

EL HIDRÓGENO Y LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

EL RECORRIDO DE LA ENERGÍA



 **GOBIERNO DE ARAGON**
Departamento de Industria,
Comercio y Turismo





contenido

Qué es y de dónde proviene el hidrógeno

- El combustible hidrógeno
- ¿Cómo obtener hidrógeno?
- Almacenamiento, transporte y distribución

Qué son y cómo funcionan las pilas de combustible

- Principio de funcionamiento
- Tipos de pilas de combustible

Las aplicaciones de las pilas de combustible

Aspectos medioambientales

- Situación preocupante para nuestro planeta
- ¿Qué pueden aportar las pilas de combustible?
- Datos comparativos

Estado actual y perspectivas de las pilas de combustible

- Las pilas de combustible en el mundo
- Proyectos en la Comunidad de Aragón
- Perspectivas de futuro

Los nombres de la historia

Destacados investigadores de nuestro tiempo

Glosario

EDICIÓN PARA LA COMUNIDAD DE ARAGÓN

DIRECCIÓN: D. Francisco Melero Crespo
Dir. Gral. de Energía y Minas

EQUIPO DE TRABAJO: José Ignacio Hernández Martínez
Jefe del Servicio de Energía de la Dir. Gral. de Energía y Minas

Sergio Breto Asensio
Asesor Técnico de la Dir. Gral. de Energía

© Gobierno de Aragón
Departamento de Industria, Comercio y Turismo
Dirección General de Energía y Minas

AUTORES: APPICE
Juan de Blas Pombo
Roberto Lurueña Hernández
Angel Martín Beneit
Antonio Martínez Chaparro
Loreto Daza Bertrand (Instituto de Catálisis y Petroleoquímica)

Esta edición ha contado con el soporte de los programas europeos ALTENER y SAVE, de la Dir. Gral. de Energía de la Comisión Europea y la colaboración del Centre International des Energies Nouvelles CIEN.

© DE LA EDICIÓN: Domènech e-learning multimedia, S.A. 

PRIMERA EDICIÓN: 2006

TIRADA: 1.000

DISEÑO: Vicenç Cegarra

MAQUETACIÓN: Enrique Domínguez

IMPRESIÓN: Talleres Gráficos Soler, S.A.

DEPÓSITO LEGAL:

Las pilas de combustible y las tecnologías del hidrógeno tienen un gran potencial para convertirse en la base del sistema energético del futuro.

En el siglo XX, los combustibles fósiles contribuyeron al desarrollo de la sociedad tal y como hoy la conocemos, y trajeron nuevos desafíos de cuya solución puede depender el futuro de nuestro planeta. Se espera que las pilas de combustible y el hidrógeno introduzcan las soluciones que garanticen un desarrollo sostenible para la civilización del siglo XXI.

Desde el Departamento de Industria, Comercio y Turismo del Gobierno de Aragón, hemos materializado nuestra apuesta por la investigación, el desarrollo y la innovación en las nuevas tecnologías energéticas, impulsando la puesta en marcha de la Fundación para el Desarrollo de las Nuevas Tecnologías del Hidrógeno en Aragón.



Automóvil de Mercedes Benz



Automóvil de GM



Hidrogena de EHEC de Air Liquide



Almacenamiento hidrógeno

◆ QUÉ ES Y DE DÓNDE PROVIENE EL HIDRÓGENO

EL COMBUSTIBLE HIDRÓGENO

El hidrógeno es el elemento químico más simple (formado solamente por un protón y un electrón) y más abundante del universo formando parte de las estrellas y de los planetas gaseosos en su mayor proporción. En las estrellas se encuentra principalmente en estado plasma (estado de agregación de la materia con características propias).

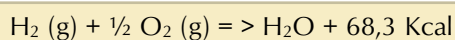
El hidrógeno también aparece unido a otros elementos formando gran variedad de compuestos moleculares, como el agua (H₂O) y la mayoría de las sustancias orgánicas.

La molécula de hidrógeno es, en condiciones normales de presión y temperatura, incoloro, inodoro, no tóxico e inflamable, con un punto de ebullición de -252,77°C y un punto de fusión de -259,13°C. Puede reaccionar con oxígeno (O₂) desprendiendo energía y formando agua. Esta reacción se conoce como combustión y en ella el hidrógeno es el combustible:



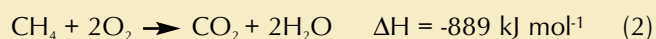
Entalpía de formación:

Es el calor necesario para formar una mol de una sustancia, a presión constante y a partir de los elementos que la constituyen.



Cuando se forma una mol de agua (18 g) a partir de hidrógeno y oxígeno se producen 68.3 Kcal, lo que se denomina entalpía de formación del agua.

Hay otros materiales combustibles, como el carbón, gas natural, gasolina (GLP), que se conocen como combustibles fósiles porque provienen de compuestos formados de seres vivos (fauna y flora), hace millones de años. Todos ellos pueden reaccionar también con oxígeno y producir energía. Por ejemplo, para el gas natural (formado mayoritariamente por metano) sería:



Gas natural \rightarrow formado por metano

Nuestro sistema energético actual se basa en la utilización de estos combustibles. Vivimos por ello en lo que se ha denominado la "sociedad de los combustibles fósiles". Gran parte de las actividades que lleva a cabo el ser humano son posibles gracias a la energía de estos combustibles; por ejemplo para el transporte (coches, aviones, barcos), la calefacción de edificios, el trabajo de las máquinas, en la industria, etc.

Hay dos razones principales por las que es deseable sustituir los combustibles fósiles por el hidrógeno:

1. La combustión del hidrógeno no contamina, sólo produce como subproducto agua (reacción 1), mientras que los combustibles fósiles liberan CO₂ (reacción 2) que queda en la atmósfera y es uno de los mayores responsables de lo que se denomina "efecto invernadero".
2. Las reservas de combustibles fósiles se agotarán tarde o temprano, mientras que el hidrógeno permanecerá inagotable.

Sin embargo, esta sustitución es complicada en el momento actual. En primer lugar, porque, a diferencia de los combustibles fósiles, el hidrógeno no se encuentra en estado puro en nuestro planeta, sino formando compuestos como el agua o la mayoría de los compuestos orgánicos; por lo tanto, es preciso desarrollar sistemas capaces de producirlo de manera eficiente.

Por otro lado, sería necesario habilitar nuevas infraestructuras para el suministro de hidrógeno; en otras palabras, habría que construir una completa red de estaciones de servicio de hidrógeno o "hidrogeneras", lo cual implica una fuerte inversión.

El hidrógeno, por tanto, no puede ser considerado como una fuente primaria de energía -como los combustibles fósiles-, sino un medio para transportar energía, por lo que se le denomina **vector energético***. De esta forma, el hidrógeno se transformará en energía y calor de una forma eficiente y limpia, mediante un proceso químico conseguido en un equipo denominado "pila de combustible".

¿CÓMO OBTENER HIDRÓGENO?

Para obtener hidrógeno en estado puro, es necesario extraerlo de los compuestos en los que se encuentra combinado, principalmente el agua, los combustibles fósiles y la materia orgánica (biomasa).

