



# Tecnología del hidrógeno



Por *Daniel Pasquevich*

---

“La participación de empresas con el Estado en investigación y desarrollo es la fórmula para asegurar un crecimiento regional en esta temática. El Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable (IEDS) de la Comisión Nacional de Energía Atómica invita a participar y asociarse en nuevos proyectos en el área de combustibles limpios sustentados en hidrógeno”, expresa el doctor Daniel M. Pasquevich, director del IEDS.

¿Qué es el Instituto de Energía y desarrollo Sustentable? El Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable (IEDS) pertenece a la Comisión Nacional de Energía Atómica y ha sido creado como parte de un acuerdo marco entre la Secretaría de Energía y la misma CNEA. La misión esencial del instituto es articular las capacidades técnicas de la CNEA al efecto de impulsar y promover estudios, investigaciones, servicios y desarrollos tecnológicos en el área de la energía y el desarrollo sustentable.

La CNEA es una institución de reconocido prestigio, con más de cincuenta años en el país, dedicada al desarrollo de la ciencia y tecnología de la energía nuclear. Pero a lo largo de estos cincuenta años ha desarrollado y acumulado, a través de sus profesionales y técnicos, una enorme experiencia en diversos temas científicos y tecnológicos, en áreas de las ingenierías, informática, ciencias, seguridad industrial, diseño, plantas piloto, energías no convencionales, etc. A su vez, ha creado laboratorios de investigación, desarrollo, medición y control de alta precisión, estableciendo una capacidad instalada al servicio del país en el campo general de la energía. Estas capacidades disponibles son las que han dado lugar a la creación del IEDS y han definido como misión del mismo la investigación, el desarrollo y la ingeniería en el campo de la energía y el desarrollo sustentable.

## Hidrógeno y sus aplicaciones como combustible para el transporte terrestre

El transporte terrestre ha experimentado saltos tecnológicos asociados a la disponibilidad de combustibles y al dominio de las tecnologías que permiten hacer un uso eficiente de los mismos. El medio de transporte terrestre, el combustible y la fuente de energía primaria a partir del cual se genera y procesa el combustible han evolucionado desde el siglo XVIII al siglo XXI de acuerdo como se muestra en la figura 1. El caballo fue el primer medio de transporte utilizado por el hombre. Para asegurar la disponibilidad de esta fuerza de arrastre de carretas y carrozas, la sociedad dispuso el suministro y comercialización de heno en las ciudades del siglo XVIII. El heno, producido en los campos, almacenaba en sus fibras la energía solar acumulada a través de la fotosíntesis. El heno fue el combustible del siglo XVIII. Luego surgió la locomotora, que utilizó como combustible inicialmente la madera (y luego el carbón), cuya energía química provenía también de la conversión de la luz solar por medio de la fotosíntesis. Así llegamos al siglo XX, en donde el transporte mecánico terrestre ocurre principalmente por medio del motor de combustión interna, cuyo combustible son los hidrocarburos, la refinación, el proceso por el cual se convierte al petróleo en combustible y el reservorio de energía primaria es el petróleo.

El próximo salto tecnológico es el uso del hidrógeno como combustible. Sin duda esto ocurrirá en las próximas décadas. Su uso como combustible es una certeza y las dudas yacen en el tiempo al cual la tecnología alcanzará su madurez y en la magnitud de su aplicación a nivel internacional. ¿En qué medida reemplazará a otros combustibles? ¿Existirá un salto tecnológico o el cambio será gradual? ¿Habrán una coexistencia de ambas tecnologías, la fósil y la del hidrógeno? Estos interrogantes aún no tiene

