

PILAS DE COMBUSTIBLE.

Energía sin humos.

Pedro Gómez Romero

Una versión de este artículo fue publicada en la revista "Mundo Científico" No. 233, ABRIL 2002, p. 66

Las pilas de combustible, alimentadas con hidrógeno o metanol, son una alternativa eficiente a los motores de combustión. El trabajo de I+D avanza a buen ritmo hacia el abaratamiento de pilas que constituirán un engranaje clave dentro de un ciclo energético crecientemente basado en energías renovables

Imaginemos por un momento una gran avenida de una gran ciudad, pongamos una Gran Vía cualquiera, bulliciosa y llena de tráfico humano, como siempre; transitada por multitud de coches, como de costumbre. Pero hagamos un verdadero esfuerzo e intentemos imaginarla sin el estridente humo de los tubos de escape ni el apesoso ruido de motores o motos. ¿Imposible?. Lo cierto es que los humanos somos tan animales de costumbre, tan adaptables a entornos hostiles, que incluso nos cuesta un buen esfuerzo deshacernos de hábitos que sabemos dañinos. Pero el transporte sin ruido y sin contaminación es posible.

Hace justo cien años, a principios del siglo XX se respiraban en el ambiente occidental esencias de progreso científico y tecnológico. Máquinas voladoras y mensajes telegráficos sin hilos competían por algunas de las primeras páginas de los periódicos de la época, augurando un siglo de desarrollo revolucionario en los transportes y las comunicaciones. Otros avances menos conspicuos, como la publicación de Albert Einstein en 1905 sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento (que formulaba la que después sería conocida como teoría restringida de la relatividad) adelantaban igualmente el progreso científico. Sin embargo, mientras esto ocurría, la mayor parte de las casas seguían alumbrando sus noches quemando combustibles; gas del alumbrado en zonas urbanas privilegiadas, candiles o quinqués de aceite o queroseno en el resto. Y no es que no existieran alternativas. El químico e inventor británico Joseph W. Swan en 1878, y el emprendedor norteamericano Thomas A. Edison en 1879 ya habían presentado en sociedad sendos diseños mejorados de bombillas con filamento de carbono incandescente. Pero veinte o treinta años después esos inventos modernos seguían siendo curiosidades al alcance de muy pocos. Tendrían que generalizarse la producción y distribución de electricidad y perfeccionarse aún más los diseños de aquellas primitivas bombillas (finalmente con filamento de tungsteno) para que acabaran alcanzando la categoría de artilugio cotidiano.

Pero cuando finalmente las lámparas eléctricas incandescentes sustituyeron a las lámparas de combustible y desterraron su tufillo y su hoyín, las casas se volvieron más brillantes, más limpias y más seguras. Al principio sólo las familias más acomodadas podían permitirse el lujo, pero a medida que creció la demanda y cayó el precio, más y más gente se pudo permitir su propia luz eléctrica. Y no es que la antigua tecnología se hubiese agotado; seguía habiendo carbón en abundancia para producir gas y alumbrar

las casas, pero la tecnología limpia había ganado la partida.

A principios de este nuevo siglo XXI, la pugna entre quemar y respirar, entre tecnologías de combustión y tecnologías limpias se ha trasladado a la calle. Noventa años de producción en serie de automóviles de combustión con chimenea incorporada nos han dejado enganchados a las mieles del transporte rápido individual, pero empezando a sentir también la resaca de la contaminación de nuestro aire y nuestras aguas.

Y sin embargo existen tecnologías alternativas para acabar de implantar coches eléctricos, respirables y silenciosos, en nuestras calles. Las pilas de combustible o las baterías recargables son algunas de las más prometedoras. Ambas se basan en reactores electroquímicos en los que la energía química se convierte directamente en electricidad. La diferencia estriba en que en las baterías recargables es la energía química de los materiales que forman los electrodos la que se convierte en electricidad y, una vez esa energía se agota, necesitan un proceso de recarga que regenera la energía química a partir de electricidad. En las pilas de combustible sin embargo la energía química proviene de un combustible que se alimenta desde el exterior del reactor.

Después de una etapa inicial de evaluación de ambas tecnologías para aplicación en tracción eléctrica de vehículos, las pilas de combustible parecen estar ganando la partida, aunque conviene recordar que en el campo de la innovación tecnológica no sobra nadie y que diversos dispositivos y tecnologías cubren necesidades complementarias. En el caso de un coche eléctrico por ejemplo, aunque la pila de combustible acabe siendo el dispositivo principal de generación de energía entrarán en el diseño otros elementos como baterías o supercondensadores para almacenamiento de carga. Estos dispositivos Las pilas de combustible son ciertamente mucho más que curiosidades de laboratorio y aunque todavía necesitan de diversas mejoras de materiales y diseños, constituyen una alternativa seria a los ineficientes motores de combustión, una alternativa por la que se interesan tanto la industria del automóvil como las compañías eléctricas y del sector energético.

