

# EL HIDRÓGENO Y EL FUTURO DE LOS COMBUSTIBLES

Mucho se habla sobre el advenimiento de las energías limpias. ¿Estamos realmente cerca de conseguirlo? ¿Cuáles son las alternativas actuales y los desafíos pendientes?

**Alberto Baruj y Gabriel Meyer**

## ▣ ¿Por qué hidrógeno?

En algún momento todos hemos escuchado que los combustibles fósiles están a punto de agotarse y que el hidrógeno es la fuente de energía del futuro. Este es un comentario que viene acompañado de otro que dice que, además, los combustibles fósiles contaminan mientras que el hidrógeno produce energía limpia. Pues bien, la verdad es que estas cosas no son tan así. El hidrógeno no es una fuente de energía, sino un posible vector energético. Es decir, puede ser una forma de transportar energía, pero no se lo encuentra libre, ni se lo utiliza para producir energía generando una ganancia neta de ella en el balance. Y el grado de limpieza o de contaminación asociado al uso de hidrógeno depende de muchos factores intermedios, desde los que están presentes en su producción hasta los involucrados en su utilización. Entonces, ¿por qué se habla tanto del hidrógeno? ¿Qué lo hace tan necesario? ¿Por qué tanto acuerdo en señalarlo como la posible solución?

## ▣ Los combustibles fósiles

Para dar una respuesta a la pregunta anterior, tenemos que ir un pasito para atrás y preguntarnos qué es lo que nos ha llevado a usar combustibles fósiles

hasta el grado de depender fundamentalmente de ellos. La clave de los combustibles fósiles es que sí son una fuente de energía, dado que durante su combustión en un motor, por ejemplo, entregan mucha más energía de la que fue necesaria para extraerlos y refinarlos. Además, poseen una alta densidad de energía por unidad de volumen y por unidad de masa, es decir, son portátiles. Por eso usamos derivados del petróleo o del gas natural para producir energía tanto en plantas estacionarias, por ejemplo en centrales térmicas o de ciclo combinado, como en vehículos. Ahora bien, ¿de dónde vino toda esa energía que estamos usando? Si pensamos en los miles de millones de organismos cuya descomposición dio origen a los depósitos subterráneos de estos combustibles, la respuesta es que vino del Sol. La energía solar fue capturada durante varios cientos de millones de años en vegetales y, a través de ellos, en otros organismos vivos. Los organismos acumulan esta energía formando compuestos de carbono e hidrógeno. Cuando esos organismos murieron y se descompusieron, parte de la energía quedó acumulada en los compuestos que llamamos hidrocarburos. Esos hidrocarburos son los que hoy estamos quemando cada vez que encendemos el motor del auto o la hornalla de la cocina. Por eso decimos que estas fuentes de energía son *no renovables*. Estamos consumiendo en un tiempo del orden de los cientos de años lo que a la naturaleza le ha llevado millones de años producir. En este sentido, parte de lo que se escucha por ahí es cierto: los combustibles fósiles, tarde o temprano, serán relativamente escasos. Esto no quiere decir, sin embargo, que vayan a acabarse de un día para otro. Lo más probable es que se vayan tornando cada vez más caros hasta llegar a un punto en que no será económicamente viable utilizarlos como lo hacemos hoy en día.

**Palabras clave:** hidrógeno, almacenamiento, producción, celdas de combustible.

### **Alberto Baruj**

Doctor en Física (Instituto Balseiro)  
Investigador de CONICET en el Grupo Físicoquímica de Materiales del Centro Atómico Bariloche (CNEA)  
Jefe de Trabajos Prácticos en el Instituto Balseiro  
e-mail: baruj@cab.cnea.gov.ar

### **Gabriel Meyer**

Doctor en Física (Instituto Balseiro)  
Investigador de CNEA y CONICET, Jefe del Grupo Físicoquímica de Materiales del Centro Atómico Bariloche (CNEA)  
Profesor en el Instituto Balseiro  
e-mail: gmeyer@cab.cnea.gov.ar

