

Hidrógeno, ¿cuál es su realidad?

El hidrógeno es un vector de la energía y, al igual que la electricidad, se puede producir a partir de diversas fuentes, incluyendo combustibles fósiles, energías renovables y energía nuclear.

Hoy se lo utiliza principalmente como materia prima para las industrias petroquímicas, alimenticias, metalúrgicas, electrónicas y de proceso, aunque su campo más prometedor es la sustitución de los combustibles líquidos de hidrocarburos, siendo las celdas combustibles el motor del cambio en su aplicación.

El siguiente artículo está orientado a estimular la discusión y a brindar una base de conocimiento para la búsqueda de mayores precisiones e investigaciones.

El accionar errático de la OPEP respecto de los precios del petróleo, los desencuentros políticos y religiosos en Medio Oriente, las opiniones de Jeremy Rifkin en su libro *La Economía del hidrógeno* y muy especialmente las políticas medioambientales de los países y las necesidades de Estados Unidos para dar satisfacción al creci-

miento proyectado de su demanda de energía para los próximos veinte años, han acelerado el paso en la búsqueda de sustitutos para el uso del petróleo. La utilización del H_2 como combustible menos contaminante

para el calentamiento global y por su capacidad alternativa de provenir de fuentes renovables se convierte en alternativa, si bien hoy proviene de hidrocarburos en un 95%.

Por Alberto Andino, Conuar S.A.

Usos del H_2

A pesar de que su campo más prometedor consiste en sustituir los combustibles líquidos de hidrocarburos para aplicación en el transporte público y privado, hoy su principal uso es como materia prima química de industrias petroquímicas, alimenticias, metalúrgicas, electrónicas y de proceso, siendo las celdas combustibles el motor del cambio en su aplicación.

Una particularidad y ventaja del hidrógeno es que su combustión o conversión electroquímica sólo genera vapor de agua. Dado que también puede ser obtenido de este recurso, es posible lograr un ciclo, en donde la única emisión al ambiente sea agua.

Métodos de obtención

El hidrógeno, al igual que la electricidad, es un vector de la energía, no una fuente primaria, y se puede producir a partir de diversas fuentes, incluso combustibles fósiles, energías renovables y energía nuclear.

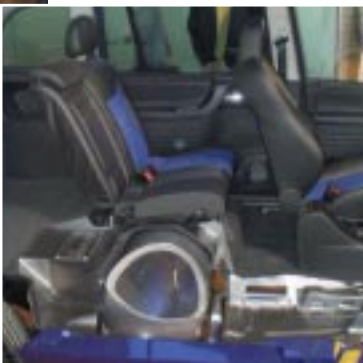
El método actual más extendido es el de reformado de gas natural, que se basa en la descomposición del metano mediante temperatura y catalizadores para obtener finalmente hidrógeno y dióxido de carbono. Se está trabajando también en el reformado de otros hidrocarburos (propano, por ejemplo), metanol y recientemente también etanol. Una línea de vanguardia es la utilización de organismos vivos en las reacciones de reformado que sustitui-



Alberto Andino



Auto a fuel cell (FC)



yen los costosos catalizadores sobre la base de níquel.

Un segundo método de producción industrial de hidrógeno es el de electrólisis del agua (líquida o vapor); esto consiste en la ruptura de la molécula de agua a través de electricidad. Reacciones de óxido-reducción ocurren en los electrodos y se generan hidrógeno y oxígeno como productos. Existen diversas líneas de investigación sobre electrolizadores que se sustentan en electrolitos de polímeros de cadenas flúor-carbonadas y cerámicos sobre la base de circonio. También se está trabajando en sistemas mixtos agua-gas natural, para reducir la cantidad de electricidad demandada y con esto el costo de la electrólisis, que de por sí es el método de menor eficiencia para obtener H_2 .

Una tercera vía que aún se encuentra en desarrollo es a partir de biomasa: mediante procesos de digestión y fermentación que generan un gas rico en metano, que luego es reformado para obtener finalmente hidrógeno.

La alternativa de utilizar energía nuclear para la producción de hidrógeno es considerada por varios programas, como por ejemplo el NERI (*Nuclear Energy Research Initiative*) de Estados Unidos. Los métodos se basan en utilizar el calor de reactores de alta temperatura para producir la descomposición termoquímica del agua. Evaluaciones preliminares muestran que el proceso sulfato-ioduro puede producir hidrógeno con altas eficiencias usando el calor de reactores modulares de helio (donde se alcanzan temperaturas cercanas a los 900 °C). Este proceso produce hidrógeno de alta pureza, a la vez que los reactivos (H_2SO_4 y HI) son regenerados y reciclados.