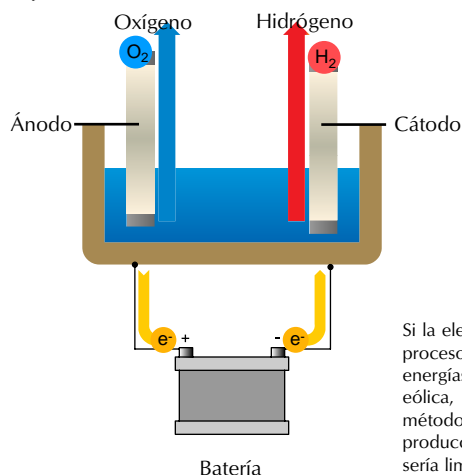
A partir del agua: Electrolisis

Mediante la **electrolisis***, el agua se descompone para formar hidrógeno y oxígeno. Realmente se trata de llevar a cabo el proceso inverso a la reacción (1) de combustión de hidrógeno:



Como puede observarse, en esta reacción se necesita un aporte energético (ΔH positiva), que será suministrado mediante energía eléctrica. El mecanismo de electrolisis es el siguiente: en una célula electroquímica hay dos **electrodos*** (**cátodo*** y **ánodo***) unidos por un medio conductor formado por iones H^+ (protones) disueltos en agua. El paso de corriente eléctrica entre cátodo y ánodo hace que el agua se disocie, formándose hidrógeno en el cátodo y oxígeno en el ánodo. Más adelante veremos otro tipo de células electroquímicas ("pilas de combustible") que actúan justamente a la inversa, consumiendo hidrógeno y oxígeno para producir electricidad y agua.

ESQUEMA DEL PROCESO DE ELECTROLISIS



Si la electricidad necesaria para el proceso se obtuviese a partir de energías renovables (fotovoltaica, eólica, hidráulica...), éste sería el método más conveniente para la producción de hidrógeno, porque sería limpio.

A partir de combustibles fósiles

Como se ha dicho anteriormente, los combustibles fósiles son "portadores de hidrógeno", porque lo contienen en su molécula. Para obtenerlo como gas hidrógeno, bastaría con hacerlos reaccionar con agua utilizando un **catalizador*** para facilitar la reacción. Este proceso químico se denomina "**reformado*** con vapor de agua" y requiere aporte de energía porque es un proceso endotérmico, en el que se obtienen como productos principales hidrógeno y monóxido de carbono (CO).

Ese aporte de energía puede reducirse introduciendo oxígeno (o aire) al reactor al mismo tiempo que se alimenta el agua. De esta forma, el proceso se convierte en un proceso ligeramente exotérmico -desprende calor- que se denomina "reformado autotérmico". Además de hidrógeno y monóxido de carbono, también se puede formar dióxido de carbono (CO_2) por combustión con el oxígeno. El resultado final es una menor producción de hidrógeno, pero resulta de interés en algunos casos por el menor consumo energético.

Tanto en un caso como en otro, para obtener una corriente de hidrógeno puro es preciso llevar a cabo una serie de reacciones posteriores, como la reacción de desplazamiento del gas de agua, en la que el monóxido de carbono reacciona con agua para formar dióxido de carbono e hidrógeno. Para la última etapa de purificación se pueden utilizar tanto procesos químicos (oxidación selectiva), como físicos (separación por adsorción, métodos criogénicos), en función de la aplicación final en la que vaya a utilizarse el hidrógeno y el nivel de pureza que se necesite.

Actualmente, la mayor producción de hidrógeno a escala industrial se lleva a cabo por reformado a partir de gas natural.

A partir de biomasa

La biomasa es materia que proviene de los seres vivos, tanto vegetales (residuos forestales, agrícolas, cultivos energéticos...), como animales (purines, vísceras...) en la que abundan los compuestos hidrogenados. Cuando el tratamiento de la biomasa da lugar a la formación de gas, a este producto se le denomina biogás. Mediante procesos químicos de reformado de ese gas, como los mencionados anteriormente, se puede obtener hidrógeno.



Reformado de gas natural



Electrolizador

Otros tratamientos de la biomasa dan lugar a la obtención de biocarburantes líquidos que pueden utilizarse también posteriormente como combustibles para la producción de H_2 más fácilmente transportables: es el caso del bioetanol o el biodiesel.

En todos los casos, junto con el hidrógeno se obtiene también dióxido de carbono pero, a diferencia de lo que ocurre con los combustibles fósiles, este CO_2 no supone un aumento de emisiones a la atmósfera, ya que forma parte del ecosistema, debido a que ha sido previamente fijado por la planta en el proceso de fotosíntesis.

ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN

Los sistemas de almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno son esenciales para garantizar el suministro a los posibles usuarios finales.

Almacenamiento

Existen diversos sistemas de almacenamiento de hidrógeno. La elección del sistema más adecuado dependerá de la aplicación final en la que vaya a utilizarse. De manera resumida podemos citar los siguientes:

Almacenamiento a presión: Normalmente se almacena a una presión entre 200-350 bar en tanques o cilindros de acero. Como la cantidad de hidrógeno almacenado depende de la presión -cuanto mayor es la presión, más gas hidrógeno se almacena-, hoy en día se está trabajando en el desarrollo de materiales, como la fibra de carbono o aluminio, que tengan la capacidad de soportar una presión de hasta 700 bar. Este aspecto es especialmente importante para la aplicación en transporte.

Almacenamiento líquido: El hidrógeno pasa al estado líquido a una temperatura inferior a $-253^\circ C$. Se utilizan tanques especiales ("**criogénicos**"*), para mantener las bajas temperaturas. Este sistema sólo es utilizado cuando se necesita maximizar la capacidad de almacenamiento en un espacio reducido (por ejemplo, en algunas aplicaciones de transporte).

