar una oportunidad excelente para el desarrollo y la comprobación de la tecnología. El sector aeroespacial, por su parte, puede utilizar las pilas de combustible en naves espaciales, como es ya el caso, y en aviones para aplicaciones de mando de vuelo eléctrico y de potencia auxiliar. ■

Retos que quedan por delante

La «industria» de la energía del hidrógeno está solamente en sus inicios, y tanto América del Norte como los países del arco del Pacífico mantienen posiciones privilegiadas en lo relativo a investigación, desarrollo y despliegue.

Muchas de las empresas que impulsarán la energía del hidrógeno son multinacionales, capaces por tanto de desarrollar y aplicar las soluciones a nivel planetario. No obstante, Europa necesitará de un liderazgo vigoroso y de un marco político en el que estas industrias puedan prosperar.

Retos para las pilas de combustible:

- **Coste:** Salvo en aplicaciones particulares como la generación de energía de reserva para las grandes instituciones financieras, las pilas de combustible suelen ser hoy demasiado caras para su introducción comercial.
- **Duración:** Algunos sistemas de pilas de combustible han sido demostrados durante miles de horas, pero la mayoría aún debe ser sometida a prueba.
- **Fiabilidad:** Es preciso someter a prueba no solamente las pilas de combustible, sino también los equipos auxiliares, tales como los procesadores de combustible.
- **Novedad:** En la mayor parte de los mercados conservadores, cualquier tecnología nueva requiere un apoyo significativo para poder competir.
- **Hacen falta avances tecnológicos decisivos** para mejorar simultáneamente las prestaciones, la fiabilidad y el coste de las pilas de combustible.
- **Infraestructura:** Todavía no se dispone de repostaje, de procesos de fabricación a gran escala ni de infraestructuras de apoyo tales como personal formado para los sistemas de pilas de combustible. ■

ANEXO I

Grupo de alto nivel sobre el hidrógeno y las pilas de combustible

Empresa	Persona	Cargo
Air Liquide	Daniel Deloche	Vicepresidente de la División de espacio y tecnologías avanzadas
Ballard Power Systems	André Martin	Director gerente de los programas Europa y Transporte
CEA	Alain Bugat, represented by Pascal Colombani	Presidente, Presidente de la Asociación francesa para el avance de la ciencia
CIEMAT	César Dopazo	Director General
DaimlerChrysler	Herbert Kohler	Vicepresidente de investigación sobre carrocerías y grupos motopropulsores, Responsable de medio ambiente
ENEA	Carlo Rubbia	Presidente
FZ Julich	Gerd Eisenbeiß	Miembro del Consejo de Administración
Iceland	Hjalmar Arnason	Diputado al Parlamento de Islandia
Johnson Matthey	N.A.P. Carson	Director Ejecutivo
Norsk Hydro	Tore Torvund	Vicepresidente ejecutivo de Norsk Hydro y Director General de Norsk Hydro Oil and energy
Nuvera	Roberto Cordaro	Presidente y Director General
Renault	Pierre Beuzit	Vicepresidente de Investigación, Renault SA
Rolls-Royce	Charles Coltman	Presidente y Director General de Rolls-Royce Fuel Cell Systems Ltd
Shell	Jeremy Bentham	Director General de Shell Hydrogen
Siemens-Westinghouse	Thomas Voigt	Presidente de la División de pilas de combustible estacionarias
Solvay	Leopold Demiddeleer	Director de I+D de Solvay
Sydskraft	Lars Sjunnesson	Director de I+D y medio ambiente
UITP	Wolfgang Meyer	Presidente
Vandenborre Technologies	Hugo Vandenborre	Presidente y Director General