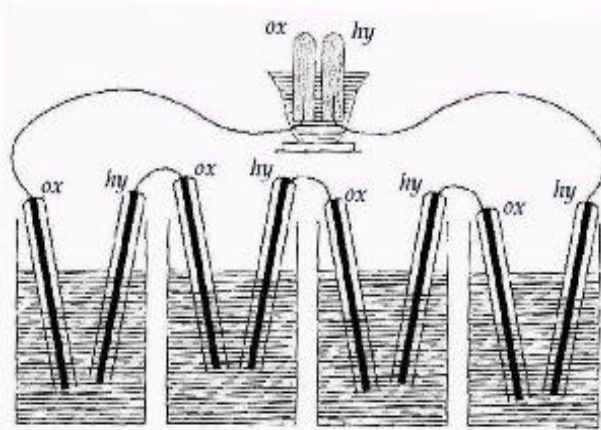
Como en tantas otras ocasiones a lo largo de nuestra evolución tecnológica, los principios científicos básicos que sustentan nuestra actual tecnología de pilas de combustible se descubrieron mucho antes de que sus aplicaciones fueran siquiera imaginables. En 1839, el inglés William Grove, jurista de profesión y físico de vocación había hecho público un experimento que demostraba la posibilidad de generar corriente eléctrica a partir de la reacción electroquímica entre hidrógeno y oxígeno. Su original experimento consistía en unir en serie cuatro celdas electroquímicas, cada una de las cuales estaba compuesta por un electrodo con hidrógeno y otro con oxígeno, separados por un electrolito. Grove comprobó que la reacción de oxidación del hidrógeno en el electrodo negativo combinada con la de reducción del oxígeno en el positivo generaba una corriente eléctrica que se podía usar a su vez para generar hidrógeno y oxígeno.

Sir William Robert Grove (1811 – 1896), abogado londinense con aficiones ingenieriles desarrolló los primeros prototipos de laboratorio de lo que él llamaba "batería de gas" y hoy conocemos como "pila de combustible" (en 1839 realizó sus primeros experimentos y en 1845 la demostración definitiva de su sistema). Sin

embargo, los principios básicos de funcionamiento de la pila de combustible los descubrió algo antes (en 1838) el profesor suizo Christian Friedrich Schönbein (1799 –1868).



Sir William Robert Grove (1811 – 1896), jurista de profesión y físico de vocación



Grove usó cuatro celdas grandes, con H₂ y O₂ para producir energía eléctrica que a su vez se podía usar para generar hidrógeno y oxígeno (en la celda superior, más pequeña).

Nos podríamos imaginar fácilmente los sarcásticos comentarios de los pragmáticos escépticos de la época. ¡Valiente negocio!, emplear cuatro volúmenes de gases para generar electricidad que genera un solo volumen. ¡Menuda pérdida de tiempo!. Sin embargo el experimento de Grove mostraba la esencia y el camino. La esencia, la interconvertibilidad entre la energía química de un combustible y la energía eléctrica; el camino, la posibilidad de convertir esa energía directamente en electricidad sin pasar por un proceso intermedio de combustión.

Y es que la manera tradicional de aprovechar la energía potencial de los combustibles quemándolos para que la energía térmica producida se convierta a su vez en energía mecánica es muy poco eficiente. Ése es precisamente el proceso que siguen nuestros motores de combustión interna y también nuestras grandes centrales térmicas. El paso intermedio a través de la energía térmica limita drásticamente la eficiencia, y la limita de forma inherente, debido a las leyes de la termodinámica, sin que ningún proceso de optimización lo pueda corregir.

En una pila de combustible, por contra, la energía química del "combustible" se convierte directamente en energía eléctrica a través de una reacción electroquímica, sin mediar proceso alguno de "combustión", y la eficiencia llega a alcanzar valores de hasta un 70%. El dispositivo es conceptualmente muy simple; una celda de combustible individual está formada por dos electrodos separados por un electrolito que permite el paso de iones pero no de electrones. En el electrodo negativo tiene lugar la oxidación del combustible (normalmente H₂ aunque puede ser también metanol u otros) y en el positivo la reducción del oxígeno del aire. Las reacciones que tienen lugar son las que se indican a continuación.