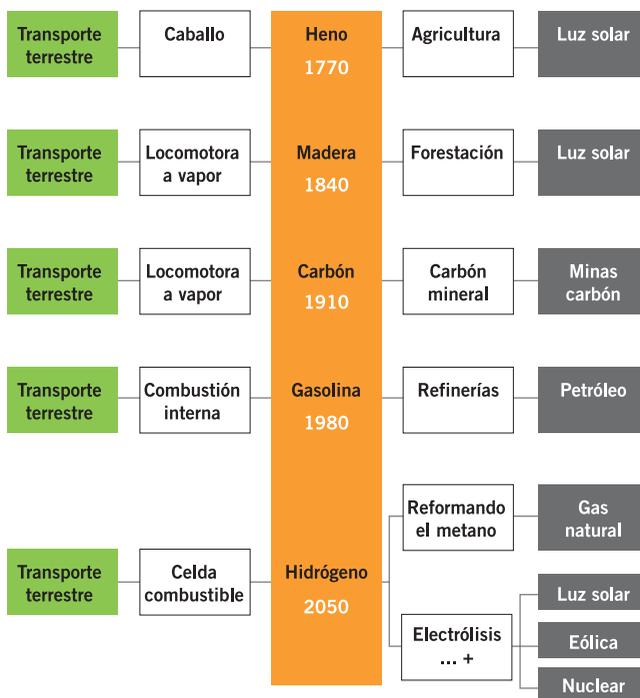


Figura 1. Evolución de los combustibles terrestres desde el siglo XVIII

respuesta, pero existen algunos indicios que permiten realizar hipótesis de cómo serán los cambios.

En primer lugar veamos qué debe ocurrir para utilizar al hidrógeno como combustible. Es necesario disponer de energía primaria para la producción de hidrógeno, ya que esta sustancia no se encuentra libre en la naturaleza. La fuente más abundante es el agua, a partir de la cual, por electrólisis, se produce hidrógeno y oxígeno. La figura 1 señala que las fuentes primarias de energía para la producción de hidrógeno en el siglo XXI surgirán del uso de energía solar, eólica, nuclear y geotérmica. De éstas, únicamente la nuclear puede brindar confiabilidad de suministro al no estar asociada a la disponibilidad del recurso natural. Las otras tres son intermitentes o dependientes de la disponibilidad de los recursos naturales de cada región del planeta. Esto es, dependen de la existencia de viento, de la cantidad de luz solar, etc. Por eso cada país estará obligado a analizar la manera más conveniente de utilizar sus recursos naturales y tecnológicos, buscando la complementación entre energía primaria estable y energía primaria de fuentes renovables. En nuestro país disponemos de dos fortalezas energéticas para la producción de hidrógeno: 1) el recurso primario eólico de la Patagonia, cuyo aprovechamiento requiere disponer de tecnología nacional y 2) el dominio de la tecnología nuclear, papel éste en el cual la República Argentina, a través de la Comisión Nacional de Energía Atómica y de sus empresas e institutos, tiene un rol destacado a nivel internacional. Otros países seguirán sus propias conveniencias. Por ejemplo, Islandia, un país con fuerte actividad geotérmica ha lanzado un plan de generación de hidrógeno a partir de esta energía primaria con el objetivo de alcanzar en veinte años una economía sustentada en hidrógeno. Cabe acotar

que el recurso hidroeléctrico no será utilizado para producir hidrógeno, así como tampoco las centrales térmicas en operación al momento del salto tecnológico.

El hidrógeno, producido por electrólisis, almacena la energía de la fuente primaria como energía química, la cual es luego liberada por combustión con el oxígeno del aire a través de un dispositivo llamado celda de combustible. La combinación con el oxígeno genera nuevamente agua y electricidad. Por esta razón, el transporte terrestre dependiente de celdas de combustible (véase recuadro) consistirá en vehículos eléctricos.

Vemos que el salto tecnológico a un transporte sustentado en hidrógeno involucra cambios sustanciales y avances en el uso de las fuentes primarias de energía, en la producción de hidrógeno, en el desarrollo de las celdas de combustible y en tecnología de automóviles, redes de transmisión de hidrógeno, etc. Todos estos cambios deben ocurrir para que la tecnología del hidrógeno alcance madurez tecnológica. La superación de estos desafíos es motivo de inversiones importantes en investigación y desarrollo a escala mundial. Y a la fecha se han realizado grandes avances tecnológicos que permiten asegurar que la tecnología del hidrógeno no está tan lejos.