ANEXO II

Grupo de alto nivel sobre el hidrógeno y las pilas de combustible: Sherpas

Empresa	Persona	Cargo
Air Liquide	Philippe Paulmier	Director de márketing
Ballard Power Systems	Arnold van Zyl	Delegado de investigación
CEA	Paul Lucchese	Director de proyecto de hidrógeno y pilas de combustible
CIEMAT	Pedro Garcia Ybarra	Subdirector General
DaimlerChrysler	Andreas Docter/Jörg Wind	Director de proyecto de pilas de combustible
ENEA	Raffaele Vellone	Jefe de proyecto
FZ Julich	Bernd Hoehlein	Director adjunto del Instituto de materiales y procesos en sistemas energéticos
Icelandic	Jon Bjorn Skulason	Director General
Johnson Matthey	Ian Stephenson	Director Ejecutivo de Medio Ambiente
Norsk Hydro	Ivar Hexeberg	Vicepresidente y jefe de la División de hidrógeno de Hydro Energy
Nuvera	Alessandro Delfrate	Director de ventas
Renault	Christophe Garnier	Jefe del Departamento de sistemas energéticos
Rolls-Royce	Olivier Tarnowski	Tecnólogo principal
Shell	Chris de Koning	Director de comunicación y relaciones exteriores
Siemens	Klaus Willnow	Director de cuenta de política energética
Solvay	Guy Laurent	Director de programa
Sydkraft	Bengt Ridell	Consultor
UITP	Laurent Dauby	Director de programas y estudios
Vandenborre Technologies	Christian Machens	Coordinador del Programa Europeo

Agradecimiento:

El Grupo de alto nivel desea agradecer la ayuda prestada para la redacción del presente documento por:

David Hart, Imperial College, Londres

Ausilio Bauen, Imperial College, Londres

Jesse Cross asó

"El 'Grupo de alto nivel' también desea agradecer la contribución del Dr. Pascal Colombani como Presidente del Comité Organizador de la conferencia 'The Hydrogen Economy - a bridge to sustainable energy' celebrada en Bruselas el 16 y 17 de Junio de 2003, en la que se presentó y discutió el presente informe".

Comisión Europea

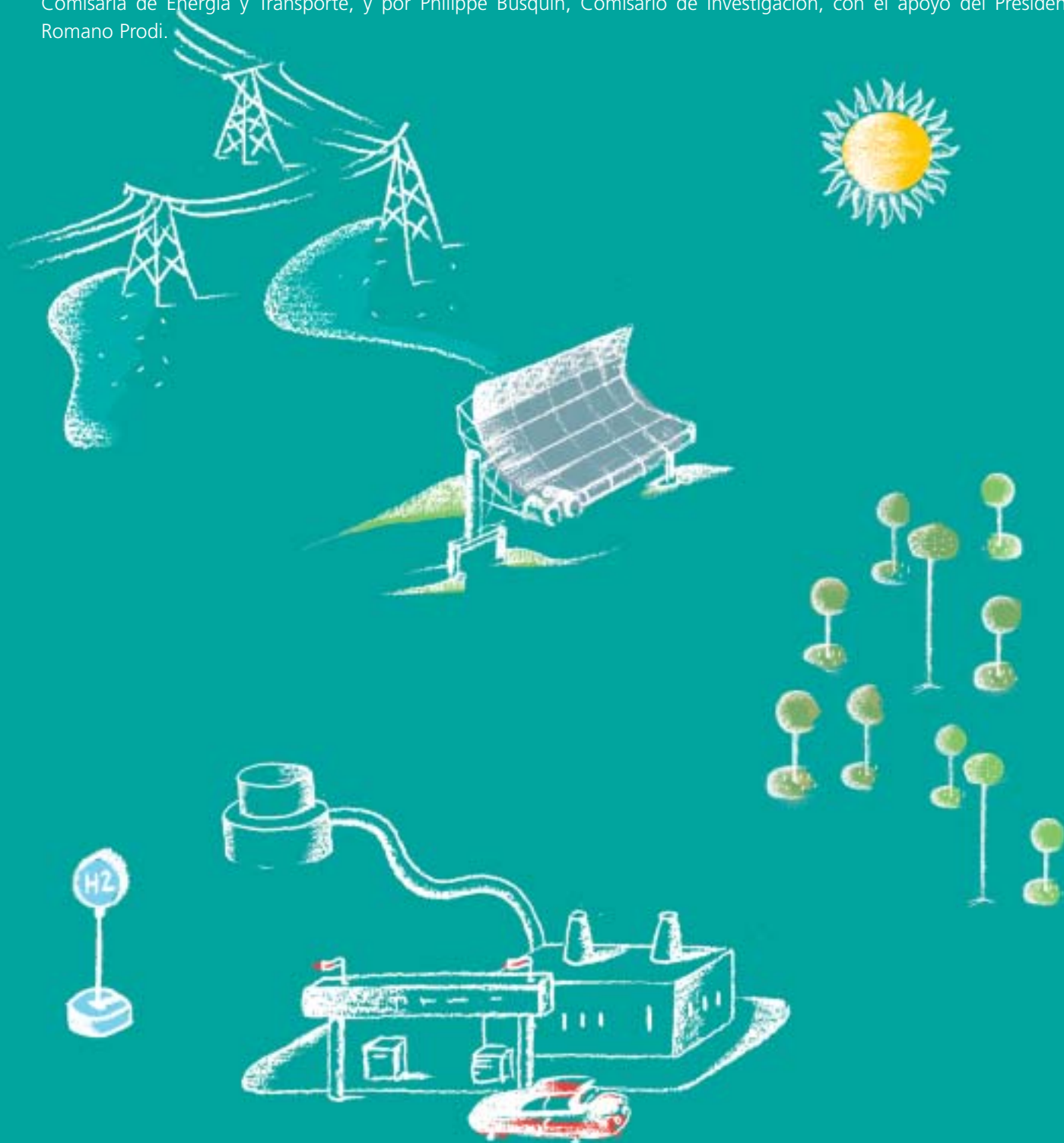
EUR 20719 ES – La energía del Hidrógeno y las Pilas de combustible – Una visión para nuestro futuro

Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas

2003 - 32 pp. - 21 x 29,7 cm

ISBN 92-894-6282-5

El presente informe contiene la visión del 'Grupo de Alto Nivel' sobre el hidrógeno y las pilas de combustible para estas tecnologías en el contexto de los sistemas de energía sostenibles en el futuro: reforzar la seguridad del abastecimiento energético, mejorar la calidad del aire y, a la vez, mitigar los efectos del cambio climático. El informe recomienda una serie de acciones encaminadas a desarrollar tecnologías competitivas a nivel mundial así como a fomentar su explotación comercial. El 'Grupo de Alto Nivel' está integrado por representantes de la industria, la comunidad investigadora, las autoridades públicas y los usuarios finales. Fue creado por Loyola de Palacio, Vicepresidente de la Comisión Europea y Comisaria de Energía y Transporte, y por Philippe Busquin, Comisario de Investigación, con el apoyo del Presidente Romano Prodi.



Mente Androide

<http://4DLab.info>

Portal bilingüe de material educativo para estudiantes, instructores, y mejoramiento profesional

Catálogo de libros electrónicos (EBooks, libros sin tinta, libros verdes) para descarga gratuita. Regrese por más material educativo, más infografías, más humor colegial, más artículos críticos. Solamente haga Click sobre los enlaces mostrados. <http://4DLab.info>

Energía solar, celdas y tecnología fotovoltaica. [Portadas.](#)

Energía eólica (energía del viento). [Portadas.](#)

Biodiesel, bioetanol, biogás. [Portadas.](#)

Nanotecnología nanociencia. [Portadas.](#)

Almacenaje de energía, baterías eléctricas, pilas. [Portadas.](#)

Vehículos eléctricos (coches, carros, automóviles). [Portadas](#)

Pilas de combustible (*Fuel cells*). [Portadas](#)

Infografías

Humor

Artículos críticos sobre la historia y filosofía de la ciencia, matemáticas, física, astronomía, etc.

Nuestro portal en Internet es bilingüe español-inglés. Tenemos muchos recursos de mejoramiento profesional en ambos idiomas.

Visítenos en <http://4DLab.info>