Recibido: 28/1/2011 Aceptado: 26/5/2011

## ▣ Fuentes de energía renovables

A este problema en ciernes, se agrega que la forma en que usamos los combustibles fósiles prioriza su efectividad económica directa, soslayando el impacto sobre el medio ambiente. Cada vez tenemos más conciencia sobre los daños que causa este comportamiento y los riesgos que conlleva. Y es así

que hemos empezado a pensar en fuentes alternativas de energía que sean más limpias y renovables. Quienes estudian el tema del reemplazo de los combustibles fósiles por otras fuentes de energía van llegando a la conclusión de que no habrá una única fuente de energía futura, sino que será necesario apelar a todas las posibilidades que se presenten. Las más promisorias a corto y mediano plazo son la energía eólica, la hidroeléctrica, la energía nuclear y la de origen solar. Estas fuentes alternativas tienen en común que, para ser eficientes, necesitan instalarse en forma estacionaria. A modo de ejemplo, podemos pensar en el tamaño de una central nuclear, o en el de los molinos eólicos modernos como los que hay en la Patagonia cerca de las ciudades de Comodoro Rivadavia y Pico Truncado. Esas instalaciones pueden producir grandes cantidades de energía. El problema es cómo almacenar esa energía, o cómo llevarla al tanque de combustible de un automóvil.

En este punto es donde entra el hidrógeno. El hidrógeno es liviano y posee una densidad de energía en relación a su masa relativamente alta. Para la misma cantidad de masa, el hidrógeno puede entregar el doble de energía en comparación al gas natural y tres veces más que la nafta. Su combustión sólo produce agua y calor. Sin embargo, a diferencia de lo que pasa con los hidrocarburos, no hay en la Tierra depósitos de hidrógeno gaseoso. Es necesario producirlo, y en su producción se gasta más energía que la que ese mismo hidrógeno entregará al ser consumido. Por eso no es una fuente de energía, pero sí un medio eficiente para transportarla y utilizarla.

Para ver las posibilidades del hidrógeno como futuro combustible tenemos que pensar en cómo producirlo en forma limpia, cómo almacenarlo y transportarlo de manera segura, y cómo utilizarlo eficientemente.

### Produciendo hidrógeno: el viejo truco de la energía limpia

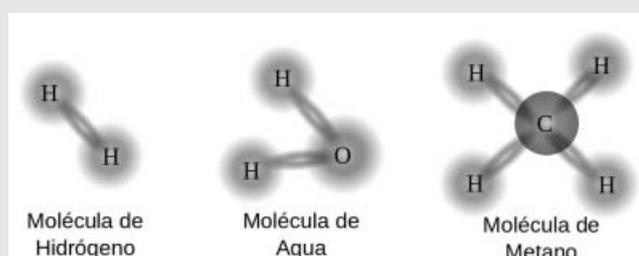
Una vez que nos resignamos a aceptar que no encontraremos hidrógeno gaseoso, empezamos a pensar de dónde podríamos obtenerlo. Por suerte, el hidrógeno es muy abundante. De hecho, no hay país del globo que no tenga este elemento químico. Como se muestra en la Figura 1 del apartado *Fuentes de hidrógeno*, está en el agua (dos átomos de hidrógeno en cada molécula), en el gas metano (cuatro átomos de hidrógeno por cada molécula), en los hidrocarburos y, en general, en la materia orgánica. Existen métodos para extraerlo a partir de cada una de estas posibilidades. El más utilizado en la actualidad se basa en el reformado de gas natural. En la Figura 2 del apartado *Producción de hidrógeno* se esquematiza su proceso de producción. Dicho proceso se realiza a alta temperatura, primero mezclando gas metano con vapor de agua. De allí resulta hidrógeno y monóxido de carbono. El monóxido reacciona con vapor de agua adicional para formar más hidrógeno y dióxido de carbono. Pero, ¡eipa! ¿Qué hace ahí ese dióxido de carbono? ¿No estábamos hablando de energía limpia? Bueno, quienes defienden este método dicen que el dióxido de carbono que produce puede ser capturado sin emitirlo a la atmósfera. Pero, en ese sentido, también podría capturarse el dióxido de carbono que emiten las centrales térmicas actuales y no se hace porque no es económicamente viable.

