

Pilas de combustible, electricidad para el futuro inmediato

Santiago Liviano García

Fuel cells, electricity for the immediate future

RESUMEN

El cambio climático y el desarrollo sostenible han obligado a la comunidad científica a investigar sobre nuevos métodos de generación de energía. Desde mediados del siglo XIX ya se conocen los fundamentos de la pila de combustible, mucho antes de que se sospechara que pudiera tener aplicación en la vida real. A día de hoy, todavía son múltiples los factores en contra del uso generalizado del hidrógeno como vector para generar energía, pero, del mismo modo, ya son muchas las voces contrastadas en la materia que apuntan a las pilas de combustible como la principal alternativa real a los métodos tradicionales de generación de energía (sobre todo eléctrica), como el petróleo y el carbón. Los sistemas de generación de electricidad basados en el hidrógeno tienen unas eficiencias más altas que otros sistemas en competencia; si a esto le sumamos que sus emisiones son menores, debería ser una apuesta clara para el futuro inmediato.

Recibido: 28 de diciembre de 2010
Aceptado: 28 de febrero de 2011

Palabras clave

Hidrógeno, pilas de combustible, desarrollo sostenible, electricidad

ABSTRACT

Climate change and sustainable development has forced the scientific community to investigate on new methods of power generation. The basics of the fuel cell have been known since mid 1800s, long before it is suspected that it could have application in real life. Today, there are still many factors against the widespread use of hydrogen as a vector to generate energy but, just as there are many contrasting voices on the subject aimed at fuel cells as the only real alternative to traditional methods of power generation (especially electricity) such as oil and coal. The power generation systems based on hydrogen have higher efficiencies than other competing systems. If we add that their emissions are lower there should be a clear commitment for the future

Received: December 28, 2010
Accepted: February 28, 2011

Keywords

Hydrogen, fuel cells, sustainable development, electricity



Foto: Shutterstock

Desde mediados del siglo XIX se conoce el fundamento de las pilas de combustible. Fue Sir William Robert Grove, jurista de profesión y físico de vocación, quien realizó en 1839 unos ensayos que demostraban la posibilidad de generar corriente eléctrica a partir de una reacción electroquímica entre el hidrógeno y el oxígeno.

Uniendo una serie de cuatro celdas electroquímicas (figura 1), compuestas cada una de ellas por un electrodo con hidrógeno y otro con oxígeno separados por un electrolito, observó que la reacción del hidrógeno en el electrodo negativo combinada con la del oxígeno en el positivo generaba una diferencia de potencial entre los electrodos de la pila y, por ello, una corriente eléctrica.

Como en otros órdenes de esta sociedad actual, hasta que no se vislumbra una utilidad armamentística o aeroespacial (la NASA decidió emplearlas en las misiones *Géminis* y *Apolo*) esta teoría de Grove quedó relegada a una simple teoría sin aplicación práctica industrial. Es a partir de este momento (1960) cuando empieza su desarrollo tecnológico.

En el ámbito de nuestro país, una vez entrado el siglo XXI se denota un cierto interés en la investigación e implantación de este sistema de generación a tra-

vés de las pilas de combustible, según se puede extraer del documento principal del *Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2004-2007, Vol. II*, publicado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología y aprobado por el Consejo de Ministros en su reunión de 7 de noviembre de 2003:

“(…) Introduciendo igualmente los nuevos sistemas de almacenamiento y transporte de energía, como el hidrógeno, vector energético aplicable al transporte y a usos estacionarios y mejorando las posibilidades ofrecidas por sistemas innovadores como las pilas de combustible. En este agrupamiento se requiere intensificar el desarrollo tecnológico para acompañarlo de investigación, en todas sus modalidades, y demostración para facilitar su implantación industrial y en el mercado.

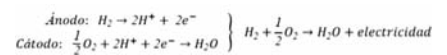
Descripción de la pila de combustible

Una pila de combustible es un dispositivo electroquímico que convierte directamente la energía química en electricidad y calor. Consta de dos electrodos (figura 2), el ánodo y el cátodo, separados por un electrolito en forma de sándwich. Los tipos de pilas de combustible

se caracterizan principalmente por su electrolito. A diferencia de la pila eléctrica o batería, una de combustible no se acaba ni necesita ser recargada; funciona mientras el combustible y el oxidante le sean suministrados desde fuera.

El combustible oxidado en el ánodo, libera electrones que fluyen por el circuito externo hasta el cátodo. El circuito se completa con el flujo de iones en el electrolito, que además separa las dos corrientes de gases, combustible y oxidante. El calor generado puede emplearse directamente como un subproducto en el procesador del combustible o para producir residualmente más electricidad (reacción inversa a la electrolisis del agua):

Las principales reacciones que tienen lugar son:



Las celdas se apilan y se conectan en serie o en paralelo para suministrar el voltaje y la potencia deseados, motivo por el cual se las conoce también con el nombre de pilas de combustible.

Los electrodos que se empleen y las condiciones de operación de las celdas condicionarán el electrolito que utilizar. Evidentemente, la superficie de los elec-

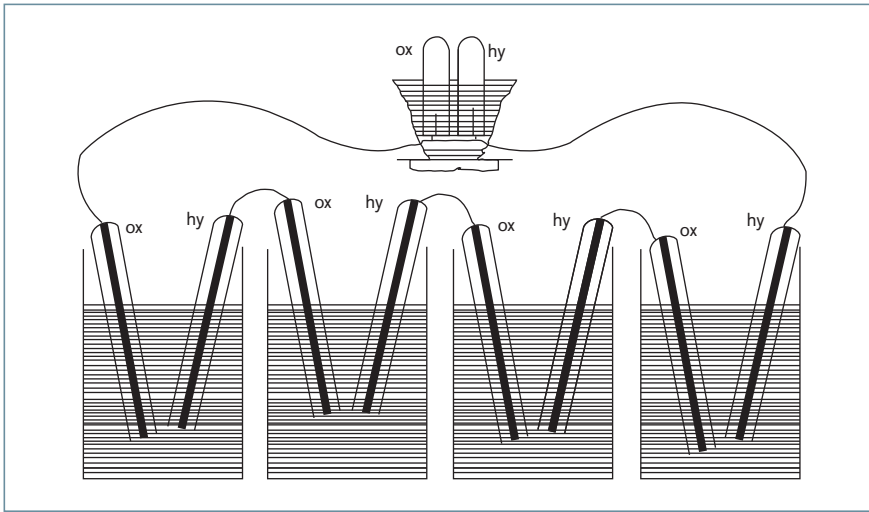


Figura 1. Esquema básico de la pila de combustible de Grove.