Cabe agregar que si el H_2 proviene de combustibles fósiles, el CO_2 puede ser capturado y secuestrado.

Infraestructura de producción centralizada vs. distribuida

La infraestructura para producir y distribuir el H_2 desde medianas o grandes plantas hasta las estaciones de servicio es una barrera económica infran-



Tanque de H_2

queable hasta que la demanda alcance grandes volúmenes. La producción en *reformers* de pequeña escala es más económica en las primeras etapas de la demanda, tanto para el autoalimentado de GNC y reformado a bordo, o la producción de H_2 en estaciones de servicio para el despacho. Muchos analistas consideran que la solución definitiva y más económica consiste en la utilización de sistemas similares a la distribución del GNC con plantas medianas cercanas a las estaciones de servicio, una vez resueltos los temas de seguridad de almacenaje y carga.

La tendencia del mercado ha provocado un fuerte desarrollo de pequeños equipos de *reformers* en varias tecnologías; no obstante, existen en prueba comercial sistemas centralizados de producción y distribución por camión o vía cañerías.

Las tecnologías de *reformers* de pequeña escala consisten en sistemas con

tecnología convencional y mejoras que ya están en proceso de desarrollo comercial. Aunque no los describiremos, mencionaremos algunos nuevos procesos que presentan expectativas económicas atractivas, como por ejemplo *Sorbent Enhanced Reforming*, *Ion Transport Membrane*, *Plasma Reformers* y *Microchannel Reformers*.

Como puede verse, hay un creciente interés por el desarrollo de métodos de producción por reformado a pequeña escala, así como han aparecido nuevas tecnologías de producción de pequeña escala vía electrólisis.

Almacenamiento y transporte

Existen tres líneas principales para el almacenamiento de hidrógeno:

- Métodos físicos
- Métodos químicos reversibles
- Métodos químicos irreversibles

Los **métodos físicos** son los más tradicionales e implican almacenar hidrógeno como líquido (almacenamiento criogénico) o en forma gaseosa a altas presiones. El almacenamiento criogénico posee los inconvenientes de trabajar a muy bajas temperaturas (-253 °C) y consumir gran cantidad de energía.



Triciclo c/FC.

Los cilindros para almacenar hidrógeno comprimido son en general de aceros de alta resistencia mecánica, aleados con Cr-Mo, aunque la tendencia actual es hacerlos de aluminio en la parte interna con un envoltorio de materiales compuestos, por ejemplo, base *kevlar* o fibra de carbono. Actualmente se han hecho pruebas exitosas con tanques que operan a una presión de hasta 700 kg/cm².

Los **métodos químicos reversibles** consisten en ligar químicamente al hidrógeno con un material, para poder liberarlo reversiblemente en forma controlada sobre la base de las condiciones de presión y temperatura. Ejemplos de esto son los hidruros metálicos de magnesio, aluminio, titanio, circonio o tierras raras (semejantes a los que usan las baterías de níquel-hidruro metálico de los celulares y computadoras portátiles). También se está avanzando en el uso de nanoestructuras de carbono basadas en compuestos de fu-



Celda Pem c/stack a la vista p/ motorización

lerenos. Según los últimos anuncios de absorción/desorción, se han logrado polvos de sodio-aluminio con liberación a temperaturas menores a 100 °C.

Los **métodos químicos irreversibles** se basan en reacciones que producen hidrógeno pero que consumen un material reactivo, el cual luego de agotado, debe ser sustituido por material nuevo. Las reacciones de agua con *pellets* de boro-

hidruro de sodio son un ejemplo de este tipo de almacenamiento.

El transporte de hidrógeno se basa en los distintos tipos de almacenamiento descritos anteriormente; existen transportes terrestres y marítimos para hidrógeno líquido, contenedores especiales para hidrógeno a presión y cilindros de hidruros metálicos. A su vez, se halla la opción de transportar por medio de tuberías, como es el caso del hidrogenoducto de 214 kilómetros en la zona de Essen en Alemania.

El problema futuro

Algunas conclusiones del informe *Dick Cheney*, para entender el problema del consumo de energía a futuro:

- El impacto ambiental de los vehículos de motor aumenta cada día.
- Menos del 4% de la población tenía auto en los '60, hoy el porcentaje es 12% y será 15% en 2020. Más del 60% del crecimiento de ventas de autos se producirá en China, India, Brasil, Corea, Rusia, México, Polo-



Bicicleta c/FC



Stack Pem FC

nia y Tailandia.