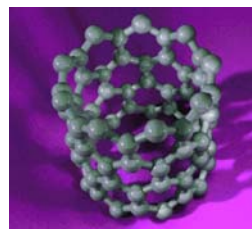


Oxidación parcial de hidrocarburos pesados

DIFERENTES SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO



Tanques a presión

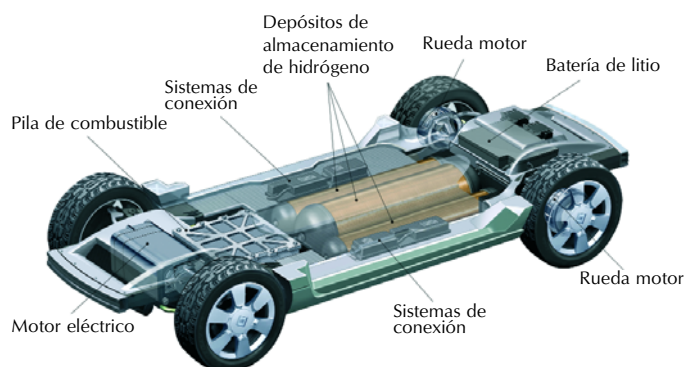


Nanotubos carbono

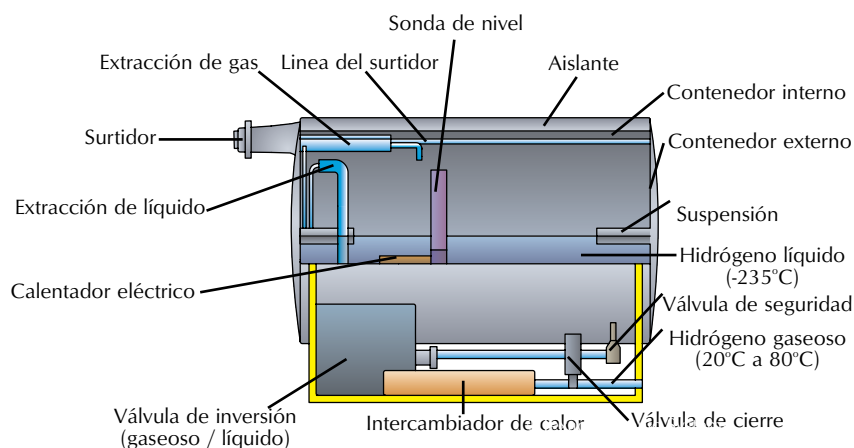


Hidruros metálicos

ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO EN UN AUTOMÓVIL



ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO LÍQUIDO



Fuente: Linde AG

Hidruros metálicos: Diversos metales forman compuestos con el hidrógeno, conocidos como hidruros. La formación de estos compuestos es reversible, de forma que es posible volver fácilmente a tener el hidrógeno y el metal inicial. Este sistema ofrece una alta capacidad de almacenamiento y presenta diversas ventajas de seguridad y manipulación (almacenamiento sólido a presión y temperatura ambiente) frente a otros sistemas. Sus principales desventajas son el elevado peso de los equipos y su alto precio.

Nanotubos de carbono: Son estructuras de grafito, en forma de hexágonos de carbono, que se disponen formando tubos de diámetro muy pequeño (nanotubos), dentro de los cuales puede almacenarse gran cantidad de hidrógeno. Los investigadores están desarrollando diversos procedimientos y, aunque aún hay disparidad en los resultados, todos coinciden en el gran potencial del sistema.

Transporte

En principio, el hidrogeno puede ser transportado en estado gaseoso (a presión) o líquido (criogénico), pudiendo distribuirse a través de tuberías o mediante camiones, barcos o trenes, que incorporan alguno de los métodos de almacenamiento vistos con anterioridad.

DIFERENTES SISTEMAS DE TRANSPORTE

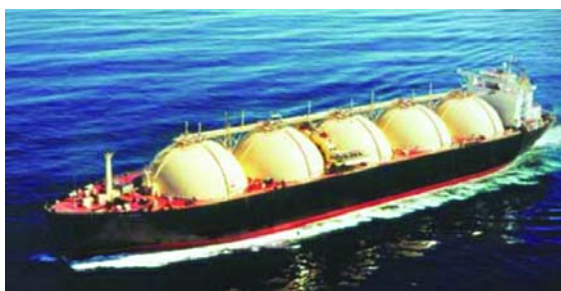
©Air Liquide



Transporte por tuberías



Transporte terrestre



Transporte marítimo

Distribución

La distribución es el proceso de puesta a disposición del usuario final del hidrógeno. Actualmente, se realiza desde tanques a presión en el punto de suministro. En el futuro, cuando se generalice el uso del hidrógeno en la llamada "sociedad del hidrógeno", se diseñarán sistemas de interconexión por tubería que lo hagan llegar a los hogares (similar a las actuales conexiones de gas natural), y también estaciones de servicio de hidrógeno "hidrogeneras", que permitirán una rápida recarga de cualquier vehículo propulsado por hidrógeno. A día de hoy, son muchos los proyectos que han avanzado estas soluciones. A modo de ejemplo, en el año 2005 hay instaladas más de 110 estaciones de servicio de hidrógeno en todo el mundo y más de 100 en proyecto.

DIFERENTES ESTACIONES DE HIDRÓGENO O "HIDROGENERAS"



Hidrogenera en Berlín

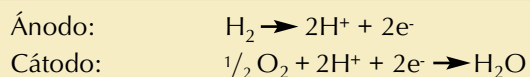


Repostaje de un autobús en una hidrogenera

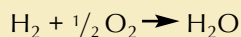
QUÉ SON Y CÓMO FUNCIONAN LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Las pilas de combustible son dispositivos electroquímicos que transforman la energía química directamente en energía eléctrica. Aunque con diferencias según el tipo, la unidad fundamental de una pila de combustible se compone de dos electrodos conductores electrónicos separados por un electrolito conductor iónico. Los reactivos, oxígeno e hidrógeno, reaccionan de forma separada en cada electrodo:

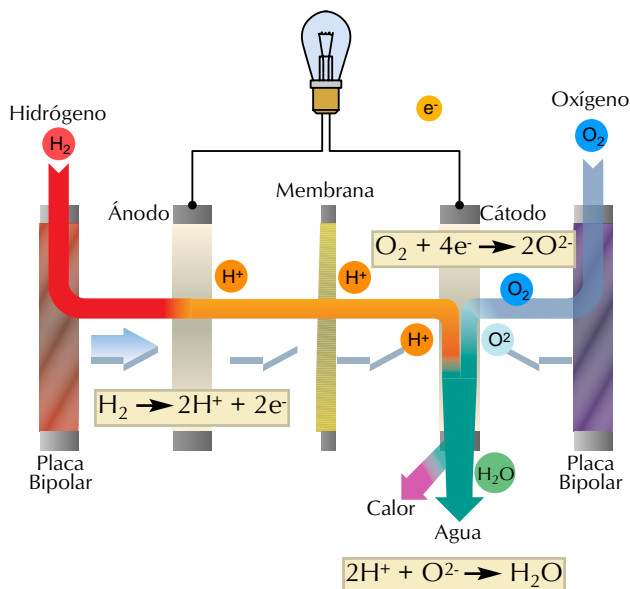


Para que estas reacciones tengan lugar es necesario que haya un material catalizador tanto en el cátodo como en el ánodo. En total resulta la reacción de combustión del hidrógeno que ya hemos visto antes:



A nivel microscópico, lo que ocurre es que cada molécula de hidrógeno en el ánodo se convierte, con ayuda del catalizador en dos iones positivos de hidrógeno o protones (2H^+) y dos electrones (e^-). Ambos, electrones y protones, van al cátodo para reaccionar con moléculas de oxígeno y formar agua, pero siguen caminos distintos. Los protones pasan a través del electrolito mientras que los electrones lo hacen por un circuito eléctrico externo, generando así una corriente eléctrica.