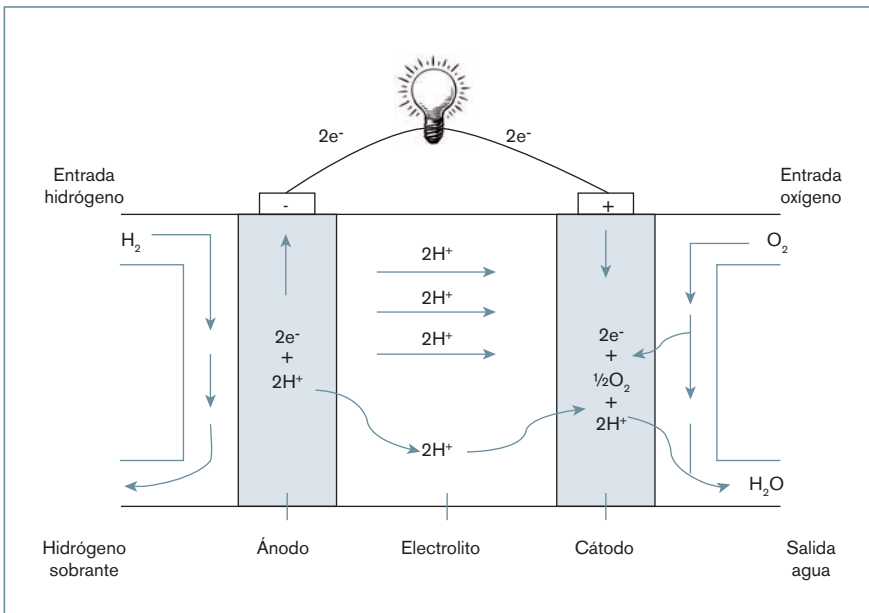


Figura 2. Esquema general de una pila de combustible.

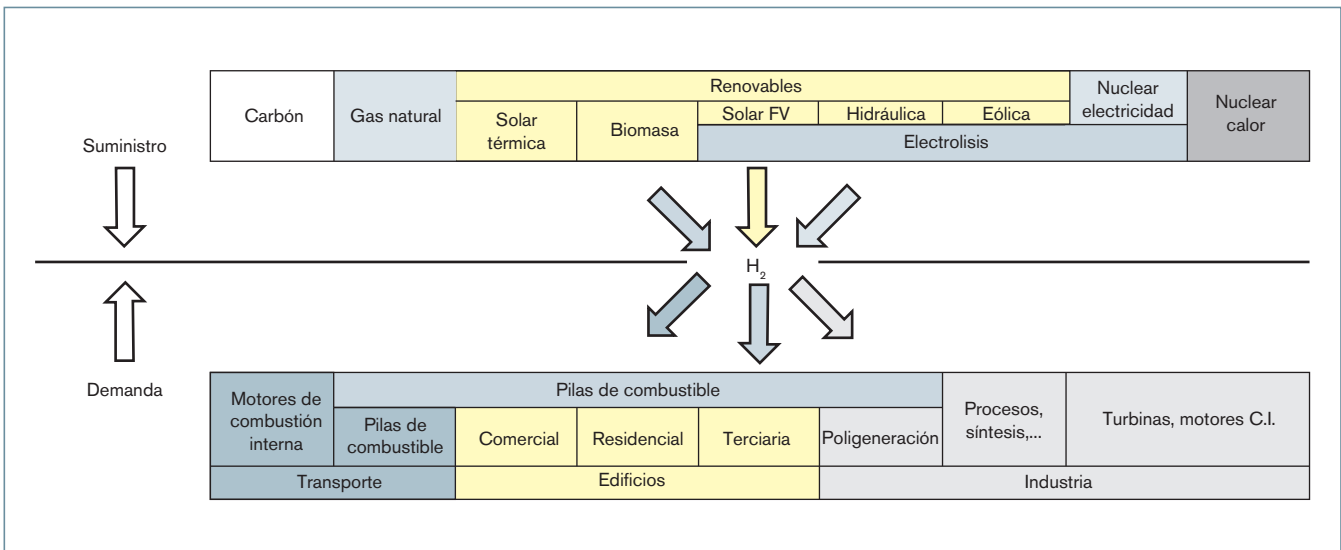
trodos y la separación entre ellos van a ser factores determinantes del voltaje de celda y de la energía producida. La estructura íntima de los electrodos, el electrolito, las dimensiones geométricas, las condiciones termodinámicas de operación y las características de los reactivos van a influir en el proceso.

Un sistema de generación basado en pilas de combustible consta genéricamente de un procesador de combustible que permite obtener el hidrógeno necesario como combustible principal. Este procesador sería innecesario en el caso de las pilas de combustible de hidrógeno o de metanol directo. A continuación, se acopla la sección de generación eléctrica, formada por las pilas de combustible y los dispositivos de alimentación, recirculación, extracción del calor, de la corriente eléctrica y de los productos de reacción. En caso de que sea necesario (la mayoría de veces), finalmente es necesario un sistema de acondicionamiento eléctrico para la conversión de la corriente continua producida en la corriente alterna necesaria para su acoplamiento a la red.

En la figura 3 se reflejan las distintas posibilidades de obtención del hidrógeno (parte superior del esquema) y los posibles usos de la energía obtenida de la pila de combustible (parte inferior del esquema).

El calor generado en la reacción electroquímica así como el liberado por *efecto Joule* por el movimiento de los iones en el electrolito debe extraerse con sistemas complementarios a la salida de gases, por lo que las celdas deben llevar incorporado un sistema de refrigeración, que normalmente se instala cada cierto número de ellas.

Figura 3. Hidrógeno: fuentes de energía primarias, convertidores de energía y aplicaciones.