### Hidrógeno a partir de agua

El método que viene entonces a la mente es el que todos vimos en la escuela, la electrólisis del agua. Haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua, se consigue disociarla en moléculas de hidrógeno y oxígeno. Para lograrlo se podría usar la electricidad

## Fuentes de hidrógeno

El hidrógeno a temperatura ambiente y presión atmosférica normal es un gas compuesto por moléculas. Cada molécula posee dos átomos de hidrógeno. No hay hidrógeno en estado libre en la Tierra. Si no es confinado de alguna manera, el hidrógeno gaseoso escapa de la atmósfera hacia el espacio. Sin embargo, podemos obtener hidrógeno a partir de distintas sustancias que lo contienen. La más abundante es el agua, en cuyas moléculas también hay dos átomos de hidrógeno, pero en este caso unidos a un átomo de oxígeno. Otros compuestos, como el gas metano o los hidrocarburos, poseen más átomos de hidrógeno en sus moléculas, generalmente unidos a átomos de



**Figura 1: Algunas moléculas que contienen hidrógeno pueden ser encontradas en la naturaleza.**

carbono. Si queremos usar hidrógeno como vector energético, es necesario primero extraerlo de las moléculas que lo contienen, y eso cuesta energía.

generada por una fuente renovable, como una central hidroeléctrica o un generador eólico, por ejemplo. El agua es también un recurso renovable, y el hidrógeno que se obtiene es de muy alta pureza. El problema del método es que por el equipamiento necesario y por problemas propios del proceso, resulta ser una de las formas más caras (e ineficientes) de producción de hidrógeno. Para que sea viable, es necesario conseguir mejoras sustanciales en esta tecnología. Una de las posibilidades que se analiza es usar en el proceso de electrólisis el calor generado por una central nuclear para elevar la temperatura del agua, reduciendo así la electricidad necesaria para separar los elementos.

Algunos métodos de desarrollo más reciente buscan separar agua en hidrógeno y oxígeno utilizando reacciones termoquímicas. Para ello se utilizan productos químicos que aceleran la disociación de las moléculas de agua a muy alta temperatura. Las altas temperaturas necesarias se pueden conseguir con dispositivos de concentración de radiación solar o con reactores nucleares. Una ventaja de esta idea es que los productos químicos necesarios son completamente recuperables y reutilizables.

### La biomasa

Otros métodos se orientan a conseguir hidrógeno a partir de carbón o de biomasa. El proceso consiste en gasificar estas materias primas a alta temperatura y alta presión en presencia de vapor de agua. Una serie de reacciones químicas dan lugar a un gas, llamado gas de síntesis, cuya reacción con vapor de agua resulta en hidrógeno y... sí, dióxido de carbono. La ventaja de este método es que si se usa biomasa, puede establecerse un equilibrio entre el dióxido de carbono que se genera y el que la nueva biomasa

captura durante su crecimiento. Es decir, si bien se libera dióxido de carbono, ese gas es luego recapturado por la nueva vegetación, con lo cual el balance neto de emisiones sería nulo. Otra ventaja es que, pasando por el hidrógeno, se produce energía en forma mucho más eficiente que por la simple combustión del carbón o la biomasa.

Algunos desarrollos muy recientes involucran el uso de microorganismos (algas microscópicas y cianobacterias) que consumen agua en presencia de luz solar y producen hidrógeno como parte de su ciclo metabólico. Si bien este hidrógeno puede captarse, es necesario someterlo a un complejo proceso de purificación para poder utilizarlo.

En definitiva, existen alternativas viables para producir hidrógeno. Los mayores desafíos que enfrentamos son el tratamiento de emisiones en los procesos más usuales, el aumento en la eficiencia en los métodos más novedosos, y la reducción de costos en todos ellos.

