

## Hacia una economía basada en el hidrógeno

<sup>(1)</sup>JOSÉ R. SOLANO

Decanato de Estudios de Post Grado  
Universidad Metropolitana  
Distribuidor Universidad  
Terrazas del Avila,  
Caracas-Venezuela

### Resumen

La industria energética está en el inicio de un nuevo ciclo en el que -al igual que en otras áreas de la economía- tecnologías de pequeña escala, basadas en el conocimiento, reemplazan a los grandes complejos industriales de activos costosos y producción a gran escala.

La preocupación por la contaminación ambiental, en especial ante las potenciales consecuencias del efecto invernadero en el clima, y el deseo de los países consumidores de reducir la dependencia energética de fuentes extranjeras han contribuido a incentivar la búsqueda de opciones energéticas menos contaminantes, entre las que destaca el uso del hidrógeno para la generación de electricidad en instalaciones pequeñas, para consumo local en edificaciones habitacionales y fábricas, así como la transformación del automóvil en un vehículo movido por celdas de combustible, con hidrógeno como energético.

Actualmente los equipos e instalaciones piloto generan el hidrógeno a partir de gas natural y metanol, principalmente. Sin embargo, es posible producir hidrógeno sin utilizar combustibles fósiles en el proceso, a partir de fuentes renovables tales como la eólica, la geotérmica, la fotovoltaica y la hidráulica, con las que se produce electricidad, y ésta, a su vez, se puede utilizar, mediante electrólisis, para separar el hidrógeno y el oxígeno del agua. El hidrógeno puede ser luego almacenado en una celda energética o batería electroquímica, para generar electricidad transformable en potencia, luz y calor cuando se necesite.

La principal incertidumbre no es si la nueva energía algún día se impondrá: es el tiempo que tomará la transición hacia una nueva estructura del balance energético, el cual depende de los precios al consumidor, del comportamiento de éste y de la determinación de los gobiernos y los organismos internacionales que tratan de regular las emisiones de gases contaminantes.

**Palabras clave:** Economía energética, Energías renovables, Balance energético, Efecto invernadero, Celdas de combustible, Cambios climáticos.

<sup>(1)</sup> [jsolano@unimet.edu.ve](mailto:jsolano@unimet.edu.ve)

## Abstract

As in many other economic areas, the industry of energy is at the beginning of a new cycle where small scale technologies, based on knowledge, replace huge industrial complexes, very costly in assets, that operate at large scale production.

The concerns about environmental damage, specially those related to climate change derived from the greenhouse effect, as well as the interest of consumer countries in reducing the dependence on foreign energy sources have contributed to encourage the search for energetic options, less contaminant, among which hydrogen stands out in the production of electricity by means of small systems for local consumption in apartment buildings and factories, and motoring vehicles using the fuel cells.

At the moment, the existing facilities run on hydrogen obtained mainly from natural gas and methanol. However, it is possible to produce hydrogen without the utilization of fossil fuels in the process, generating power with clean sources such as wind power, hydroelectricity, photovoltaic or geothermal energy, and using it to separate oxygen and hydrogen from water, through electrolysis. Hydrogen can be stored in cells or electrochemical batteries for subsequent transformation in power, light or heat, when needed.

The main uncertainty is not if the new energy eventually would become economically attractive, but rather when this is going to occur and how long will the transition take toward a new energy balance in the world; and this depends on the costs of the new energies, the consumers' behaviour and the initiatives of governments and international organizations dealing with the environmental issues.

**Key words:** Energy Economy, Renewable energies, Energy balance, Greenhouse effect, Fuel cells, Climate changes.

## Introducción

Las tres grandes fuerzas conductoras en la búsqueda de energías alternas a los hidrocarburos pueden resumirse en:

1. Preocupación por el impacto ambiental, derivado de la quema de hidrocarburos.
2. Aversión a la dependencia de fuentes energéticas foráneas.
3. Potencial amenaza de escasez de hidrocarburos baratos.