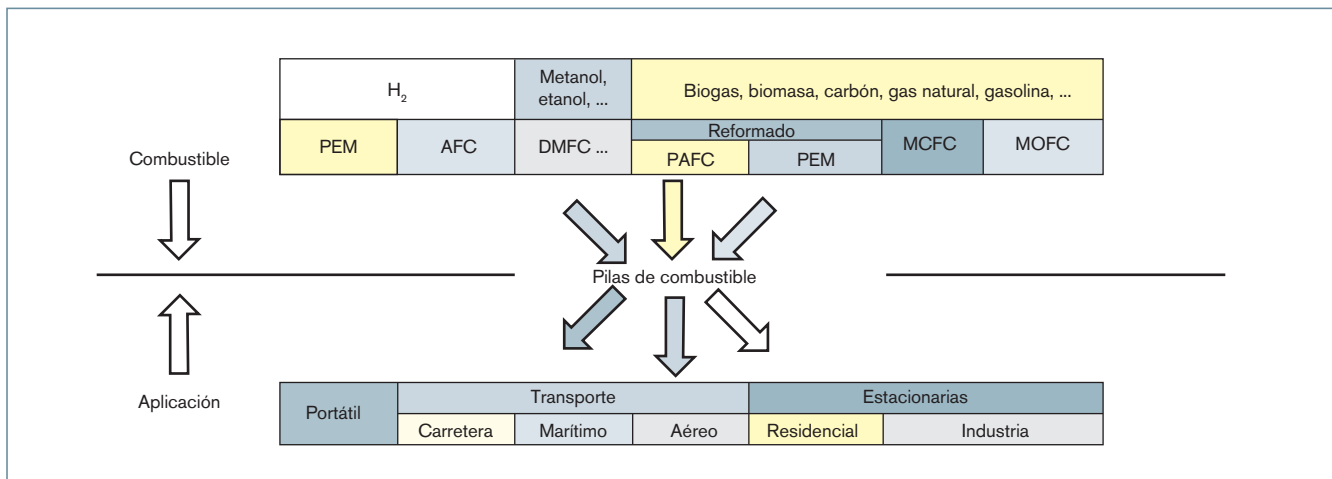


Figura 4. Tecnologías de pilas de combustible: posibles combustibles y aplicaciones.

En la figura 4 se reflejan los distintos tipos de pilas que existen en la actualidad según el combustible utilizado (parte superior del esquema) y sus distintas aplicaciones (parte inferior del esquema).

Características generales de las pilas de combustible

Las pilas de combustible tienen las siguientes características generales:

- *Tiempo de construcción.* Normalmente las instalaciones serán ejecutadas de manera repetitiva y, por tanto, la preparación del terreno se puede estandarizar, permitiendo bajos costes de instalación y cambios regulares con facilidad y rapidez.

- *Factor de carga.* Con las pilas de combustible se pueden esperar factores de carga de alrededor del 90%.

- *Modularidad.* Los módulos individuales pueden construirse tan pequeños como sea necesario, de manera que puede ensamblarse el sistema completo a base de ensamblar estas unidades.

- *Generación de corriente continua.* Las pilas de combustible son generadoras de corriente continua, por lo que puede ser esta una gran ventaja (actualmente se están empezando a poner en servicio sistemas de distribución eléctrica en corriente continua).

- *Ausencia de ruido.* Otra gran ventaja de las pilas de combustible es su propiedad de funcionar sin producir ruido por la ausencia de componentes dinámicos en su interior. Los únicos ruidos producidos serán los que se produzcan en los componentes auxiliares, lo que las capacita para su utilización en edificios y zonas habitables. Por

supuesto, también está disponible esta tecnología para la instalación de plantas industriales de generación de electricidad, como es el caso de la pila de combustible que Iberdrola tiene en la población madrileña de San Agustín del Guadalix (figura 5).

- *Sistemas híbridos.* El mercado potencial de las pilas de combustible se puede incrementar combinándolas con otros equipos de generación energética como son las turbinas de gas y vapor, para el caso de las pilas de alta temperatura y con motores de combustión interna y baterías en el caso de las de baja temperatura.

Tipos de pilas de combustible

Como fruto de este desarrollo se han promovido varios tipos de pilas de combustible, que en el momento presente pueden ofrecer distintas opciones comerciales. Las diferencias esenciales entre los distintos tipos se deben al electrolito empleado, que obliga a diferentes materiales para los electrodos y, por supuesto, a diferentes condiciones de operación, lo que finalmente se traduce en otras posibilidades de utilización.

Alcalinas (AFC, del inglés *alkaline fuel cells*)

Las pilas de combustible alcalinas (AFC, del inglés *Alkaline Fuel Cells*) (figura 6) fueron las primeras que se utilizaron debido al programa espacial de Estados Unidos para producir energía eléctrica y agua a bordo de las naves espaciales. El material utilizado en las pilas AFC es una solución de NaOH en agua como electrolito y pueden usar una gran variedad de metales no preciosos como catalizadores en el ánodo y el cátodo. Las pilas AFC de altas temperaturas pueden funcionar a temperaturas entre 100 °C y 250 °C. En diseños más modernos de estas pilas se han llegado a

Figura 5. Pila de combustible de Iberdrola en San Agustín del Guadalix (Madrid).



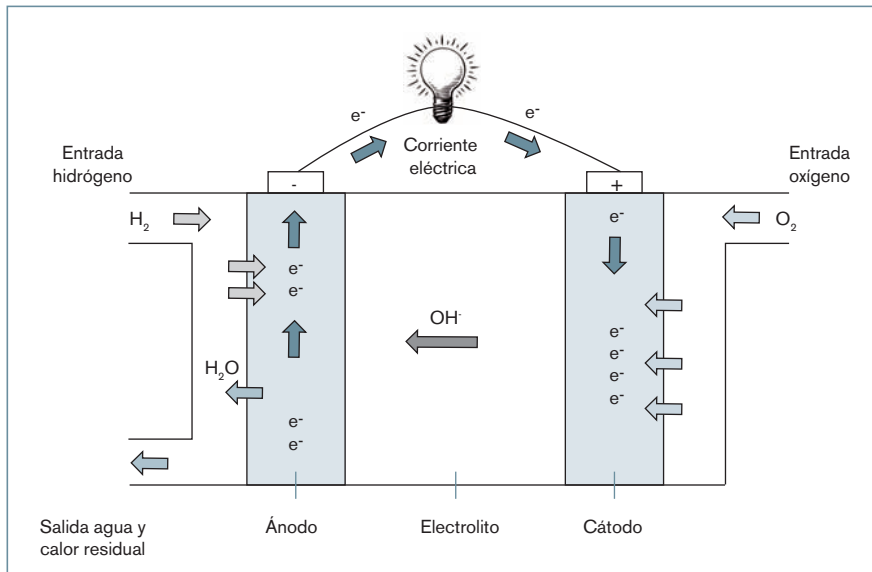


Figura 6. Pila de combustible alcalina.

conseguir temperaturas más bajas, entre 23 °C y 70 °C, aproximadamente.