### ¿Aquí está su hidrógeno. ¿Cómo lo lleva?

Tal como sucede con cualquier combustible, el transporte y el almacenamiento de hidrógeno presentan problemas muy específicos. En ambos casos, es necesario tomar en cuenta las características propias del hidrógeno para realizar las tareas en forma conveniente y segura. El hidrógeno es el gas más liviano y el de menor tamaño molecular. Es realmente un gas muy escurridizo, al punto tal que es capaz de permear con relativa facilidad a través de materiales sólidos. Con el agravante adicional de que muchos materiales comunes se vuelven frágiles una vez que el hidrógeno los penetra. Por ejemplo, estamos acostumbrados a pensar en el transporte de gas natural a través de largos

### Producción de hidrógeno

Aquí se muestra, en forma muy esquemática, el proceso actual de producción de hidrógeno a partir de metano y vapor de agua. En un primer paso, por cada molécula de agua y metano, se obtienen tres moléculas de hidrógeno y una de monóxido de carbono. En un segundo paso, el monóxido se combina con vapor de agua para obtener otra molécula de hidrógeno y dióxido de carbono. Para lograr la reacción en cada paso es necesario entregar energía. El resultado del proceso es hidrógeno y dióxido de carbono. Si bien con el hidrógeno puede producirse "energía limpia", es necesario retener el dióxido de carbono pues es el principal factor causante del efecto invernadero. Algunas posibilidades menos contaminantes parten directamente del agua para separar hidrógeno, pero resultan menos eficientes.

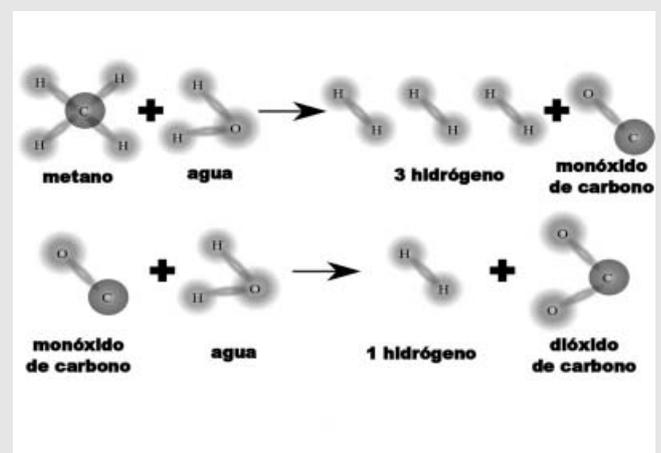
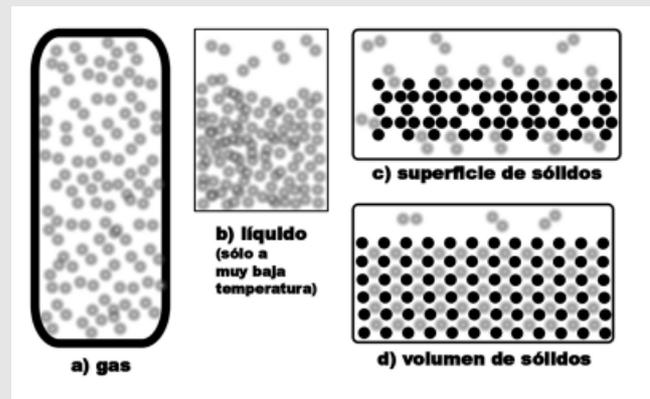


Figura 2: Esquema del proceso de producción de hidrógeno a partir de gas metano y vapor de agua.

## Almacenamiento

El hidrógeno puede ser almacenado en varias formas: a) como gas a alta presión, b) como líquido a muy baja temperatura, c) en la superficie de estructuras sólidas, d) formando parte de sólidos o compuestos. Este último método es el que permite alcanzar mayor densidad de hidrógeno. Para ser efectivo, el material que contiene el hidrógeno (o *formador de hidruros*) debe ser liviano y de bajo costo. Los materiales basados en magnesio, entre otros, poseen las características buscadas.