## Desafíos principales

Podemos decir que hay tres tipos de barreras que deben ser superadas para utilizar al hidrógeno como combustible: económicas, logísticas y tecnológicas. Si hablamos de las primeras, hoy el hidrógeno es caro, su producción no es competitiva frente a los combustibles fósiles. La celda de combustible, recordemos que es lo que permite transformar la energía química del hidrógeno en energía eléctrica, es también una tecnología cara y en muchos casos está en estado de prototipo. Para alcanzar una economía competi-

tiva del hidrógeno con la economía basada en combustibles fósiles, los costos de una celda de combustible deben ser reducidos un factor entre 10 y 15, y los costos en la producción de hidrógeno un factor 4. También tenemos barreras logísticas. ¿Qué quiere decir esto?

La figura 2 muestra que el consumo mundial de energía crece más de lo que lo hace la población mundial, esto habla del uso intensivo de la energía. Las proyecciones para el año 2020 indican que el consumo de energía crecerá un 30%. Este crecimiento conlleva a las preguntas siguientes: ¿cómo se podrá satisfacer la demanda mundial? ¿De dónde saldrán las enormes cantidades de energía primaria para producir hidrógeno en forma masiva? Por ejemplo, la cantidad de hidrógeno necesaria para abastecer a los vehículos de los Estados Unidos hacia el año 2050 sería de 110 millones de toneladas. Lo cual, medido en función de energía primaria, involucraría disponer de más de 1600 reactores nucleares para producir hidrógeno únicamente.

Y también tenemos las barreras tecnológicas, ya que existen áreas que requieren más investigación. Entre ellas, y a modo de ejemplo, puede mencionarse la necesidad de realizar avances en celdas de combustible, producción de hidrógeno, tecnología de vehículos, transporte y almacenamiento, distribución de hidrógeno en las grandes ciudades, desarrollo de centros de producción masivos de hidrógeno, etcétera.

## Desarrollos internacionales

### Automóviles a hidrógeno

No obstante el camino que aún resta recorrer para alcanzar la meta del hidrógeno, ya existen grandes avances en la materia. Los desarrollos más avanzados de vehículos propulsados a hidrógeno se encuentran en Europa, Japón, Canadá y Estados Unidos. Las grandes compañías fabricantes de automóviles han realizado uniones estratégicas con firmas tecnológicas y empresas petroleras para avanzar en el desarrollo de prototipos. Por ejemplo, para desarrollar un sistema para automóviles basado en celdas de combustible Chrysler se asoció con la firma Delphi Automotive Systems; Ford lo hizo con Ballard, International Cells y Mechanical Technology Incorporated; General Motors, con Delphi y Ballard y Peugeot con Citroën, en el marco de un programa de investigación europeo conjunto. Volkswagen y Volvo han anunciado sus planes para un auto tipo Golf híbrido a base de una celda de combustible alimentada con metano. Mazda anunció el desarrollo de un vehículo basado en su auto compacto Demio, con una velocidad máxima de 90 km/h y un rango de 170 km con un tanque de hidrógeno lleno. Nissan comenzó a probar autos con celdas de combustible a principios de 1990. En octubre de 1996, Toyota reveló la conclusión de un vehículo a celda de combustible de preproducción basado en su vehículo deportivo RAV4L.

El pasado 11 de mayo la automotriz alemana BMW presentó –en el marco de la Expo 2000 en Berlín, Alemania– su modelo 750hL con combustión a hidrógeno. Ya circulan en Hannover los primeros quince vehículos de este tipo (como transporte de la inaugurada Expo 2000). El modelo, equipado con un motor convencional de doce cilindros, puede funcionar tanto a nafta como a hidrógeno (204 HP, de 0 a 100 km/h en 9,6 segundos y máxima de 225 km/h).