Las pilas AFC son de alto rendimiento debido a la velocidad a la que tienen lugar las reacciones que se producen en ellas. También son muy eficientes, pues alcanzan el 60% de rendimiento en aplicaciones espaciales. Su principal desventaja consiste en su sensibilidad a la contaminación por dióxido de carbono. De hecho, incluso una pequeña cantidad de CO₂ en el aire puede afectar al funcionamiento de la pila, haciendo necesario purificar tanto el hidrógeno como el oxígeno utilizados. Este proceso de purificación incrementa el coste de la pila y, además, duran menos debido a la susceptibilidad que presentan a este tipo de contaminación.

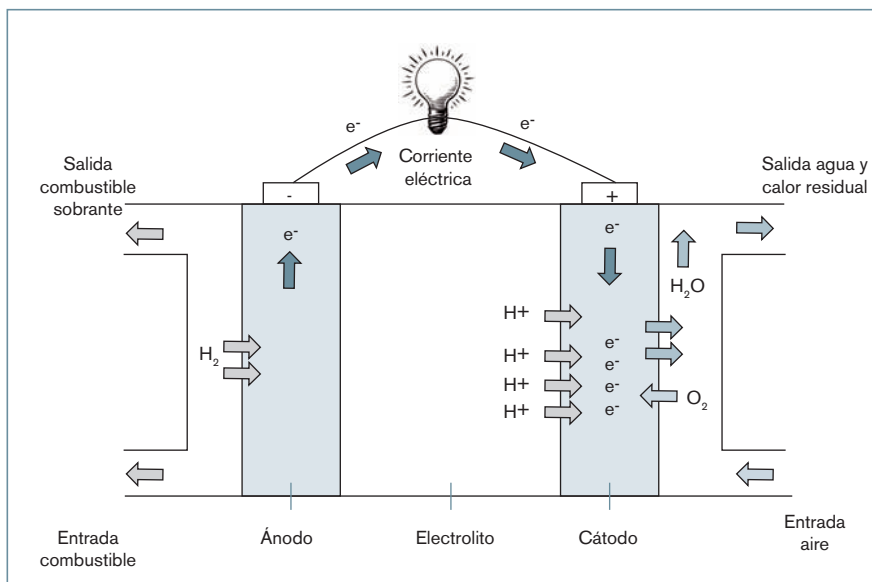
Ácido fosfórico

Estas pilas utilizan ácido fosfórico líquido como electrolito (PAFC, del inglés *phosphoric acid fuel cells*) y electrodos de carbono poroso que contienen un catalizador de platino (figura 7).

El ácido fosfórico tiene una baja presión de vapor a la temperatura de operación de 190 °C. Esta pila de combustible consiste en un ensamblaje de electrodos de carbón poroso, dopado con platino como catalizador con capas de electrolito interpuestas y una placa bipolar de grafito que une el cátodo con el ánodo de la pila adyacente.

Podríamos considerar la pila PAFC la primera generación de pilas de combustible modernas. Es uno de los tipos de

Figura 7. Pila de combustible PAFC.



pilas de combustible más desarrollados y el más usado en la actualidad. Este tipo de pila se usa normalmente en la generación de energía estacionaria, pero también se ha usado en vehículos pesados, como los autobuses urbanos.

Presentan una eficacia del 85% cuando se utilizan como generadores de energía eléctrica y calórica, pero son menos eficaces cuando generan solo energía eléctrica (entre el 37% y el 42%). Su principal inconveniente es que producen menos energía que otras pilas a igualdad de peso y volumen, por lo que normalmente presentan gran tamaño y peso y son más caras.

Carbonatos fundidos

Las pilas de combustible de carbonato fundido (MCFC, del inglés *molten carbonate fuel cells*) (figura 8) se están desarrollando en la actualidad para plantas de energía de carbón en la producción de electricidad, como es la que Iberdrola ha montado en San Agustín del Guadalix (Madrid). Las pilas MCFC admiten altas temperaturas de funcionamiento (entre 600 °C y 650 °C), ya que utilizan un electrolito compuesto de una mezcla de sales de carbonato fundidas dispersas en una matriz cerámica porosa y químicamente inerte de óxido de litio-aluminio. Por este motivo, se pueden utilizar en el ánodo y el cátodo metales que no sean nobles como catalizadores, lo que reduce el coste de instalación y de mantenimiento.

Las pilas MCFC son más eficientes y cuestan menos que las pilas de ácido fosfórico. Estas pilas pueden tener un rendimiento de aproximadamente el 60%. Cuando el calor que se desprende es captado y utilizado, el rendimiento total del combustible puede ser de hasta el 85%.

Las pilas de carbonato fundido no son propensas a la contaminación por monóxido o dióxido de carbono, lo que permite que se puedan usar en ellas como combustible gases fabricados del carbón. Aunque son más resistentes a las impurezas que otros tipos de pilas, se están investigando actualmente nuevas formas de hacer que la pila MCFC sea resistente a las impurezas procedentes del carbón, como pueden ser el sulfuro y las partículas.