**Figura 3: Distintas alternativas para almacenar hidrógeno.**



gasoductos que van desde los centros de captación hasta los de refinamiento y compresión, y en redes de distribución que llegan a los hogares e industrias. Uno podría pensar en aprovechar esas redes para transportar y distribuir hidrógeno. Sin embargo, eso no es posible. El acero con el que están construidos la mayoría de los gasoductos en nuestro país y en el mundo es susceptible a la fragilización por hidrógeno. Por ese motivo, se analiza actualmente si los caños se tornarían inútiles al poco tiempo de ser usados, ya que reemplazar esos gasoductos por otros de acero resistente al hidrógeno demandaría una inversión enorme. Actualmente, la mayor parte del hidrógeno se transporta como gas en tubos, o en forma líquida a una temperatura muy baja (¡253°C bajo cero!). Ambos métodos son relativamente caros, en el primer caso porque el peso de los tubos en sí es muy grande respecto a la masa de hidrógeno que contienen, y en el segundo porque es necesario gastar una cantidad considerable de energía para licuar el hidrógeno e invertir en un aislamiento especial para mantenerlo líquido en el trayecto. Es necesario pensar el problema de forma diferente. El gas natural debe ser transportado porque no podemos elegir el lugar de donde extraerlo. Los yacimientos están en determinados lugares y no queda más remedio que llevarlo a los centros de consumo. El hidrógeno, en cambio, debe ser producido. Probablemente la alternativa más conveniente entonces sea la de producirlo cerca del sitio donde será utilizado o fraccionado. La idea se conoce como *producción distribuida*, e implica el desarrollo de plantas de producción con una escala que sea adaptable a las necesidades del punto de consumo, minimizando la inversión en la instalación de gasoductos y en su mantenimiento.

### ❑ ¿Cómo se almacena? ¡Es un gas!

El almacenamiento de hidrógeno resulta crucial al pensar en su uso como combustible en vehículos. En

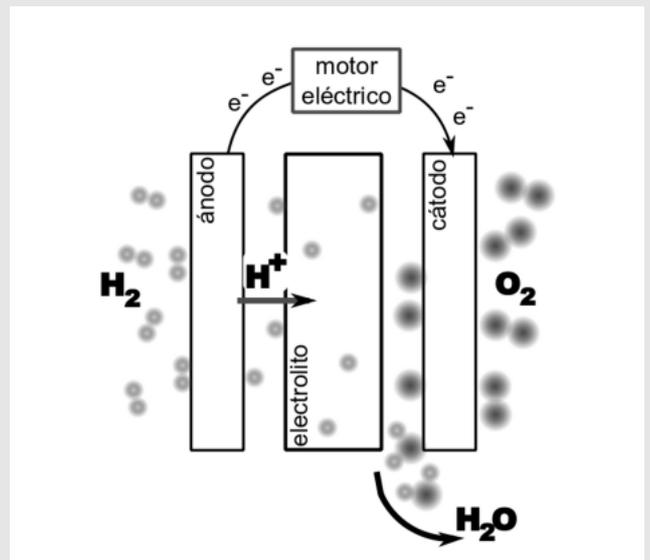
el apartado *Almacenamiento* ofrecemos un resumen de varias alternativas que detallaremos a continuación. Si bien el hidrógeno posee una densidad de energía muy alta en relación a su masa (mencionamos que es tres veces la de la nafta), su densidad de energía en función del volumen es relativamente baja. Claro que al ser un gas, es posible comprimirlo para mejorar esta propiedad. El inconveniente es que al aumentar el grado de compresión es necesario utilizar recipientes resistentes a altas presiones, es decir, más pesados. Los recipientes más modernos permiten almacenar unos 7 kg de hidrógeno a una presión de 70 MPa (setecientas veces la presión atmosférica normal), lo cual permite que un vehículo recorra unos 600 km. Si bien el dispositivo pesa en total unos 100 kg, lo cual es aceptable, su volumen es de 220 litros, unas 4 veces más voluminoso que un tanque de combustible de un auto moderno. Además, estos recipientes son de forma cilíndrica, lo cual no permite moldearlos para adaptarlos al espacio disponible en la estructura del vehículo. En otras palabras, sería necesario ocupar todo el baúl del auto con el tanque de hidrógeno.