El deseo de encontrar fuentes sustentables de energía obedece a varias razones; por una parte está el estímulo político en los países importadores netos, de reducir la dependencia de fuentes foráneas, a éste se suma la preocupación ambiental, cuya principal manifestación se concreta en el Protocolo de Kyoto, suscrito en diciembre de 1997, en el que los países des-

arrollados se comprometen a reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) entre 2008 y 2012, en por lo menos 5% en relación con los volúmenes de 1990. Adicionalmente, algunos geólogos prestigiosos plantean que el ritmo de incorporación de reservas de hidrocarburos está decayendo y que, eventualmente, en unos 20 a 30 años la capacidad de producción de petróleo habrá disminuido sustancialmente. (Roberts, 2004).

Aunque no ha sido confirmado en forma conclusiva que el calentamiento global sea una tendencia real y que los gases que producen el "efecto invernadero", incluyendo el CO<sub>2</sub> producido por la combustión de los hidrocarburos, sean los causantes principales del calentamiento, muchos gobiernos han decidido emprender esfuerzos para reorientar sus sistemas energéticos hacia fuentes menos contaminantes, basándose en una estrategia de prevención. La amenaza de los cambios climáticos más otras agresiones al ambiente, resultado del uso de combustibles fósiles, originaron la preocupación por una economía sustentable en el tiempo.

El concepto de sustentabilidad se asocia con estos cambios de paradigmas. En el pasado, el costo económico de los combustibles que usamos no ha tomado en cuenta las externalidades en cuanto a riesgos de salud debidos a la contaminación generada por la electrificación, las operaciones petroleras, las explotaciones carboníferas, los costos militares asociados con la defensa del petróleo y los importantes impactos en el clima mundial.

Adicionalmente, el costo de exploración y producción de petróleo aumenta gradualmente en la medida en que las reservas potenciales se encuentran en lugares más remotos y hostiles. Además, es probable que la producción mundial de gas natural alcance su techo en algún momento entre 2020 y 2030, y creará una segunda crisis de energía que le pisará los talones a la crisis del petróleo. (Rifkin, 2002).

En este contexto, el desarrollo de la energía a partir del hidrógeno tiene sentido: el hidrógeno no tiene carbono que se deposite en la atmósfera; la tecnología para utilizarlo existe y su costo se va reduciendo gradualmente, mientras el costo de descubrir y producir hidrocarburos aumenta.

### **El concepto de Economía del Hidrógeno**

Los promotores del hidrógeno como energético opinan que éste representa una forma ideal de transferir energía: puede ser obtenido del agua utilizando diversas fuentes de energía primarias (solar, nuclear o fósil) y puede convertirse en formas útiles de energía sin efectos negativos para el ambiente. El único subproducto del uso del hidrógeno como energético es agua: la

contaminación sólo se origina con los residuos de la fuente energética que se use para su obtención. Cuando ésta se basa en energía solar o eólica, el proceso es totalmente limpio.

El término *economía del hidrógeno* significa, en este marco, la nueva estructura del negocio energético y el sistema de relaciones técnico-económicas y sociales que se generarán como consecuencia del reemplazo gradual de los combustibles fósiles por el hidrógeno; no se trata de los aspectos económicos o financieros del uso del hidrógeno como combustible.

Al respecto, Jeremy Rifkin plantea: "Mientras que la era de los combustibles fósiles está entrando en sus últimos años, está naciendo un nuevo sistema energético que tiene el potencial de remodelar radicalmente la civilización. El hidrógeno es el elemento más básico y ubicuo del universo. Es el material de las estrellas y de nuestro Sol y, cuando se aproveche adecuadamente, será el 'combustible eterno'. Nunca se acaba y no produce emisiones nocivas de CO<sub>2</sub> al quemarse; sus únicos subproductos son el calor y el agua pura. Estamos en los albores de una nueva economía, movida mediante hidrógeno, que cambiará básicamente la naturaleza de nuestros mercados e instituciones sociales y políticas, de la misma forma que lo hicieron el carbón y la energía de vapor al comienzo de la Era Industrial". (Rifkin, 2002)