Los iones (H⁺ en este caso) migran a través del electrolito mientras que los electrones

(e⁻) circulan a través del circuito externo (el motor eléctrico de nuestro coche). Una de estas celdas individuales genera un voltaje cercano a un voltio; para las aplicaciones que requieren mayor voltaje y alta potencia se apilan en serie el número necesario de estas celdas que forman la pila de combustible propiamente dicha.

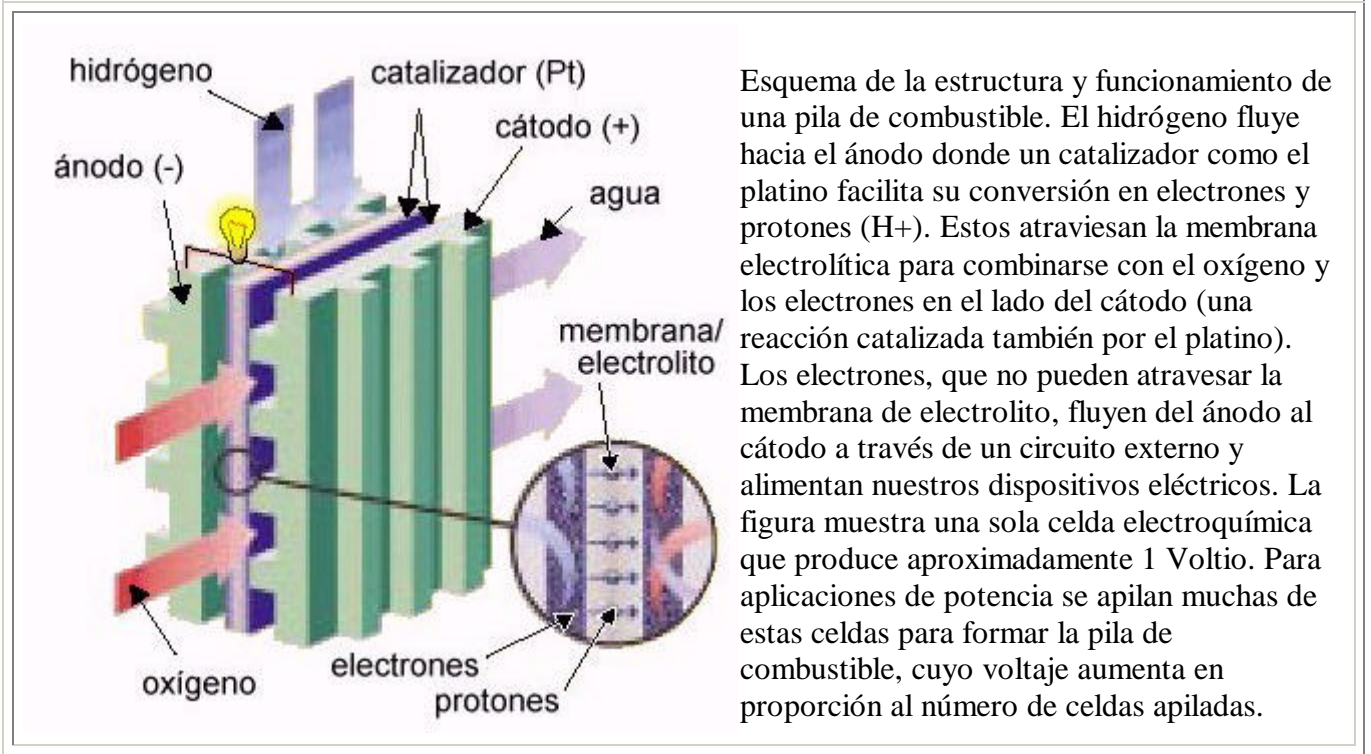


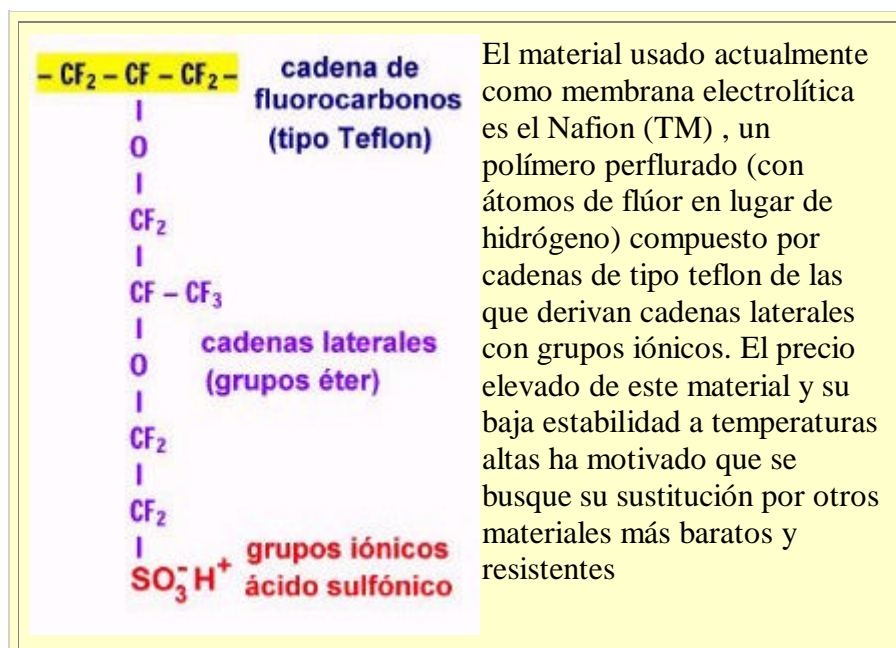
Tabla 1 Principales tipos de pilas de combustible

Tipo y Siglas en inglés	electrolito	temperatura	combustible	aplicaciones	ventajas	desventajas
poliméricas (PEM ^a)	Nafion	60-100 °C	H ₂	transporte equipos portátiles electricidad	baja temperatura, arranque rápido electrolito sólido (reduce corrosión, fugas, etc.)	la baja temp. requiere catalizadores caros (Pt) y H ₂ puro.
alcalinas (AFC)	KOH (aq.)	90-100 °C	H ₂	militares espaciales	mejores prestaciones de corriente debido a su rápida reacción catódica.	Requiere eliminar el CO ₂ de aire y combustible.
de ácido fosfórico (PAFC)	H ₃ PO ₄	175-200 °C	H ₂	electricidad	eficiencia de hasta un 85% (con cogeneración de calor y electricidad). Posibilidad de usar H ₂ impuro como	catalizador de Pt. corriente y potencia bajas. peso y tamaño elevados.

					comb.	
de carbonatos fundidos (MCFC)	carbonatos Li, Na, K	600-1000 °C	H ₂	electricidad	ventajas derivadas de las altas temperaturas. ^b	las altas temperaturas aumentan la corrosión y ruptura de componentes
de óxido sólido (SOFC)	(Zr,Y)O ₂	800-1000 °C	H ₂	electricidad	ventajas derivadas de las altas temperaturas. ^b El electrolito sólido reduce corrosión, fugas, etc.	las altas temperaturas facilitan la ruptura de componentes (sellos...)
conversión directa de metanol (DMFC)	Nafion	60-100 °C	CH ₃ OH	transporte equipos portátiles electricidad	combustible líquido, más cercano a la tecnología actual, más las ventajas de las PEM.	