### ❑ ¿Y si lo licuamos?

Una alternativa al almacenamiento en forma gaseosa es el almacenamiento líquido. El hidrógeno líquido posee una capacidad volumétrica alta en comparación al gas comprimido. Por ejemplo, 1 litro de hidrógeno líquido contiene 70 g de hidrógeno, frente a los 30 g de hidrógeno que hay en 1 litro de gas a 70 MPa. Un tanque de 100 litros de hidrógeno líquido contendría los 7 kg de hidrógeno necesarios para recorrer 600 km. El problema aquí, tal como lo vimos al hablar del transporte de hidrógeno, es la necesidad de gastar energía para enfriar hasta -253°C y la necesidad adicional de mantener esa temperatura en el tanque de combustible, aún con el motor del auto detenido. Si bien el uso de hidrógeno líquido puede sonar poco factible, el fabricante alemán BMW ha

**Celda de combustible**

Una celda de combustible funciona a la inversa que un electrolizador. En contacto con un electrodo se pone hidrógeno gaseoso, y en el otro oxígeno. Cada electrodo separa los átomos individuales de las moléculas. En las celdas de combustible de baja temperatura, los protones individuales (es decir, los núcleos de hidrógeno) viajan por un electrolito sólido hacia el cátodo. Allí, en contacto con los átomos de oxígeno, forman moléculas de agua. El circuito se cierra con una corriente de electrones, que es la que permite extraer energía útil del proceso.



**Figura 4: Esquema de una celda de combustible.**

optado por este camino en el desarrollo de vehículos de hidrógeno.

**¿Podría haber hidrógeno sólido?**

Otra posibilidad es almacenar el hidrógeno en materiales. Los materiales candidatos son aquellos capaces de tener una reacción reversible con el hidrógeno formando otro compuesto químico (hidruro). Se buscan aquellos que lo puedan absorber a presiones moderadas y temperaturas próximas a la ambiente, incorporarlo a la estructura del material y mantenerlo allí en dichas condiciones. Para recuperar el hidrógeno es posible desorberlo (es decir, liberarlo del material) bajando la presión o aumentando la temperatura. Existen varias familias de materiales capaces de cumplir este rol. Un parámetro que caracteriza la posibilidad de uso de estos materiales es su capacidad de almacenamiento. Es decir, cuál es la proporción máxima de hidrógeno que pueden albergar por unidad de masa. Por ejemplo, si un material almacena 1% en peso de hidrógeno, serán necesarios 700 kg de ese material para almacenar 7 kg de hidrógeno. Otros parámetros importantes son las presiones de formación y de disociación del hidruro, la temperatura de trabajo y la vida útil medida en ciclos de carga y descarga. El objetivo es conseguir materiales con una capacidad de 10% en peso, capaces de trabajar a presiones moderadas a temperaturas cercanas a la ambiente, que soporten 1000 ciclos de carga/descarga sin degradación. Al presente se han obtenido materiales basados en compuestos químicos llamados alanatos (formados por un metal alcalino, aluminio e hidrógeno) que son capaces de almacenar 4% en peso o más de hidrógeno en forma reversible. Otros compuestos, basados en amidas de litio (formados por litio,

nitrógeno e hidrógeno), pueden llegar a almacenar 10% en peso pero a presiones y temperaturas elevadas. Si bien el panorama de almacenamiento de hidrógeno en materiales es muy prometedor, está en una etapa de investigación de laboratorio donde se busca no sólo el material con la capacidad adecuada, sino también dar respuesta a problemas de velocidad de carga y descarga, disipación de calor, y estabilidad ante ciclado.

**Hidrógeno oxidado**

Al producir la combustión de hidrógeno lo que hacemos es oxidarlo. Es decir, le agregamos oxígeno que tomamos del aire. En el proceso se forma óxido de hidrógeno, también conocido como agua, y se libera calor. En un motor de combustión interna, parte de ese calor se usa para expandir los gases que mueven los pistones. La idea de usar hidrógeno de esa forma, lejos de ser original, fue presentada en 1807. Sin embargo, ésta no es la manera más eficiente de utilizar el hidrógeno como combustible.