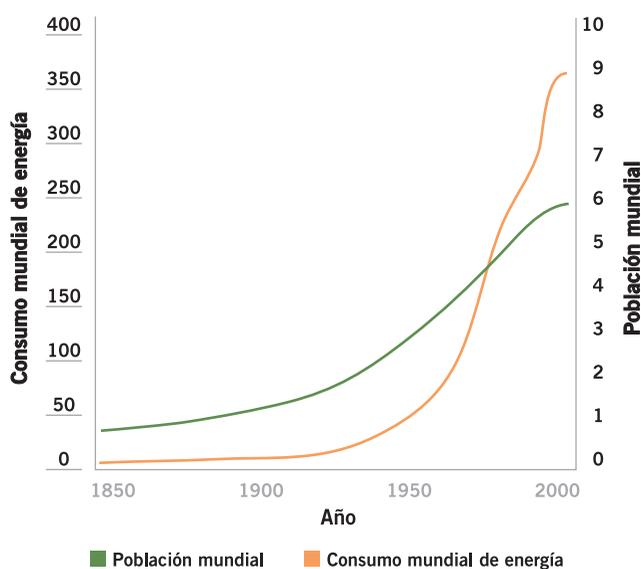


Figura 2. El consumo de energía aumenta más rápidamente que la población mundial

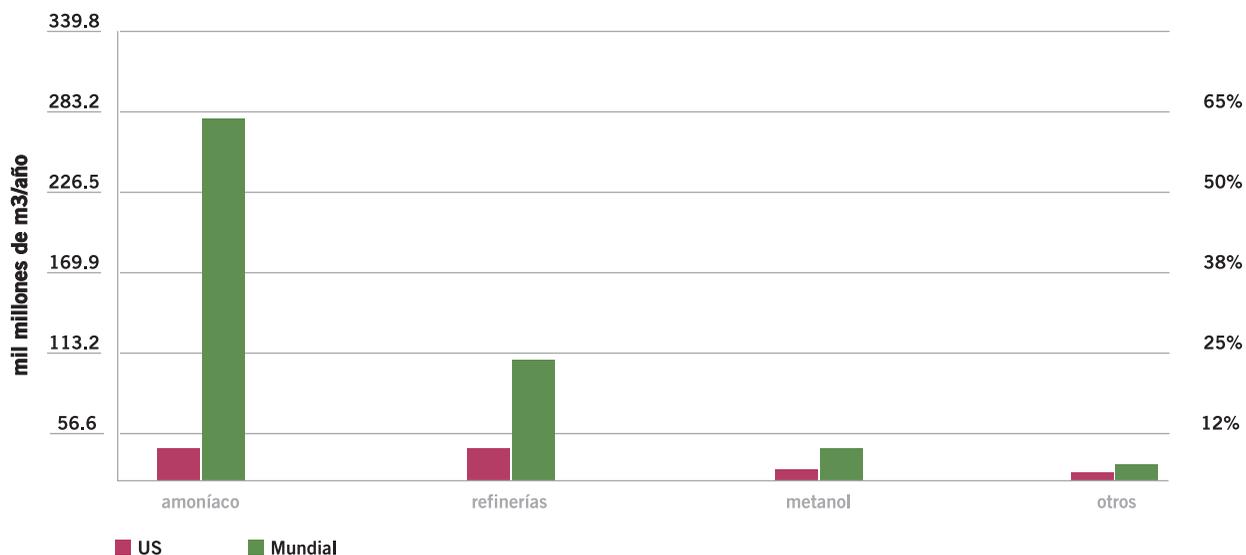


Figura 3. Principales usos actuales del hidrógeno

### Producción, transporte y uso del hidrógeno

Ya existe una red internacional de producción, transporte y uso del hidrógeno. La producción mundial es de alrededor de cincuenta millones de toneladas al año y, de ellas, Estados Unidos produce anualmente nueve millones de toneladas, utilizando como materia prima gas natural. Los usos del hidrógeno son casi exclusivamente para la industria química. La figura 3 muestra los principales usos del hidrógeno. Prácticamente el 60% es utilizado en la fabricación de amoníaco y, luego, en refinерías y en síntesis de metanol. Naturalmente, toda la experiencia y el conocimiento que hoy existe en el mundo sobre el transporte y uso seguro del hidrógeno con fines para la industria química será de gran utilidad para acercar la fecha de inicio de su uso como combustible.