La desventaja más importante de la tecnología existente de MCFC es su durabilidad. Las altas temperaturas a las que operan estas pilas y el electrolito corrosivo que se utiliza en ellas hacen que sus componentes se deterioren con suma facilidad, lo que reduce la duración de la pila. Los científicos están buscando mate-

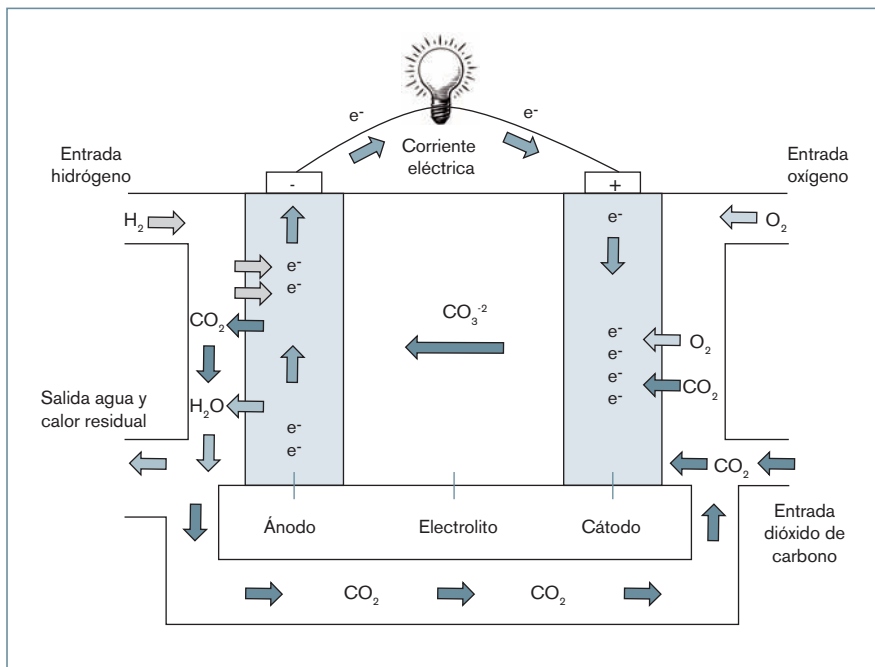


Figura 8. Pila de carbonato fundido.

riales resistentes a la corrosión para fabricar los componentes.

Oxidos sólidos

Las pilas de combustible de óxido sólido (SOFC, del inglés *solid oxide fuel cells*) usan como electrolito un componente de cerámica duro y no poroso (figura 9). Al ser el electrolito sólido, las pilas no se tienen que construir con una configuración laminar, como ocurre con las otras pilas. Las pilas SOFC tienen un rendimiento en la conversión de combustible en electricidad del 50-60%. En aplicaciones cuya finalidad es captar y utilizar el calor

que desprende el sistema (cogeneración), el rendimiento del combustible puede llegar a alcanzar el 80-85%.

Las pilas SOFC operan a temperaturas muy elevadas (alrededor de los 1.000 °C), por lo que no es necesario utilizar metales nobles como catalizadores. Esto reduce el coste en la instalación y el mantenimiento. También permite a la pila SOFC convertir los combustibles internamente, lo que supone la posibilidad de usar diferentes combustibles y reducir el coste.

Por estas altas temperaturas de funcionamiento se presentan tres desventajas principalmente:

- a) El tiempo de arranque es muy lento.
- b) Es necesario dotar al sistema de una abundante protección para evitar que el calor se escape y para proteger al personal que trabaja con ellas, lo que puede ser aceptable para algún tipo de aplicaciones, pero no para el transporte y para algunos aparatos portátiles.
- c) La duración de los materiales que se utilizan es menor que en otros sistemas. El desarrollo de materiales a bajo precio y de larga duración a las temperaturas a las que funciona la pila, es la clave del reto tecnológico al que se somete esta tecnología.

La comunidad científica está estudiando en la actualidad el potencial para desarrollar pilas SOFC que funcionen a 800 °C o menos, que tengan menos problemas de duración y que cuesten menos. Las pilas SOFC a temperaturas más bajas producen menos electricidad, y no se han encontrado materiales para estas pilas que funcionen a este rango de temperaturas.

Membrana de polímero sólido

Las pilas de membrana polimérica (PEM, del inglés *Polymer Electrolyte Membrane*), también llamadas pilas de combustible de membrana de intercambio de protones, proporcionan una densidad energética elevada y tienen la ventaja de ser ligeras y tener un tamaño pequeño, si se las compara con otras pilas (figura 10). Las pilas PEM usan como electrolito un polímero sólido y electrodos porosos de carbono que contienen un catalizador de platino. Necesitan hidrógeno, oxígeno y agua y no requieren el uso de fluidos corrosivos como otras pilas de combustible.

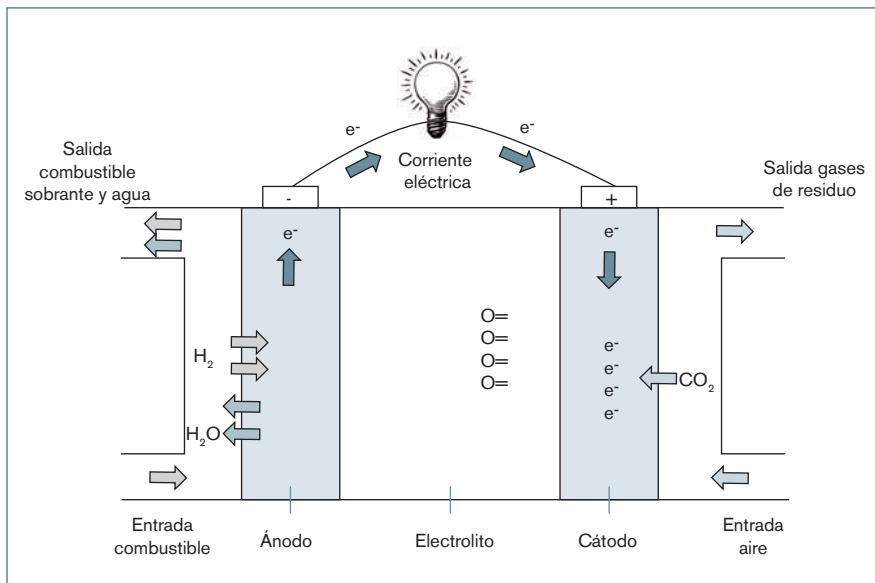
Las pilas de membrana de electrolito polímero operan a bajas temperaturas (80 °C). Esto permite que arranquen rápidamente al necesitar menos tiempo de calentamiento. Esto supone un menor desgaste entre los componentes del sistema. Estas pilas operan con un catalizador de platino que es extremadamente sensible a la contaminación por CO, por lo que es necesario utilizar un reactor adicional para reducir el nivel de CO en el gas combustible.

La mayoría de los vehículos que funcionan con hidrógeno deben almacenarlo en el propio vehículo en forma de gas comprimido dentro de depósitos presurizados. Debido a la baja densidad energética del hidrógeno, es difícil almacenar suficiente hidrógeno a bordo como para conseguir una autonomía satisfactoria.