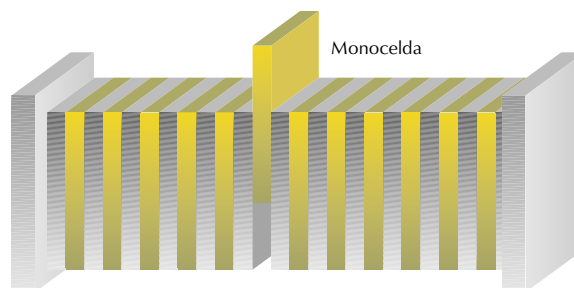
ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA PILA DE COMBUSTIBLE



En definitiva, en una pila de combustible tiene lugar la combustión del hidrógeno, sin que las moléculas de hidrógeno y oxígeno entren en contacto, y la energía de la reacción da lugar a una corriente eléctrica: se ha producido electricidad.

Uniendo varias estructuras idénticas a la descrita (**monocelda***), es posible sumar potencias, dando lugar a lo que se conoce como un **"stack"**. Finalmente, es necesaria una estructura que posibilite la circulación y suministro de los gases, disipe el calor generado e incorpore los terminales para utilizar la electricidad producida.

STACK O "APILAMIENTO" DE CELDAS DE COMBUSTIBLE



La tecnología de las pilas de combustible presenta las siguientes ventajas frente a otros sistemas tradicionales:

- **Alta eficiencia energética:** Las pilas de combustible tienen mayor eficiencia que otras formas de conversión de energía, como los motores de combustión.
- **Bajo nivel de contaminación medioambiental:** Al funcionar con hidrógeno como combustible, el proceso electroquímico no produce emisión de gases contaminantes (óxidos de nitrógeno y azufre, hidrocarburos insaturados, etc.). Tampoco hay **contaminación acústica***, ya que al no haber partes móviles, las pilas de combustible no producen ruido.
- **Carácter modular:** 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.
- **Flexibilidad de operación:** Una pila de combustible puede funcionar con alto rendimiento y sin interrupción en un amplio rango de potencias suministradas. Esto no ocurre así con otros métodos de conversión de energía.

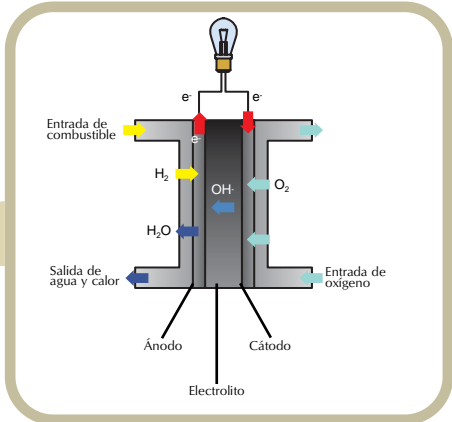
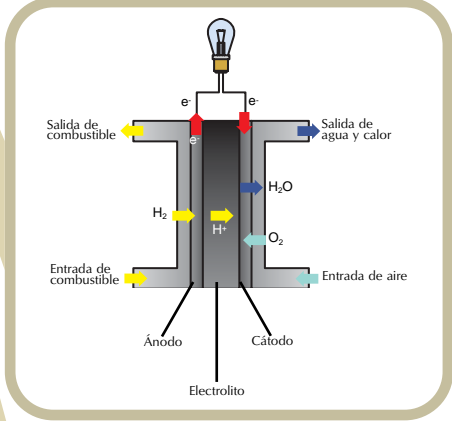
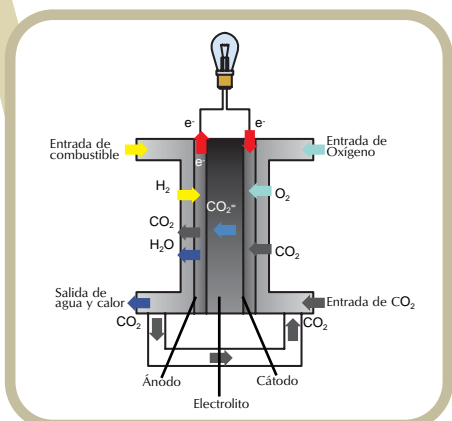

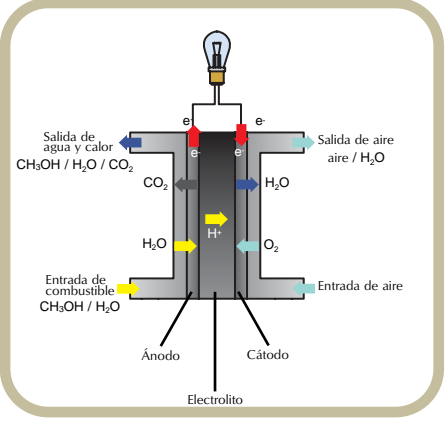
TIPOS DE PILAS DE COMBUSTIBLE

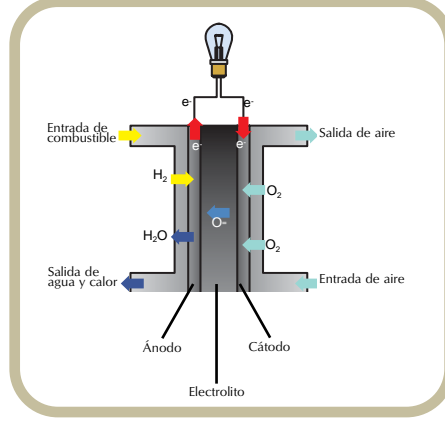
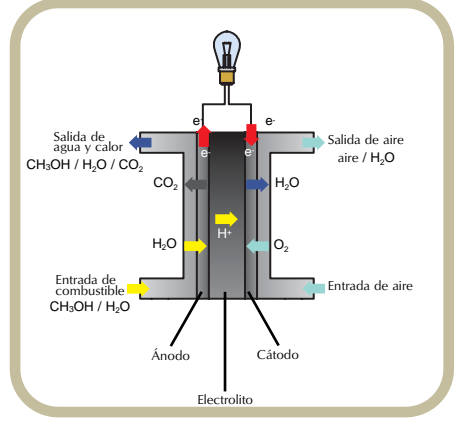
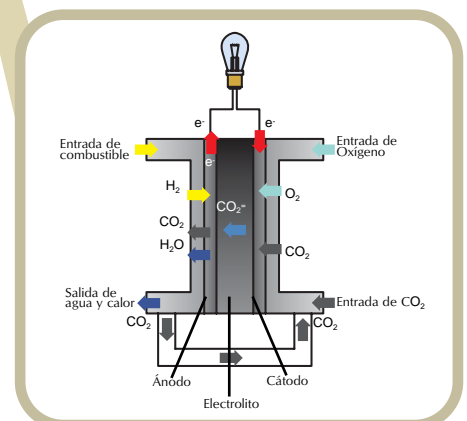
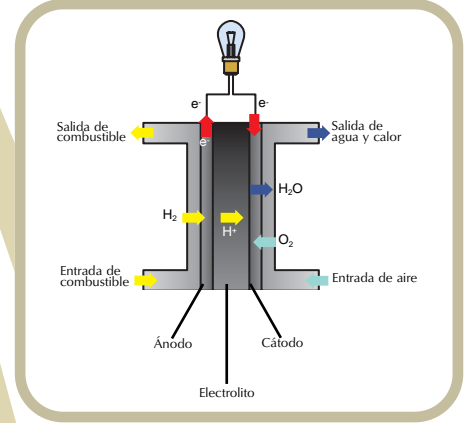
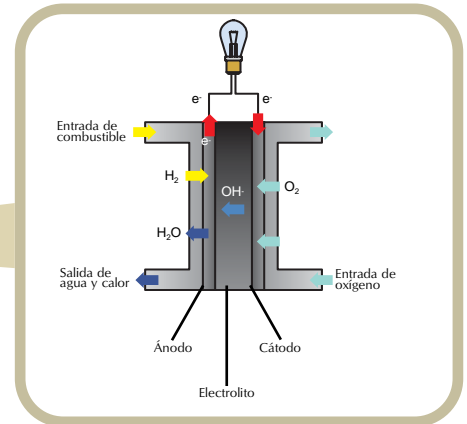
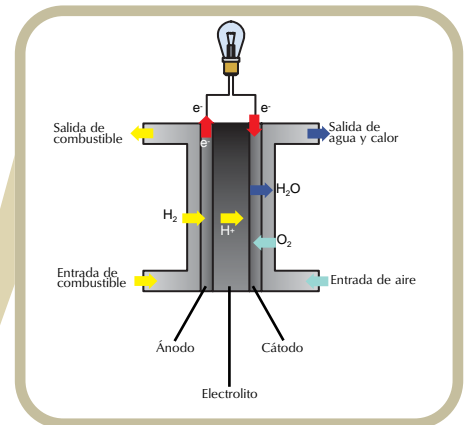
Existen diferentes tipos de pilas de combustible con distintas características de operación (temperatura de trabajo, combustible utilizado...), aunque su clasificación atiende al tipo de electrolito que emplean:

- Pilas de combustible poliméricas (PEMFC)*
- Pilas de combustible alcalinas (AFC)*
- Pilas de combustible de ácido fosfórico (PAFC)*
- Pilas de combustible de carbonatos fundidos (MCFC)*
- Pilas de combustible de óxidos sólidos (SOFC)*
- Pilas de combustible de metanol directo (DMFC)*

En el cuadro adjunto se resumen las principales características de los distintos tipos de pilas de combustible.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

	Electrolito	Tª trabajo	Combustible	Ventajas	Aplicaciones	Esquema
PEMFC	Membrana de polímero sólido	60-80°C	Hidrógeno	Baja Tª Arranque rápido Baja corrosión y mantenimiento	Transporte Portátiles Residencial	
AFC	Solución alcalina	100 -120°C	Hidrógeno	Mayor eficiencia Reacción catódica más rápida	Espaciales	
PAFC	Ácido fosfórico	200-250°C	Hidrógeno Gas natural	Acepta H2 con 1% CO	Generación eléctrica distribuida Automoción	
MCFC	Carbonatos fundidos	600 - 700°C	Gas natural	Reformado interno Cogeneración*	Generación eléctrica	
SOFC	Material cerámico	800 - 1000°C	Gas natural	Reformado interno Cogeneración	Generación eléctrica	
DMFC	Membrana de polímero	50-120°C	Metanol	No necesita reformador de combustible	Portátiles	



◆ LAS APLICACIONES DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

El importante desarrollo experimentado por las pilas de combustible en los últimos años ha permitido que esta tecnología sea utilizada en una gran cantidad de aplicaciones. Las más destacadas son:

Transporte: Las principales marcas de automóviles, Ford, General Motors, Toyota, Daimler-Chrysler entre otras, ensayan ya prototipos previos a la comercialización que funcionan con una pila de combustible tipo PEMFC. También se está estudiando la utilización de pilas de combustible tipo SOFC como unidades auxiliares de potencia. Se espera que estos automóviles puedan adquirirse en el plazo de dos a tres años y vayan sustituyendo progresivamente a los coches con motor de combustión interna. Para el año 2020, se espera que aproximadamente el 10% de los vehículos en el mundo lleven una pila de combustible.

APLICACIONES DE TRANSPORTE



Aplicaciones portátiles: El uso de una pequeña pila de combustible (recargada con cartuchos de combustible; por ejemplo metanol) como fuente de energía para pequeños dispositivos electrónicos, en lugar de las tradicionales baterías, ofrece grandes ventajas en el aumento de la autonomía de los equipos.

APLICACIONES PORTÁTILES



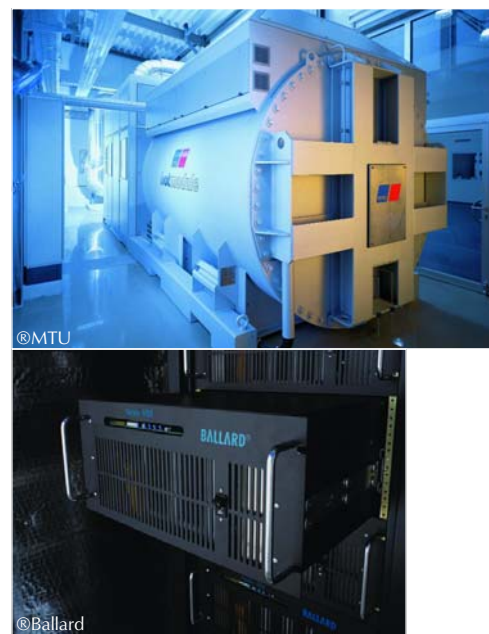
Residencial: El hecho de que las pilas de combustible desprendan calor durante su funcionamiento, además de su reducido tamaño y posibilidad de escalado, las hacen perfectas para ser utilizadas en aplicaciones residenciales, donde cada familia pueda tener calor y electricidad en su casa.

APLICACIONES RESIDENCIALES



Generación eléctrica: La posibilidad de escalado de esta tecnología permitirá la producción de energía eléctrica en grandes potencias. Además, el uso de pilas de combustible de alta temperatura facilitará el aprovechamiento del calor residual para combinarlo con otras tecnologías, aumentando así el rendimiento global.

APLICACIONES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA



ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

Las pilas de combustible y el hidrógeno son una respuesta a los problemas de contaminación que se plantean hoy día.

SITUACIÓN PREOCUPANTE PARA NUESTRO PLANETA

La contaminación que la actividad humana genera se manifiesta de diferentes formas, con aumentos de temperatura (entre 0,3 y 0,6°C los últimos 50 años en Europa) o a través del crecimiento del nivel del mar (entre 10 y 25 cm en los últimos 100 años). Todo ello se debe a la utilización excesiva de los combustibles fósiles como fuente de energía. La combustión de carbón, petróleo o gas natural emite a la atmósfera gases nocivos y generadores del efecto invernadero.



Estos problemas se agravan si además se tiene en cuenta que el consumo energético mundial aumenta drásticamente, impulsado principalmente por economías emergentes como las de China e India; estimándose que, hacia el año 2050, se duplicará la energía consumida en nuestro planeta. Si a esto le sumamos que las reservas existentes de petróleo se están reduciendo y que en muchas ocasiones se encuentran en regiones conflictivas, es fácil vislumbrar una situación complicada a medio-largo plazo para el panorama energético mundial.

¿QUÉ PUEDEN APORTAR LAS PILAS DE COMBUSTIBLE?