La Comunidad Europea ha lanzado en el 2002 el proyecto "Clean Transport for Europe", en el cual nueve ciudades europeas han comprometido sus esfuerzos en desarrollar transporte público utilizando la tecnología de celdas de combustible e hidrógeno. El proyecto prevé una inversión de 56 millones de euros. Islandia es el primer país del mundo que anunció en 1999 un plan nacional para adaptar todo el transporte y el uso en fábricas y hogares del hidrógeno como vector de energía. Islandia posee energía geotérmica y lo que intenta con su plan nacional es transformar y acumular toda esa energía como hidrógeno. También en el año 2003 el gobierno de los Estados Unidos anunció nuevas inversiones en la producción de hidrógeno a partir de energía nuclear (1100 millones de dólares) y en el desarrollo de vehículos a hidrógeno (1000 millones de dólares).

### ¿Qué se hace en el Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable?

La Comisión Nacional de Energía Atómica, a través del Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable, está llevando adelante una serie de proyectos que tienen que ver con la

aplicación del hidrógeno tanto en su función para generar electricidad, como en su capacidad para ser utilizado como combustible limpio. Las actividades de la CNEA en materia de hidrógeno se remontan a mediados de 1980, cuando se iniciaron en el país los primeros estudios del hidrógeno como vector de energía. Desde su creación, el Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable ha tomado la decisión de dar pasos concretos y definidos en avanzar en el desarrollo de una tecnología de hidrógeno nacional sustentada en capacidades propias y en colaboración con universidades, institutos de investigación y fundaciones. El objetivo último es contribuir a generar capacidades propias en el país para incorporar al hidrógeno en la matriz energética nacional.

Los proyectos en curso apuntan a resolver las áreas de mayor desafío tecnológico y que signifiquen barreras para la implementación futura del hidrógeno como combustible. Por ello, las áreas centrales son la tecnología de celdas de combustible; la producción, el almacenamiento, el transporte y la distribución de hidrógeno; el estudio de materiales y motores para implementar el uso del hidrógeno y el uso de fuentes primarias de energía, tanto para la producción regional descentralizada como para la producción masiva centralizada.

La mayor parte de las investigaciones en curso se realizan en las instalaciones de Centro Atómico Bariloche, Centro Atómico Constituyentes y Centro Atómico Ezeiza. Los temas son ampliamente diversos, desde el desarrollo de combustibles híbridos hasta materiales, catalizadores, procesos. Entre los proyectos de mayor envergadura pueden mencionarse:

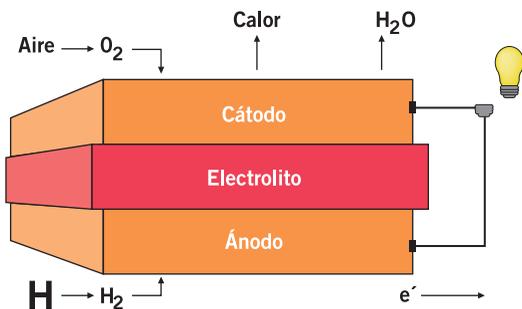
- Producción de hidrógeno.  
Este proyecto es realizado con apoyo del BID y tiene por objeto desarrollar la tecnología de generación, almacenamiento y distribución de hidrógeno elemental en el país a modo de prototipo.
- Celda de combustible a gas natural.  
El objetivo es la implementación en el país de una celda de combustible para suministrar energía eléctrica a una población con quinientos a mil habitantes. La alimenta-

## ¿Qué es una celda de combustible?

En principio, una celda de combustible opera como una batería, como ilustra la figura 2. Genera electricidad combinando hidrógeno y oxígeno electroquímicamente sin ninguna combustión. A diferencia de las baterías, una celda de combustible no se agota ni requiere recarga. Produce energía en forma de electricidad y calor mientras se le suministre hidrógeno. El único subproducto que se genera es agua ciento por ciento pura. Una celda de combustible consiste en dos electrodos separados por un electrolito. Uno de ellos se llama cátodo y el otro ánodo. El oxígeno pasa sobre el cátodo y el hidrógeno sobre el ánodo. Cuando el hidrógeno es ionizado pierde un electrón y al ocurrir esto ambos (hidrógeno y electrón) toman diferentes caminos hacia el segundo electrodo. El hidrógeno migra hacia el otro electrodo a través del electrolito mientras que el electrón lo hace a través de un material conductor. Este proceso produce agua, corriente eléctrica y calor útil.