Metanol directo

Las pilas de metanol directo (DMFC, del inglés *direct methanol fuel cells*) son de baja

Figura 9. Pila de combustible SOFC.



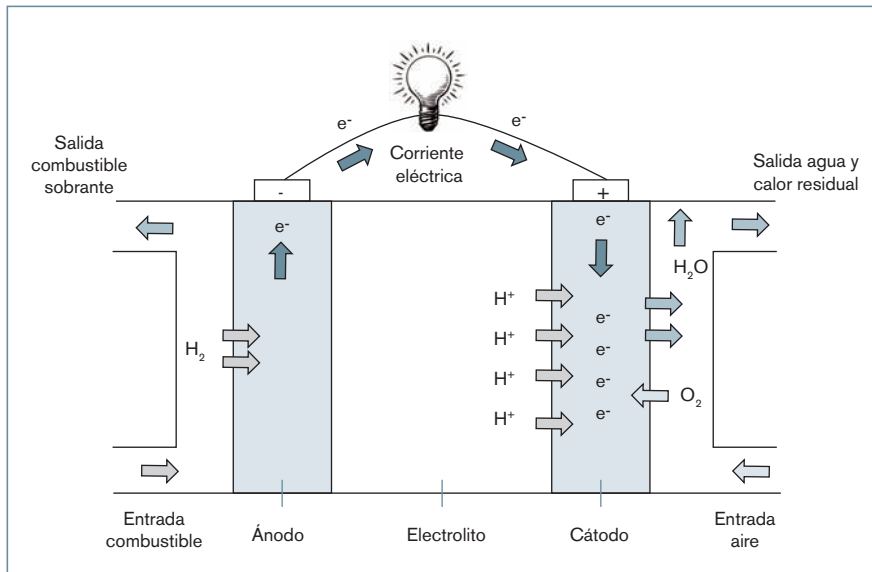


Figura 10. Pila de combustible PEM.

temperatura, hasta 130 °C, emplean metanol líquido o gaseoso según la temperatura y trabajan a presiones relativamente bajas. Inicialmente se utilizó como electrolito ácido sulfúrico, pero en la actualidad se están orientando a electrolitos poliméricos y, por ello, se están consiguiendo temperaturas más bajas de funcionamiento, normalmente el platino como catalizador de alta carga y el platino negro en el ánodo. A diferencia del resto de pilas, las DMFC funcionan con metanol puro mezclado con vapor de agua y se suministra directamente al ánodo de la pila.

Pilas de combustible reversibles (regenerativas)

Las pilas de combustible reversibles (figura 11) producen electricidad a partir del hidrógeno y el oxígeno y generan calor y agua como bioproductos.

No obstante, las pilas de combustible regenerativas pueden usar también electricidad procedente de la energía solar o de otra fuente para dividir el exceso de agua en combustible de oxígeno e hidrógeno (electrolisis). Este es un tipo de pila relativamente nuevo que está siendo desarrollado por la NASA y otros grupos de investigación.

Aspectos medioambientales

El impacto de los sistemas de pilas de combustible en funcionamiento sobre el medio ambiente es muy reducido. Los procesos catalíticos empleados requieren de un combustible limpio para que las reacciones anódicas funcionen correctamente. Además, de manera general funcionan a temperaturas menores que los

equipos termomecánicos, por lo que generan menos sustancias nocivas como pudiera ser el NOx. Aun así, una de las líneas actuales de investigación está encaminada a reducir aún más las emisiones de NOx en los procesos de acondicionamiento de los gases de alimentación, pasando de las 20 ppm a 1-5 ppm.

En lo referente al azufre, los reformadores ya requieren su eliminación pre-

via. Este azufre puede eliminarse por varias técnicas, por ejemplo, hidrodesulfurización.

Aunque las plantas requieren soplanes, bombas y otros equipos auxiliares (la parte más ruidosa de una planta de pilas de combustible son los turbocompresores) en su conjunto el funcionamiento es mucho más silencioso que otras plantas de generación. La parte más ruidosa de una planta de pilas de combustible son los turbocompresores. Esta cualidad de las pilas de combustible las hace idóneas para núcleos urbanos tanto en generación de energía como en transporte (figura 12).

Puesto que las pilas de combustible son generalmente más eficientes que los sistemas que utilizan el ciclo de Carnot, especialmente en unidades pequeñas, producen en general mucho menos calor residual, siendo este aproximadamente la mitad de las plantas actuales, lo que conduce a un menor consumo de agua de refrigeración.

En lo referente a la contaminación visual no habría inconveniente para situar este tipo de plantas en entornos urbanos, por no necesitarse ni altas chimeneas, ni altas torres de refrigeración, pues se pueden instalar en los sótanos de los edificios o bajo las calles.

Figura 11. Esquema general de pila de combustible reversible.