- Las dos terceras partes del petróleo importado en EE.UU. son utilizadas por la industria del automotor.
- El crecimiento proyectado para los próximos 20 años de EE.UU., Europa Integrada, China, India, Japón y Asia se estima que llevará los recursos más disponibles de petróleo y gas a su punto de máxima demanda y comenzará el declive de producción por aumento de costos de explotación.
- Ninguna nación ya industrializada tendrá autoabastecimiento energético y, por el contrario, aumentará la dependencia.
- Los problemas de abastecimiento energético de EE.UU. para su crecimiento serán comunes a todos los países industrializados e, inexorablemente, alcanzarán a las naciones actualmente en desarrollo.

Posibles soluciones

- Las soluciones energéticas posibles a aplicarse en el mundo para los próximos 20 años provendrán intensamente de los desarrollos tecnológicos que hoy ya se encuentran en proceso experimental.

- Todas las fuentes de energía conocidas continuarán en explotación por insatisfacción de la demanda, incluyendo el carbón gasificado y la energía nuclear, y se incorporarán con intensidad las renovables.
- La fusión nuclear no se alcanzará antes de 40 años.
- El gas natural será el combustible de mayor demanda en el período, por ser el más eficiente para producir electricidad vía ciclo combinado. Crecerá fuertemente en la matriz de transporte y en el consumo domiciliario, debido a que es más limpio que las naftas y el gasoil. En las primeras etapas del consumo masivo del H_2 , el gas será la fuente de obtención del H_2 para celdas combustibles, del transporte y de generación eléctrica distribuida. Los precios aumentarán según la situación de demanda y disponibilidad.
- El H_2 , si bien es uno de los combustibles más limpios en todas sus formas de uso, será un componente de la matriz energética no mayor del 10% al 15%.
- Será en la generación distribuida y en el mercado automotor, donde se producirá el avance del uso del hidrógeno, vía celda combustible/motor eléctrico y electrónica moderna, movilizado además por la presión ambientalista. Esto dará posibilidad a una mejora de la eficiencia tecnológica general de los vehículos.
- Sea por craqueo catalítico de las

moléculas de hidrocarburos o por electrólisis del agua, el conjunto de la celda combustible más la obtención del H_2 alcanzará costos competitivos en la próxima década para la sustitución parcial de los combustibles de hidrocarburos.

- Las soluciones serán diversas y ventajosas según recursos por región y provendrán de la combinación aplicada de tecnologías novedosas de diversas ramas de la ciencia. Asimismo, pondrán a prueba la capacidad de los países para la interconexión de sistemas energéticos.
- Las tecnologías y sus costos competirán en todas las etapas de la obtención de los recursos, en el procesamiento y en el desarrollo económico de la infraestructura.
- EE.UU., Europa y Japón sumados han dispuesto invertir en tecnologías del H_2 aproximadamente seis billones de dólares para los próximos 10 años.
- EE.UU. motoriza un esfuerzo internacional para convocar a los mayores países a un esfuerzo conjunto para alcanzar soluciones tecnológicas que resuelvan el suministro de recursos energéticos, que evite el freno al crecimiento y la mejora del nivel de vida, tal como lo ha expresado el presidente Bush.
- Las celdas combustibles y los métodos para la obtención del hidrógeno son las puntas tecnológicas que marcan el estado del arte de la economía del hidrógeno.
- Las mayores compañías automotrices del mundo (Toyota, GM, Chrysler, Honda, BMW, Mercedes Benz) lideran los desarrollos para la construcción de autos a celda, combustible y estaciones de servicio de hidrógeno.
- En 20 años es esperable un ingreso no mayor del 20% del H_2 en la matriz de combustibles del automotor en sus diversas aplicaciones.
- Países como Brasil y la Argentina con alta disponibilidad de hidroelectricidad, gas natural y capacidad eólica tendrán oportunidades singulares para la obtención de este vector energético.
- El gas natural acelerará su llegada al

pico de demanda máxima por duplicación de su consumo mundial en 20 años y dará oportunidad anticipada a recursos más costosos, como H_2 de otras fuentes.

Síntesis conceptual

Hay consenso en que la calidad de vida se encuentra relacionada directamente con el consumo de energía.