Pensemos una vez más en la electrólisis del agua. Aplicando una corriente, obtenemos hidrógeno y oxígeno a partir de ella. Si pudiéramos invertir el proceso, es decir, volver a mezclar dos átomos de hidrógeno por cada uno de oxígeno, podríamos recuperar la corriente que aplicamos para separarlos. El dispositivo que hace ese trabajo existe y se conoce como *celda de combustible*.

**La celda de combustible**

Una celda de combustible funciona como un electrolizador puesto al revés. Es decir, se alimenta con oxígeno e hidrógeno y uno a cambio obtiene agua, calor y lo más interesante, corriente eléctrica. En el apartado *Celda de combustible* se detalla el

funcionamiento de una celda. ¿Qué diferencia un electrolizador de una celda de combustible? En un electrolizador estándar tenemos dos electrodos puestos en recipientes separados y un electrolito líquido, usualmente agua con un agregado químico para aumentar su conductividad eléctrica. Al aplicar tensión eléctrica entre los electrodos, se genera una corriente a través del electrolito que separa los iones individuales que forman las moléculas de agua. En una celda de combustible los electrodos y el electrolito son sólidos. Para empezar, esto tiene sus bemoles. Por ejemplo, los electrodos son sólidos porosos bastante complejos, que usualmente tienen sobre la superficie una dispersión fina de partículas de platino que ayudan a producir la disociación de las moléculas de gas (recordemos que tanto el hidrógeno como el oxígeno gaseosos vienen en moléculas con dos átomos cada una,  $H_2$  y  $O_2$ ). Por su parte, el electrolito de una celda de baja temperatura, como la que se usaría en un vehículo, no es un líquido sino una membrana muy particular. Se trata de un polímero conductor, pero sólo para los protones. Es decir, los electrones lo ven como un

aislante, mientras que los iones de  $H^+$  viajan a través del material hacia el electrodo donde se disocia el oxígeno. No hay muchos materiales con estas propiedades. Un ejemplo es un material llamado Nafion, registrado por la empresa Dupont.

### ☐ **Ventajas y desventajas de las celdas de combustible**

Las ventajas de utilizar celdas de combustible son varias. En primer lugar, convierten el hidrógeno en energía utilizable en forma mucho más eficiente que la combustión. Mientras que quemando hidrógeno puede esperarse una eficiencia de alrededor del 20%, con una celda de combustible pueden alcanzarse eficiencias del 40% al 60%. Además son silenciosas. Un auto que utiliza celdas de combustible es, en esencia, un auto eléctrico dado que el movimiento mecánico producido por la expansión de gases de un motor de explosión se reemplaza por la producción de corriente que mueve un motor eléctrico. Además, el proceso es muy limpio dado que el producto de escape es agua.



## *Ciencia y Tecnología desde la Patagonia para el país*



INIBIOMA



### **Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente**

Convenios de Asistencia Técnica-Convenios de Desarrollo-Estudios de Impacto Ambiental  
Parques y Polos Tecnológicos-Servicios Tecnológicos de Alto Nivel-Investigadores y Becarios en Empresas

Quintral 1250 - 8400 San Carlos de Bariloche - Tel. 02944 433040  
[www.comahue-conicet.gob.ar](http://www.comahue-conicet.gob.ar)



Sin embargo, existen varios problemas por resolver que han dificultado la difusión de esta tecnología. Uno de los principales es que el costo de fabricación resulta muy elevado. Para dar una idea, la mayor parte de los fabricantes de autos que desarrollan celdas de combustible especulan que una celda de 50kW para impulsar un automóvil costaría hoy entre 15.000 y 20.000 dólares, agregando que el costo se reduciría con su fabricación masiva hasta alcanzar los 3.000 a 5.000 dólares. Lo cierto es que actualmente estamos muy lejos de estos valores, y una celda de combustible de 50 kW puede valer hasta 100.000 dólares. Otro problema es que las celdas de combustible actuales son muy frágiles. Los materiales que se usan para los electrodos no son muy resistentes a golpes y vibraciones, por lo cual es necesario mejorar este aspecto para que puedan ser utilizados en las condiciones normales de circulación de vehículos.