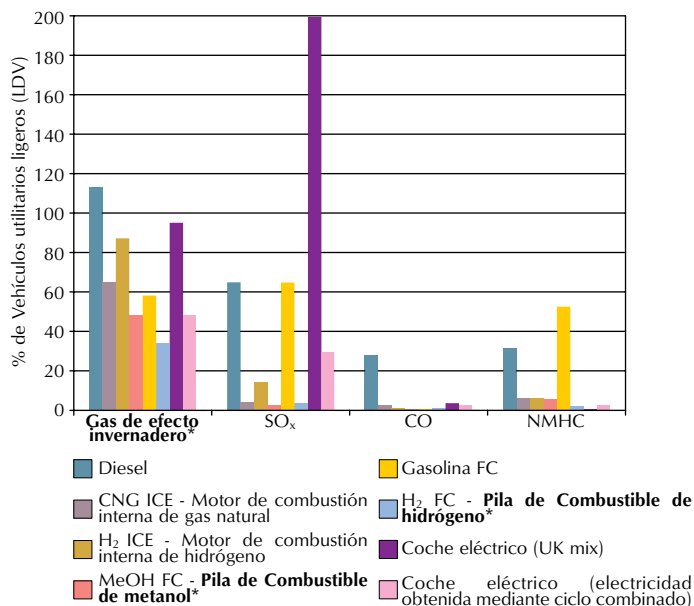
Por los motivos mencionados anteriormente, las pilas de combustible y la utilización del hidrógeno pueden ser una solución al problema medioambiental; principalmente, porque alcanzan eficiencias altas con niveles de contaminación bajos.

Su utilización generalizada depende aún de avances en determinados ámbitos de su tecnología. Es preciso aumentar la durabilidad media de sus componentes, disminuir los costes de fabricación y conseguir una buena infraestructura de fabricación y distribución del hidrógeno. En estos logros reside el que sea factible la transición de una economía basada en los combustibles fósiles hacia una economía basada en el hidrógeno como combustible, la denominada "**Economía del hidrógeno***".

DATOS COMPARATIVOS

El interés de las pilas de combustible se desprende del análisis de algunos datos sobre las emisiones de las distintas formas de energía. La figura presenta las emisiones desde el proceso de extracción de la materia prima hasta su utilización en los dispositivos finales.

EMISIONES CONTAMINANTES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLE



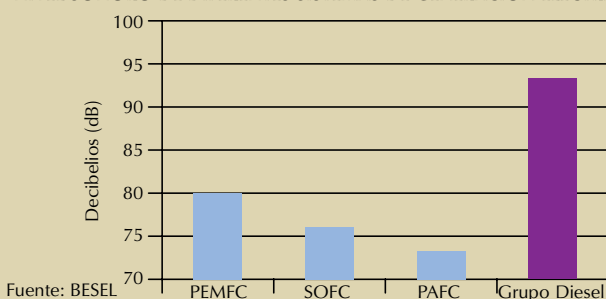
Fuente: "Hydrogen Supply for SPFC Vehicles" (ETSU F/02/00176/REP), redactado por el Imperial collage.

En muchas ocasiones, las tecnologías más respetuosas con el medioambiente son las menos viables económicamente, por lo que es imprescindible encontrar un equilibrio que permita evolucionar desde prototipos de investigación hacia productos de mercado.

Contaminación acústica

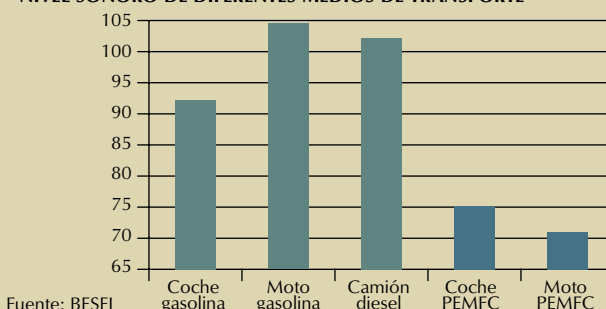
Para analizar el impacto medioambiental de una tecnología, no sólo se deben considerar las emisiones que ésta pueda producir. Por ejemplo, la contaminación acústica es uno de los mayores problemas que afrontan las ciudades hoy en día. En este aspecto, las pilas de combustible tienen también un mejor comportamiento.

NIVEL SONORO DE DIFERENTES SISTEMAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA



Fuente: BESEL

NIVEL SONORO DE DIFERENTES MEDIOS DE TRANSPORTE



Fuente: BESEL



ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

LAS PILAS DE COMBUSTIBLE EN EL MUNDO

El principio de funcionamiento de las pilas de combustible fue descubierto en 1839 por Sir William Grove y posteriormente, en la década de los 60, la NASA aceleró su desarrollo para proporcionar energía eléctrica a las naves espaciales Apollo y Gemini. Sin embargo, el gran desarrollo de esta tecnología a escala mundial se ha producido en los últimos 5 años.

Actualmente, hay más de 6.800 pilas de combustible instaladas en el mundo, lo que supone un incremento del 300% en los últimos dos años. Dentro de las tecnologías utilizadas, el 72% de las pilas de combustible instaladas son de tipo PEM, lo que consolida esta tecnología como la más prometedora para un gran número de aplicaciones.

Para que los vehículos dotados con pila de combustible puedan incorporarse a la vida cotidiana, es imprescindible contar con una red de estaciones de servicio de hidrógeno (hidrogeneras). Las principales ciudades del mundo cuentan ya con algún prototipo de estación (entre ellas Madrid y Barcelona) y su número va incrementándose día a día. Sin embargo, se calcula que para que se pueda garantizar el funcionamiento de los vehículos de hidrógeno previstos por los principales fabricantes en la próxima década, al menos el 5% de las estaciones de servicio convencionales debería contar con algún dispensador de hidrógeno.



Prototipo Opel Zafira Hydrogen3 (GM-Opel)

PROYECTOS EN LA COMUNIDAD DE ARAGÓN



La Fundación para el Desarrollo de las nuevas Tecnologías del Hidrógeno en Aragón, es la principal iniciativa impulsada por el Gobierno de Aragón siguiendo con la tradición científica e industrial de esta Comunidad, al objeto de apoyar el desarrollo de las nuevas tecnologías relacionadas con el hidrógeno y las energías renovables, promocionar la incorporación de Aragón a las actividades económicas relacionadas con la utilización del hidrógeno como vector energético y propiciar la investigación y el desarrollo tecnológico, contribuyendo a la modernización industrial y a la mejora de la competitividad.

La Fundación, en la actualidad, la constituyen treinta y nueve empresas e instituciones de los sectores de automoción, químico, energético, financiero, educación, ingeniería, turismo, investigación y desarrollo, inmobiliario y ha sido promovida por el Gobierno de Aragón.