a) PEM (Proton Exchange Membrane, o Polymer Electrolyte Membrane) b) mayor eficiencia, posibilidad de usar catalizadores más baratos que el platino y flexibilidad para usar otro tipo de combustibles (incluso hidrocarburos)

Existen diversos tipos de pilas de combustible, clasificadas de acuerdo con el electrolito empleado y su temperatura de trabajo, y que se reúnen de forma resumida en la Tabla 1. Las más adecuadas para aplicación en tracción eléctrica de vehículos son las pilas de electrolito polimérico, también conocidas como de membrana intercambiadora de protones (PEM según sus siglas en inglés). Como su nombre indica, el electrolito de estas pilas poliméricas, está constituido por una membrana de un polímero especial, conductor de protones (H⁺). Actualmente el polímero más utilizado para el desarrollo de este tipo de pilas es el Nafion, un polímero perfluorado con grupos sulfonato polares cuya estructura se esquematiza en la siguiente figura



y que en presencia de agua se convierte en un excelente conductor protónico. Sin embargo este material es caro y sus propiedades conductoras poco resistentes a las altas temperaturas por lo que una de las principales líneas de investigación para la mejora de este tipo de pilas es el desarrollo de nuevos materiales poliméricos más baratos y térmicamente estables. A su vez, la posibilidad de trabajar a temperaturas más elevadas permitiría sustituir el platino, material extremadamente caro usado como catalizador de las reacciones de electrodo, indicadas más arriba, por otros catalizadores más baratos, contribuyendo decisivamente al abaratamiento y a la generalización de esta tecnología. Otros avances en los que se trabaja actualmente incluyen el desarrollo de catalizadores más eficientes para la reducción del oxígeno (un complejo proceso que involucra el intercambio de cuatro electrones en varias etapas), así como el diseño de métodos seguros y eficaces de almacenamiento del combustible hidrógeno e incluso el desarrollo de pilas que pudieran usar otros combustibles en su lugar (metanol o hidrocarburos son algunos de los que se han propuesto).