En los próximos 20 años el Asia que

hoy está creciendo a tasas sostenidas entre 4 y 10% será la zona de mayor desarrollo y demanda energética.

A pesar del esfuerzo tecnológico para el ahorro en el consumo, todas las fuentes de energía seguirán vigentes, incluyendo el carbón.

El hidrógeno es la mayor esperanza posible conocida para dar satisfacción a los requerimientos ambientalistas.

Los recursos movilizados para al-

Las características de la primera celda combustible tipo PEM de Latinoamérica que funciona con gas natural son:

1. Reformador de combustible: obtiene el H_2 del gas natural.
2. *Stack* de celdas de combustibles: combinan electroquímicamente hidrógeno y oxígeno (obtenido del aire) para producir corriente continua.
3. Módulo de electrónica de potencia: convierte la salida de corriente continua en alterna.
4. Módulo de almacenamiento de energía: asegura la continuidad de potencia ante distintos transitorios.



5. Módulo de control térmico: optimiza la *performance* del equipo y provee calor para distintas aplicaciones.

eléctrica y con capacidad de cogeneración de hasta 9 kw térmicos. La celda está instalada con fines de investigación a cargo de la Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro, junto con la distribuidora eléctrica Light (Electricité de France). Su objetivo es la medición y verificación de *performance* en demanda real operando en paralelo con la red y alimentando un sector de la universidad.

Asimismo, Conuar suministra, instala y opera en forma remota microturbinas de 30 y 60 kw *free-maintenance* en sistemas *parallel grid* o para aplicaciones aisladas de generación distribuida. ■■■

canzar una tecnología del H_2 de nivel masivo casi garantizan su llegada; la duda no es cómo sino cuándo.

El H_2O aparece como la fuente más disponible de H_2 .

La infraestructura de distribución se resolverá por la tecnología a prueba entre los proyectos ya existentes.

Las energías renovables recibirán fuerte impulso.

Las celdas combustibles más la combinación de electrónica moderna definen un vehículo de manufactura altamente competitiva y desplazarán el motor de combustión interna por su simplicidad constructiva a nivel masivo. Tendrán además alta participación en la generación eléctrica distribuida para suministro a comunidades sin infraestructura de distribución eléctrica.

El costo de generación en celdas combustibles con la componente cogeneración estará debajo de los ciclos combinados por kw generado, antes de los 10 años.

La Argentina ha definido a corto plazo el uso del gas para el transporte privado y público como el combustible sustituto para facilitar las exportaciones de petróleo y generar recursos. Esto tiene sentido a corto plazo si simultáneamente existe, además, un estímulo al mercado para las inversiones de exploración y distribución del recurso.

Hoy como nunca hace falta una estrategia de utilización de todos los recursos energéticos disponibles y la promoción de su desarrollo para asegurar una tasa de crecimiento razonable, con visión de largo plazo.

En diciembre de 2002 Conuar, a través de su división de nuevas tecnologías: Enedis, bajo su acuerdo con General Electric, puso en marcha la primera celda combustible tipo PEM de Latinoamérica que funciona con gas natural.

Se trata de un modelo GenSys 5C en etapa precomercial desarrollado por Plug Power y comercializado por General Electric, de 5 kw de potencia

Alberto Domingo Andino es ingeniero mecánico y licenciado en Administración de Empresas, Programa de Alta Dirección PAD-IAE y General Electric "Impact-Course" (Stanford Univ/Japon/USA).

Fue director operativo de Elenet S.A. y director operativo y gerente general responsable del Grupo Industrial Pérez Companc en Sade Electromecánica S.A., Electromecánica Argentina S.A., Tubos Trans Electric S.A. y Morsela S.A.

También se desempeñó como gerente técnico en Avan S.A. y actualmente es gerente general de Conuar S.A./FAE S.A.

Bibliografía

Annual Energy Outlook 2003 with Projections to 2005.

Bolcich, Juan Carlos, *Tecnología del hidrógeno*.

DOE, *Annual Energy Outlook*, 2002.

Energy Information Administration, *International Energy Outlook 2003*,

Office of Integrated Analysis and Forecasting, U.S. Department Energy.

Friedland, Robert; Speranza, A. John, *Hydrogen Production through electrolysis*.

International Energy Agency, *Natural Gas Information 2000*.

National Energy Policy, *Report of the National Energy Policy Development Group*.

Ogden, Joan M., *Review of small stationary reformers for hydrogen production*.

Progress Report for Hydrogen, Fuel Cells and Infrastructure Technologies Program - U.S. Department of Energy.