Los principales objetivos y líneas de actuación de la Fundación son:

- a) Desarrollo de las nuevas tecnologías relacionadas con la generación de Hidrógeno a partir de energías renovables.
- b) Propiciar la investigación, el desarrollo tecnológico, cogeneración adaptación industrial, contribuyendo a la modernización industrial y a la mejora de la competitividad.
- c) Promocionar la incorporación de Aragón en las actividades económicas relacionadas con la utilización del hidrógeno como vector energético.
- d) Organizar y participar en actividades para sensibilizar y fomentar el conocimiento del empresario y público en general sobre estas nuevas tecnologías.
- e) Incorporar a las energías renovables en los nuevos productos y servicios industriales como motor de crecimiento y modernización.
- f) Adaptar a pequeñas y medianas empresas para situarlas a la cabeza de la innovación en las nuevas tecnologías del hidrógeno.

Las actuaciones acordes a los objetivos fundacionales se estructuran en tres ejes:

- Difusión y Sensibilización. Organización y participación en eventos y cursos formativos.
- Presencia e Influencia, asegurando que los grupos de interés en hidrógeno y pilas de la Comunidad Autónoma de Aragón sean referente en los foros nacionales e internacionales.
- Proyectos de Desarrollo Tecnológico y para el Fomento de la Iniciativa Empresarial, cuya misión última es la generación de empleo y riqueza en la región, identificando aquellos proyectos que puedan entrar en fases de comercialización o industrialización, establecimiento de convenios con socios tecnológicos y financieros, la identificación de oportunidades para la creación de empresas, y también las labores de asesoría y consultoría.

Entre sus objetivos durante el periodo de la planificación energética se encuentra la realización de un parque de generación de hidrógeno a partir de fuentes de energía renovable, es el denominado **proyecto ITHÉR**. El objetivo principal es que el parque sea un banco de ensayos a escala real para las diferentes tecnologías: eólica, solar, electrólisis, electrónica de potencia, etc. Los objetivos secundarios son la difusión tecnológica, la generación de hidrógeno verde para flotas y el aprendizaje en la integración de tecnologías.

En concreto se proyecta la construcción de un parque I D eólico, inferior a 5 MW, integrado con un parque solar con una potencia inferior a 100 kW y la generación en el año 2007, en principio, entre 4 y 6 normal metros cúbicos por hora de hidrógeno, ampliable según los requisitos de las flotas.

Por otro lado, se prevé la implementación de una hidrogenera en la Comunidad Autónoma de Aragón en el año 2008.

Existen otros proyectos en marcha apoyados o promovidos por la Fundación, como:

- **Proyecto EDHa**, en el que se establecerán las líneas estratégicas para el tejido industrial aragonés y se llevarán a cabo cinco acciones piloto con PYMEs concretas, subvencionado por el Ministerio de Industria y el Gobierno de Aragón en el Programa de Competencia y Consolidación de la PYME.
- **Proyecto H₂-Training**, para el desarrollo de un programa curricular para técnicos especialistas en hidrógeno y pilas de combustible (financiación a cargo del Programa Leonardo de la Unión Europea). En consorcio con otras nueve entidades europeas de referencia en hidrógeno y en formación.
- **Proyecto HY TETRA**, en consorcio con otros 4 socios europeos. Proyecto de transferencia tecnológica a PYMEs a nivel europeo (financiación a cargo del VI Programa Marco de la Unión Europea).



PERSPECTIVAS DE FUTURO

El uso de los combustibles fósiles revierte en un fuerte impacto medioambiental en nuestro planeta. La contaminación atmosférica, el cambio climático, la lluvia ácida o el propio agotamiento de los recursos petrolíferos son razones de peso para hacer que la política energética camine hacia nuevos campos poco explorados: hacer del hidrógeno el combustible del futuro.

Esta alternativa puede ser viable una vez superados algunos retos tecnológicos que se plantean, para los que se requerirá acelerar en el esfuerzo de investigación y desarrollo llevado a cabo en los últimos años.

Citas

"El hidrógeno y las pilas de combustible son potencialmente capaces de reducir la dependencia de la Unión Europea respecto al petróleo y de contribuir, al mismo tiempo, al desarrollo sostenible. Son fundamentales para conseguir el objetivo de la Unión consistente en sustituir, antes de 2020, el 20% de los combustibles de vehículos por combustibles alternativos tales como el hidrógeno".

D^a. Loyola Palacio: Comisaria de Transporte CE

"Las pilas de combustible son la opción más prometedora de futuro para el sector de la automoción. La carrera ha comenzado".

D. Juergen Hubbert. DaimlerChrysler

"Propongo que demos la oportunidad a la Economía del Hidrógeno y las pilas de combustible de la misma forma que nuestros antecesores apostaron por la industria del automóvil siglos atrás."

D. Abraham Spencer. Secretario de Estado de Energía de E.E.U.U

"Yo creo que el agua algún día será empleada como combustible y que el hidrógeno y el oxígeno que la constituyen, usados de forma individual o conjunta, originarán una fuente inagotable de luz y calor"

Julio Verne



LOS NOMBRES DE LA HISTORIA

Sir William Robert Grove (1811-1896)

Abogado y científico inglés, fue el precursor y padre de las pilas de combustible. Grove sumergió dos electrodos de platino, a los que se les había adherido un depósito sellado de oxígeno e hidrógeno respectivamente, en una disolución de ácido sulfúrico, observando como se producía una corriente eléctrica continua a la vez que disminuían los niveles de oxígeno e hidrógeno. A su descubrimiento le denominó "Pila de Gas".

Friedrich Wilhelm Ostwald (1853-1932)

Químico y físico alemán, definió, a partir de sus estudios y experimentos, la relación existente entre electrodos, electrolito, agentes reductor y oxidante, aniones y cationes dentro del funcionamiento de una pila de combustible.

Emil Baur (1873-1944)

Científico suizo precursor de la Pila de Combustible de Óxidos Sólidos, lideró un grupo de trabajo que desarrolló numerosos proyectos de investigación sobre diferentes tipos de pilas, especialmente las de alta temperatura.

Francis Thomas Bacon (1904-1992)

Científico británico inventor de las Pilas de Combustible Alcalinas, construyó en 1959 una pila de 5.000 W que alimentaba a una máquina de soldadura.