### ▣ Aportes desde la Patagonia

En nuestro país, el Centro Atómico Bariloche (CAB) es pionero en el desarrollo del hidrógeno como combustible. Allí comenzaron a mediados de los '80 los primeros estudios de materiales para almacenamiento de hidrógeno, e incluso se desarrolló un prototipo de motor de combustión interna que utilizaba hidrógeno como combustible. Con el correr del tiempo fueron estableciéndose distintas líneas de estudio que hoy ocupan a más de 40 personas, entre investigadores y estudiantes de posgrado, de 3 grupos de investigación.

A nivel nacional, la principal iniciativa de investigación en el tema es el Proyecto de Área Estratégica PAE 36985 sobre "Producción, purificación y aplicaciones del hidrógeno como combustible y vector de energía" de la Agencia Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Este proyecto comenzó en 2008 y coordina las actividades de más de 70 investigadores y 80 estudiantes que trabajan en institutos del CONICET, en centros de CNEA y en las Universidades Nacionales de Buenos Aires, de La Plata, del Litoral, del Sur y de San Luis. Dentro del proyecto se estudian aspectos de cada uno de los pasos de la cadena de uso de hidrógeno como combustible, desde su producción y purificación hasta el desarrollo de celdas de combustible, pasando por materiales para almacenamiento y compresión. Los tres grupos de investigación que trabajan en hidrógeno en el CAB participan en ese proyecto. Uno de ellos está desarrollando componentes de celdas de combustible de alta temperatura para sistemas generadores estacionarios. Los otros dos trabajan en el desarrollo de distintos tipos de materiales para almacenamiento y compresión de hidrógeno. Los más característicos son aleaciones metálicas tipo lantano-níquel, compuestos de magnesio y compuestos químicos como

borohidruros y alاناتos. Algunos de estos materiales se estudian en función de su capacidad para purificar hidrógeno, gracias a que realizan procesos de absorción o desorción selectivas de este gas. En el CAB también se está llevando adelante un proyecto para desarrollar equipos de medición de absorción y desorción de hidrógeno en materiales, y de medición de vida útil de un material en ciclos de carga y descarga de hidrógeno. El objetivo es llevar el desarrollo de estos equipos, hoy en escala de prototipos, al nivel de productos comerciales.

También debe destacarse la iniciativa para producir hidrógeno a partir de energía eólica que se está desarrollando en la localidad de Pico Truncado, provincia de Santa Cruz.

### ▣ Una mirada al futuro

Realizar predicciones sobre el futuro de la tecnología basados en el conocimiento científico actual es siempre riesgoso. Si las predicciones de 20 años atrás hubiesen sido acertadas, miles de automóviles impulsados por hidrógeno circularían hoy por las rutas de distintos países. Sin embargo, esto no ha sucedido porque, por una parte la provisión de combustibles fósiles no decayó como se preveía y, por otra, la tecnología del hidrógeno no alcanzó el grado de madurez esperado. Hoy, si bien los principales fabricantes de automóviles a nivel mundial han desarrollado prototipos alimentados por hidrógeno e impulsados por celdas de combustible, ninguno de ellos planea llevarlos a escala comercial en el corto plazo. Si bien se pueden barajar distintos escenarios para la introducción del hidrógeno como vector de energía, es probable que la transición se vaya produciendo en forma paulatina a medida que el precio de los combustibles fósiles vaya incrementándose, con un tiempo de convivencia de ambas tecnologías. Decisiones gubernamentales pueden acelerar este proceso, en particular si se penalizaran las emisiones dañinas para el medio ambiente. Pero aun en ese caso, es necesario optimizar métodos de producción de hidrógeno alternativos a los empleados en la actualidad para lograr mejores rendimientos en aquellos que realmente reducen el impacto ambiental. Estos tiempos involucrados en la transición de uno a otro sistema nos dan una ventana de oportunidad para mejorar métodos y desarrollar materiales adecuados de forma tal de partir desde una posición competitiva en la nueva economía en ciernes.

## Lecturas sugeridas

Rifkin, J. (2007). *La economía del hidrógeno*. Barcelona: Paidós.

Publicaciones del sitio de la Red Iberoamericana de Hidrógeno. En URL: <http://redhidrogenocyted.com.ar>