Claramente, las pilas de combustible requieren esfuerzos multidisciplinarios. En este sentido cabe destacar la reciente formación en nuestro país de una red de pilas de combustible (de momento en el ámbito del CSIC) integrada por diversos equipos de investigación activos en el tema, que reúne a especialistas de muy diversas disciplinas y cuyos objetivos incluyen fomentar la colaboración y favorecer la integración de objetivos.

Finalmente, Y a propósito del combustible, no debemos olvidar que ni el hidrógeno ni los otros combustibles mencionados crecen en los árboles (aunque, bien pensado, se podrían generar a partir de biomasa). El hidrógeno no es un combustible que exista como tal en la naturaleza. No obstante, se puede obtener fácilmente a partir del agua, eso sí, con un aporte de energía externa (energía eléctrica o solar). El hidrógeno es por tanto un combustible de los que llamamos "secundarios", un vector energético, y como tal, será tan verde o ecológico como la energía que se haya empleado en generarlo. En otras palabras, el hidrógeno generado con electricidad de una central térmica podría servir para reducir la contaminación local en áreas urbanas pero no para reducir la contaminación global. Tampoco se podría considerar como parte de un proceso energético eficaz. Las pilas de combustible serán por tanto piezas clave pero integradas en un nuevo esquema energético que debe incluir además generación a partir de energías renovables en una sociedad que debe ir controlando, por su propio bien, su adicción al petróleo y otros combustibles fósiles.

Esto no son utopías trasnochadas, sino hechos y nuevas realidades. Realidades que empiezan timidamente a hacerse sitio en nuestras ciudades, aunque sea a nivel experimental. Así por ejemplo, está previsto que durante el presente año 2003 empiecen a circular en las calles de Madrid y Barcelona tres o cuatro autobuses equipados con pilas de combustible poliméricas, que consumirán hidrógeno. El desarrollo de este proyecto, del que se beneficiarán también los pulmones y los oídos de los ciudadanos de Amsterdam, Hamburgo, Londres, Luxemburgo, Oporto, Estocolmo y Stuttgart, ha sido financiado por proyectos de I+D de la Unión Europea.



Las pilas de combustible alimentadas por hidrógeno son silenciosas y, además de electricidad y calor, sólo producen agua como residuo. El cambio paulatino de coches con motores de combustión interna por coches de motor eléctrico alimentados por pilas de combustible hará por tanto de nuestras ciudades lugares más saludables y silenciosos. Aunque estos vehículos eléctricos todavía no son rentables, en todos los países industrializados se están llevando a cabo esfuerzos de financiación de proyectos de demostración como por ejemplo en autobuses no contaminantes.



By Sviernn Eirikkssen / courtesy USGS

La energía que produzcan las pilas de combustible será tan limpia como la energía que se emplee para generar el hidrógeno que consumen. En Islandia se esta gestando un nuevo modelo con energías renovables como base (esp. geotérmica) y pilas de combustible como piezas clave para el uso del hidrógeno como vector energético. Este modelo contribuiría no sólo a una menor contaminación local sino también a una menor contaminación global. La tradicional actividad volcánica y geotérmica de Islandia podría pasar de esta forma de ser un factor de riesgo a ser además un factor de progreso.

Pero además las pilas de combustible y los nuevos modelos energéticos que representan también están empezando ya a tomar forma palpable y magnitud global en algunos rincones de nuestro planeta como Islandia, que a través de una iniciativa pionera y esperanzadora, pretende convertirse en el primer país con un nuevo modelo energético renovable basado en el hidrógeno gracias a su abundante energía geotérmica e hidroeléctrica. Para dar una idea de cómo de en serio va la cosa, podemos recordar la alianza estratégica que se ha formado entre el gobierno islandés y las compañías Daimler-Chrysler, Shell Oil, una compañía hidroeléctrica noruega, la Norsk Hydro, y la compañía canadiense líder en el diseño de pilas de combustible Ballard Power Systems. Todas están ahora en el mismo barco, un barco que podría mostrar el camino hacia la reducción drástica y necesaria de gases de efecto invernadero e inaugurar una nueva revolución limpia en nuestras calles. Seguro que nos acostumbraríamos pronto.

Dr. Pedro Gómez Romero, Investigador y divulgador científico del CSIC, autor del libro "Metaevolución. La Tierra en el Espejo" (Ed. Celeste, Nov. 2001) (<http://www.cienciateca.com/ctsmetaevol.html>).

Editor de la página web

<http://www.cienciateca.com>