ENLACES DE INTERÉS

Fundación para el desarrollo de las nuevas tecnologías del hidrógeno en Aragón

<http://www.hidrogenoaragon.org>

APPICE Asociación española pilas combustible

<http://www.appice.es>

Hychain - Hydrogen challenge

<http://www.hychain.org>

AeH₂ Asociación española hidrógeno

<http://www.aeh2.org>

Fuel cell today

<http://www.fuelcelltoday.com>

Plataforma europea H₂

<http://www.hfpeurope.org>

Plataforma española H₂

<http://www.ptehpc.org>

Foro del Hidrógeno y las Pilas de Combustible

<http://www.hforo.org>

Pilas de combustible

<http://www.pilasde.com>

The European Thematic Network on Hydrogen

<http://www.hynet.info>

Hy-net: European hydrogen and fuel cell technology platform

<http://forum.europa.eu.int/Public/irc/rtd/eurhydrofuelcellplat/home>

Cordis: Sustainable development, global change and ecosystems

<http://www.cordis.lu/sustdev>

Fuel Cell Today

<http://www.fuelcelltoday.com>

The Online Fuel Cell Information Resource

<http://www.fuelcells.org>

Hydrogen Safety Report

<http://www.hydrogensafety.info>

Asociación Española del Hidrógeno

<http://www.aeh2.org>

Asociación Española de Pilas de Combustible

<http://www.appice.es>

Asociación Europea del Hidrógeno

<http://www.h2euro.org>

The National Hydrogen Institute of Australia

<http://www.hydrogen.asn.au/>

California Fuel Cell Partnership - Driving for the future

<http://www.fuelcellpartnership.org>

Partnership for Advancing The Transition to Hydrogen

<http://www.hpath.org>

National Hydrogen Association

<http://www.hydrogenus.com>

CIEMAT - Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

<http://www.ciemat.es>

IDAE - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

<http://www.idae.es>

CSIC - Consejo Superior de Investigaciones Científicas

<http://www.csic.es>

CENER - Centro Nacional de Energías Renovables

<http://www.cener.com>

Club Español de la Energía

<http://www.enerclub.es>

International Energy Agency

<http://www.iea.org>

Segundo Encuentro Europeo del Hidrógeno

<http://ehc.info/>

Arno A.Evers Fair-PR

<http://www.fair-pr.com/>

Proyecto europeo Hyways

<http://www.hyways.de>

Red Hy-co

<http://www.hy-co-era.net>

GLOSARIO

Ánodo	Electrodo de la pila de combustible en el que tiene lugar la reacción de oxidación. Es el electrodo capaz de emitir electrones al circuito eléctrico.	Pila de combustible (FC)	Dispositivo electroquímico que convierte directamente la energía química de un combustible en energía eléctrica mientras que se suministre combustible (hidrógeno o compuestos ricos en hidrógeno, como alcoholes o hidrocarburos) y oxidante (oxígeno o aire) a sus electrodos.
Catalizador	Sustancia química que acelera la velocidad de una reacción sin consumirse. En una pila de combustible se pone el catalizador en los electrodos (ánodo y cátodo) para acelerar las reacciones de oxidación del hidrógeno (en el ánodo) y de reducción de oxígeno (en el cátodo).	Pila de combustible polimérica (PEMFC)	Tipo de pila de combustible que utiliza una membrana polimérica como electrolito. Funciona a bajas temperaturas, entre 25-90°C.
Cátodo	Electrodo de la pila de combustible en el que tiene lugar la reacción de reducción. Es el electrodo al que llegan electrones del circuito eléctrico.	Pila de combustible de metanol directo (DMFC)	Tipo de pila de combustible que utiliza metanol (CH ₃ OH) como combustible, el cual se oxida directamente en el ánodo sin proceso previo de reformado para convertirlo en hidrógeno.
Cogeneración	Aprovechamiento simultáneo de la energía eléctrica y el calor que se generan en un proceso.	Pila de combustible alcalina (AFC)	Tipo de pila de combustible que utiliza una solución alcalina, generalmente hidróxido potásico (KOH), como electrolito.
Contaminación acústica	Es la emisión de ruidos al entorno.	Pila de combustible de ácido fosfórico (PAFC)	Tipo de pila de combustible cuyo electrolito consiste en ácido fosfórico concentrado (H ₃ PO ₄), a través del cual los protones migran desde el ánodo hacia el cátodo; opera a temperaturas comprendidas entre 160 y 220°C.
Economía del hidrógeno	Visión de futuro en la que el hidrógeno sustituye al petróleo y demás combustibles fósiles a nivel mundial.	Pila de combustible de carbonatos fundidos (MCFC)	Tipo de pila de combustible que utiliza carbonatos alcalinos (Li ₂ CO ₃ , Na ₂ CO ₃ y/o K ₂ CO ₃) fundidos como electrolito. Sus temperaturas de operación están típicamente en torno a los 650°C y pueden reformar internamente el combustible.
Electrodo	Componente de una pila de combustible donde tienen lugar las reacciones electroquímicas. Cada pila de combustible tiene dos tipos de electrodos, ánodo y cátodo.	Pila de combustible de óxido sólido (SOFC)	Tipo de pila de combustible que emplea un óxido sólido como electrolito. Funciona a altas temperaturas (800-1000°C) y pueden reformar internamente el combustible.
Electrolisis	Proceso que utiliza la electricidad para llevar a cabo una reacción química. Especial interés tiene la electrolisis del agua para producir hidrógeno.	Reformado	Proceso para producir una corriente gaseosa rica en hidrógeno a partir de un combustible (gas natural, gasolina, biogás, bioetanol, etc.). Esta corriente es utilizada como combustible en una pila de combustible. Puede tener lugar en la misma celda (reformado interno) o en un sistema externo (reformador).
Gases de efecto invernadero	son parte de la composición normal de la atmósfera que son los responsables de este proceso de absorción. Los llamados gases de efecto invernadero son: el dióxido de carbono (CO ₂) y otros que contribuyen a este efecto natural son: el metano (CH ₄), el óxido nitroso (N ₂ O) y los clorofluorocarburos (CFC).	"Stack"	Apilamiento o conjunto de celdas conectadas en serie.
Monocelda	Unidad estructural de una pila de combustible, formada por un ánodo y un cátodo separados por un electrolito. La pila de combustible se construye mediante apilamiento en serie de varias monoceldas, de forma que el voltaje total es la suma de los voltajes individuales.	Vector energético	Se aplica a un medio material o compuesto químico que es capaz de almacenar y transportar fácilmente la energía. Por ejemplo, el hidrógeno.

DESTACADOS INVESTIGADORES DE NUESTRO TIEMPO

Willard Thomas Grubb

Científico americano que trabajaba para la empresa General Electric, desarrolló la primera Pila de Combustible de Intercambio Protónico (PEM), además de ser el encargado de diseñar para la NASA una pila alcalina para su uso en el espacio.

Leonard Niedrach

Científico de General Electric que mejoró la Pila de Grubb añadiendo deposiciones de platino en los electrodos, dando lugar a la Pila Alcalina Grubb-Niedrach. Esta pila formó parte del proyecto espacial Géminis, convirtiéndose en la primera aplicación comercial de las pilas de combustible.

Harry Karl Ihrig

Científico alemán creador del primer vehículo propulsado por pila de combustible, un tractor de 20 CV de potencia que incorporaba una pila de 15 KW.

Karl Kordesch

Científico austriaco afincado en EEUU, construyó el primer coche que funcionaba con una pila alcalina, que usó durante tres años. La mayor parte de las pilas alcalinas se basan en sus patentes.

Jeremy Rifkin

Presidente y fundador de la "Foundation on Economic Trends", que estudia las tendencias económicas actuales, ha desarrollado el concepto de la Economía del Hidrógeno basado en el paso de la civilización del petróleo a la era del hidrógeno". En este futuro cercano, los automóviles y transportes en general son movidos por hidrógeno y las pilas de combustible proveen de energía limpia y renovable allí donde se necesite: hogar, empresas, industria etc...



 **GOBIERNO DE ARAGON**
Departamento de Industria,
Comercio y Turismo