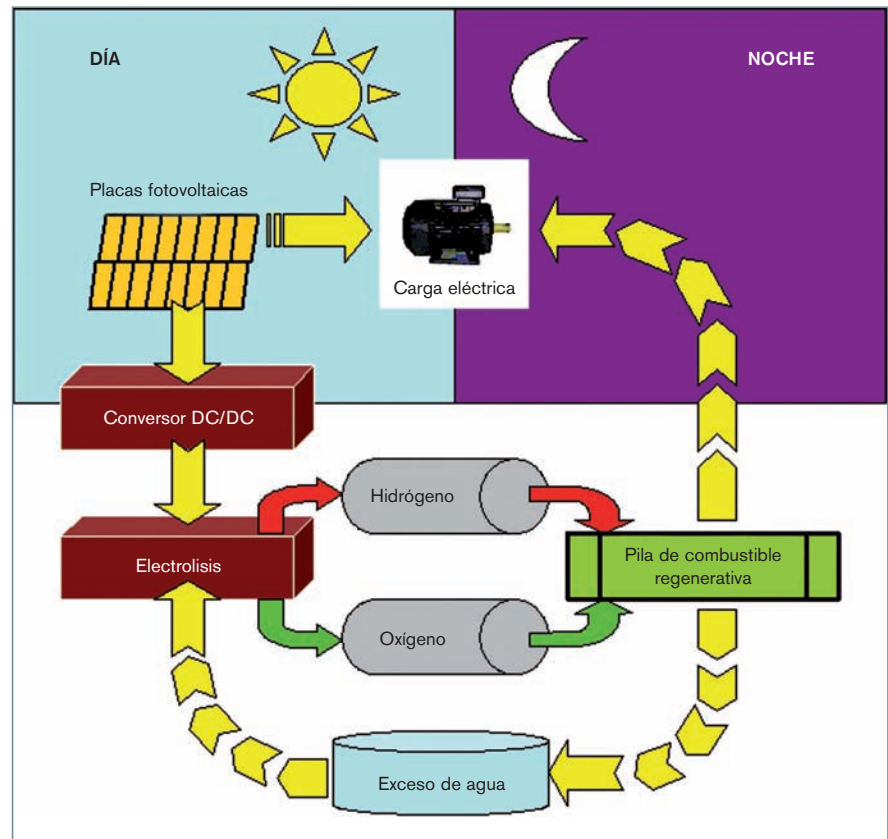




Figura 12. Bus urbano propulsado con pilas de combustible circulando por las calles de Madrid.

La mayoría de los componentes de las pilas de combustible son reciclables, mientras que en otras tecnologías el coste de desmantelamiento y almacenamiento de residuos es muy alto. La recuperación del platino y otros materiales valiosos puede convertirse en un negocio importante y puede cubrir los costes de desmantelamiento.

Ventajas e inconvenientes

Ventajas

Beneficios medioambientales

1. Altas eficiencias en la utilización del combustible. Como las pilas de combustible no son máquinas térmicas, su rendimiento no viene limitado por el ciclo de Carnot y pueden llegar a alcanzar, teóricamente, valores próximos al 100%. Sus límites vienen impuestos por el aprovechamiento de la energía generada y los materiales utilizados en su construcción.

2. No emiten contaminantes. Los productos obtenidos en la reacción electroquímica catalizada de la pila de combustible entre el hidrógeno y el oxígeno son agua, calor y electricidad.

3. Reducción del peligro medioambiental inherente de las industrias extractivas. El hidrógeno puro es producido a través de sistemas de generación evitando la extracción de combustibles fósiles.

4. Funcionamiento silencioso. Al carecer de partes móviles, se ha estimado que el nivel de ruido a 30 m de una pila de combustible de tamaño medio es únicamente de 55 decibelios. Por ello, podrían usarse pilas de combustible en recintos urbanos.

Beneficios en la ingeniería de pilas de combustible

1. Admisión de diversos combustibles. Cualquier combustible si incluye hidrógeno en su composición puede ser reformado. Pueden emplearse para este proceso, por ejemplo, gas natural, carbón gasificado, gasóleo o metanol.

2. Altas densidades energéticas. La cantidad de energía que puede generar una pila de combustible con un volumen determinado es normalmente dada en kWh/litro. Estos números continúan aumentando conforme se realizan nuevas investigaciones y desarrollos asociados de los productos respectivos.

3. Bajas temperaturas y presiones de operación. Las pilas de combustible en función de su tipo, operan desde 80 °C a más de 1.000 °C.

4. Flexibilidad de emplazamiento. Las celdas de combustible, con su inherente operatividad sin ruidos, emisión cero y requerimientos mínimos, pueden ser instaladas en multitud de lugares, de interior o exterior, residenciales, industriales o comerciales.

5. Capacidad de cogeneración. Cuando se captura el calor residual generado por la reacción electroquímica de la pila de combustible, este puede emplearse, por ejemplo, para calentar agua o en aplicaciones espaciales para calentar la nave. Con las capacidades de cogeneración, la eficiencia de una pila de combustible puede alcanzar el 90%.

6. Rápida respuesta a variaciones de carga. Para recibir energía adicional, se debe introducir más combustible en el sistema. A más combustible, más energía.

7. Carácter modular. La construcción modular supone una menor dependencia de la economía de escala. La disponibilidad de las pilas de combustible como módulos independientes supone una ventaja adicional, ya que un cambio de escala en la potencia requerida se consigue fácilmente mediante la interconexión de módulos.

8. Simplicidad del dispositivo. Las pilas de combustible carecen de partes móviles. La falta de movimiento permite un diseño más simple, una mayor fiabilidad y operatividad y un sistema que es menos propenso a estropearse.

Seguridad energética

El hidrógeno usado como combustible en las pilas de combustible puede ser producido de manera doméstica a través del reformado de gas natural, electrolisis del agua o fuentes renovables como son la eólica y la fotovoltaica. La generación de energía a este nivel evita la dependencia de fuentes extranjeras que pueden localizarse en regiones del mundo inestables.

Independencia de la red de suministro energético

Un sistema de celdas de combustible residencial permite una independencia a sus habitantes respecto a la red de suministro eléctrico, la cual puede tener irregularidades. Unas de estas serían los cortes de corriente que pueden causar daños importantes a sistemas informáticos, a equipamientos electrónicos y, en general, a la calidad de vida de las personas.

Inconvenientes

– La obtención del hidrógeno puro supone un precio elevado.

– Alto coste destinado a los sistemas de almacenamiento y suministro.

– Peso excesivo de pilas de combustible para los prototipos actuales.

– Elevado gasto energético para licuar el hidrógeno.

– Tecnología emergente. Determinados problemas aún no resueltos afectan al funcionamiento de las pilas de combustible, lo que repercute en su comercialización.

– Al tratarse de una tecnología en desarrollo y contar todavía con una baja demanda de unidades, su precio no puede, hoy en día, competir con el de las tecnologías convencionales.

– Otro problema radica en que sería necesario construir una red de repostaje y una cadena de producción, cosa que no existe de manera generalizada en la actualidad.