### ¿Qué es una celda de H<sub>2</sub>?

Son pilas o baterías donde, por medio de una reacción electroquímica, se transforma el H en corriente eléctrica.



ción de la celda de combustible será con gas natural.

#### • Planta demostrativa solar-hidrógeno.

El objetivo es recolectar energía solar a partir de paneles fotovoltaicos y utilizarla para producir hidrógeno para uso en vehículos a partir de la electrólisis de agua. El proyecto se desarrolla en el marco de un convenio con la provincia de Misiones y la Universidad Nacional de Misiones.

## ¿En qué momento del siglo XXI se hará realidad el uso del hidrógeno como combustible?

Realizar previsiones es siempre un tema difícil, pero puede decirse que se está trabajando a pasos agigantados y que mucho antes que la economía del hidrógeno alcance un uso masivo aparecerán nichos de utilización del hidrógeno. Especialmente las grandes ciudades que presentan serios problemas de aire limpio serán las primeras en utilizar vehículos con hidrógeno. También las celdas de combustible se utiliza-

rán antes con gas natural para producir energía eléctrica, usando módulos de 250 kw en adelante. Seguramente no habrá que esperar que se agoten los combustibles fósiles para que el hidrógeno se utilice en forma comercial. Los serios riesgos implícitos en el cambio climático harán que se tomen decisiones para proteger el medio ambiente impulsando cambios tecnológicos que no se refieren solamente al hidrógeno sino a innovaciones para reducir las emisiones del uso de hidrocarburos, como por ejemplo el secuestro y almacenamiento de dióxido de carbono emitido por las centrales térmicas.

## Ideas centrales

- Hay barreras que hay que superar; las tecnológicas son grandes, pero también es verdad que para posicionarse en el mercado del hidrógeno hay que empezar a trabajar desde hoy. Tal vez alcanzar las metas lleve algunos años, pero el día que la tecnología esté resuelta va a ser muy difícil participar como socio tecnológico con las grandes empresas que impulsan el desarrollo. Hoy todavía existe una tecnología a escala prototipo, lo cual permite que países como el nuestro tengan aún opción de dominar algunos aspectos de la tecnología del hidrógeno.
- Hay fuerzas impulsoras muy importantes para avanzar hacia el desarrollo del hidrógeno. Una es la amenaza del cambio climático, el protocolo de Kyoto, los bonos verdes y las penalizaciones por emisiones.
- La enorme cantidad de energía que requerirá el mundo en el siglo XXI asegura que los combustibles fósiles se seguirán utilizando pero asegura también la existencia de nichos de aplicaciones del hidrógeno. Es probable que ocurra una coexistencia de ambas tecnologías.

*Daniel M. Pasquevich es doctor en Ciencias Químicas con orientación fisicoquímica, recibido en la Universidad Nacional de La Plata, realizó su tesis doctoral en el Centro Atómico Bariloche. Por su labor académica ha recibido premios y distinciones. En el ámbito profesional se ha desempeñado en la CNEA como investigador científico y como tecnólogo, ha dictado cursos de posgrado en el Instituto Balseiro y ha dirigido tesis doctorales en Ingeniería y Ciencias. Es autor de más de setenta trabajos científicos en el ámbito internacional y ha sido responsable de la dirección de proyectos en el área de la metalurgia extractiva, en el tratamiento de combustibles gastados de reactores nucleares de investigación, en ciencia de los materiales, en fisicoquímica de procesos químicos heterogéneos y en la fisicoquímica del hidrógeno como combustible y vector de energía.*

*Actualmente es el director del Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable, dependiente de la Comisión Nacional de Energía Atómica; continúa con la dirección de proyectos en fisicoquímica, es investigador independiente del CONICET y dirige proyectos y estudios en el campo de la energía y ambiente.*