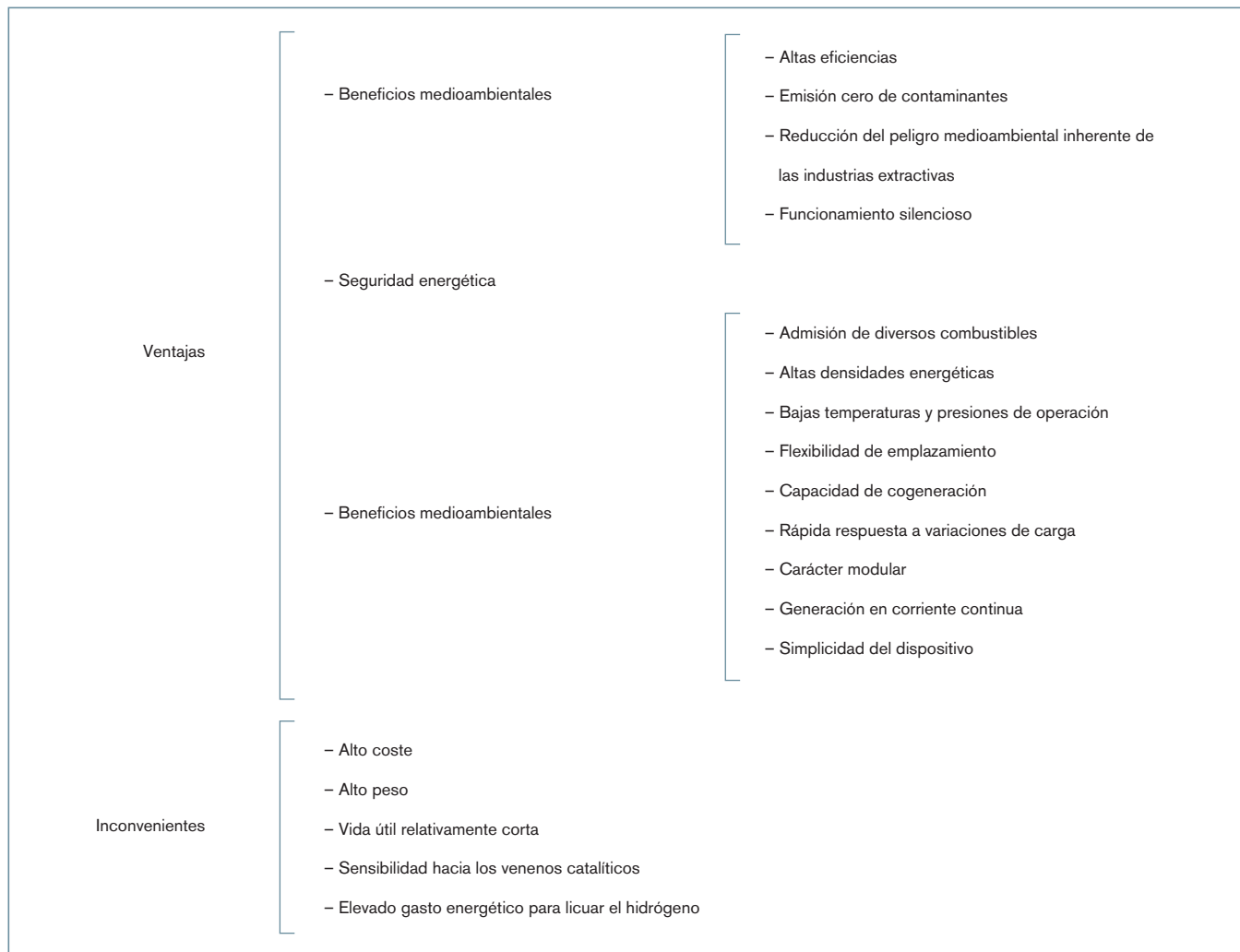


Figura 13. Esquema resumen sobre ventajas e inconvenientes de las pilas de combustible.

En la figura 13 se esquematizan tanto las ventajas como los inconvenientes de estos sistemas de generación de electricidad con pilas de combustible.

Conclusiones

Como se ha podido demostrar en el apartado anterior, son muchas más las ventajas que los inconvenientes ofrecidos por las pilas de combustible pero hay dos factores negativos (el coste energético de obtención del hidrógeno puro y el coste económico de instalación del sistema) que lastran fuertemente al resto e incluso, hoy por hoy, hacen anular casi por completo cualquier proyecto relacionado con este sistema de generación de electricidad.

A largo plazo, cuando se llegue a un desarrollo económico del hidrógeno, las pilas de combustible serán sistemas de generación eléctrica muy competitivos. Con hidrógeno las eficiencias serán más altas que otros sistemas en competencia y sus emisiones serán menores.

Aun así, con los elevados precios que están adquiriendo los combustibles fósiles

(sobre todo el petróleo), empieza a vislumbrarse la iniciativa empresarial por introducir nuevas alternativas a estos sistemas convencionales.

Es aquí donde deberían participar las Administraciones, primero para apoyar la investigación que mejore aún más la eficiencia de este sistema y posteriormente para gestionar la implantación generalizada de las pilas de combustible como excelente alternativa a los sistemas tradicionales de generación de energía.

Bibliografía

- APPICE (2006). Boletín de noticias de la Asociación Española de Pilas de Combustible (APPICE), número 2/06. Octubre 2006.
- Comisión Europea (2003). *La energía del Hidrógeno y las Pilas de Combustible. Una visión para nuestro futuro*. ISBN 92-894-6282-5.
- Iberdrola (1997). Proyecto *Planta de Ensayos de pilas de carbonatos fundidos (100 kW)*, facilitado por la Escuela de Formación Emilio Usaola de Iberdrola en San Agustín del Guadalix (Madrid).
- MCI (2004). Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica. 2004-2007. Vol II. Ministerio de Ciencia e Innovación.
- Página web de la Energy Efficiency and Renewable Energy. US Department of Energy. Disponible

En: http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/fc_types.html (consultado el 10 de diciembre de 2010).

Página web de Fuel Cell Today. Disponible en <http://www.fuelcelltoday.com> (consultado el 15 de diciembre de 2010).

Página web de Fuel Cell Store. Disponible en <http://www.fuelcellstore.com> (consultado el 26 de diciembre de 2010).

Página web del Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón. Disponible en <http://www.unizar.es/icma/divulgacion/celdascomb.html> (consultado el 20 de diciembre de 2010).

Página web de Tecnociencia (especial sobre las Pilas de Combustible de Hidrógeno, febrero de 2005). Disponible en <http://www.tecnociencia.es/especiales/hidrogeno/introduccion.htm> (consultado el 21 de diciembre de 2010).

Unesa (2001). El sector eléctrico español y el medio ambiente.

Santiago Liviano García

s.liviano@iberdrola.es

Ingeniero técnico industrial por la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Extremadura, en Badajoz, e ingeniero industrial por la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Responsable del Departamento de Mantenimiento y Operación Local de Iberdrola Distribución Eléctrica SAU en Cáceres.