Entre los aspectos más importantes de esa "nueva economía" se vislumbran:

- a. Las tecnologías para la utilización del hidrógeno como energético se generalizan a los medios de transporte, la generación de electricidad independiente de las redes y el uso doméstico.
- b. La economía del hidrógeno hace posible una redistribución del poder, con importantes consecuencias para la sociedad: el actual flujo de energía centralizado desde arriba, controlado por las empresas petroleras y las empresas de servicio eléctrico, perderá vigencia.
- c. Se reducirán drásticamente las emisiones de dióxido de carbono y se mitigarán los efectos del calentamiento global o efecto invernadero.
- d. Desaparecerá la dependencia de petróleo importado de los países desarrollados y se producirán nuevas realidades geopolíticas.
- e. La nueva tecnología podrá proporcionar energía más accesible a las poblaciones pobres para manejar equipo agrícola, instalar y operar pequeñas fábricas y talleres de artesanía e iluminar hogares, escuelas y hospitales. En la economía del hidrógeno, el automóvil podrá ser una 'central eléctrica con ruedas', con una capacidad generadora de 20 kilovatios. Dado que el automóvil medio está en el garaje la mayor parte del tiempo, se podrá enchufar, durante el tiempo que no se utilice, a la casa, a la ofi-

cina o a la principal red interactiva de electricidad, y proporcionar electricidad extra a la red.

## **Los usos del hidrógeno**

### **Usos no energéticos**

Desde el inicio de la era industrial, el hidrógeno ha sido un importante insumo: como materia prima en la producción de fertilizantes, tintes, drogas y plásticos; como material de ignición en soldadura, e incluso para obtener combustibles líquidos sintéticos del carbón. En forma líquida y a bajísimas temperaturas, se combina con oxígeno líquido como combustible de naves espaciales.

Sin embargo, comparativamente, estos usos implican un consumo muy pequeño, en relación con el potencial uso energético.

El hidrógeno, en procesos químicos, es un buen agente reductor (la reducción es en esencia lo contrario de la oxidación). Una de las utilidades más comunes del hidrógeno en la industria es la producción de fertilizantes amoníacos por medio de la reacción de nitrógeno e hidrógeno bajo presión. También se usa como extractor de oxígeno en metalurgia y en el tratamiento térmico de metales ferrosos para cambiarles características físicas.

### **Usos energéticos**

La principal modalidad tecnológica viable con tecnología existente, para el desarrollo de una economía sustentada en el hidrógeno como energético, es la celda de combustible, un dispositivo que convierte directamente energía química en eléctrica mediante la combinación del hidrógeno con oxígeno del aire, dejando como subproductos agua y calor. Su más importante diferencia con las baterías convencionales, es que éstas agotan los reactivos electroquímicos al generar la corriente mientras que las pilas de combustible producen la electricidad utilizando la reacción entre el hidrógeno que se renueva continuamente y el oxígeno del aire, para producir agua liberando electrones.

Las aplicaciones energéticas de las celdas de combustible son de tres tipos: en plantas de generación fijas o estacionarias, en plantas portátiles y en automóviles.

### **Instalaciones estacionarias**

Los equipos residenciales de generación, en los que se aprovecha el calor además de la electricidad, llegan a eficiencias de 80%. Su principal demanda se estima para áreas aisladas, de difícil acceso a redes de servicio

público. Son baterías de celdas de combustible, alimentados generalmente con metanol y de una potencia de 3 a 10 kW en unidades denominadas "Home power/heating center", para los cuales se estima que hay un enorme mercado a escala mundial. Equipos más grandes, que requieren pequeñas redes de distribución para la transmisión eléctrica, utilizables en edificios o complejos habitacionales y comerciales, se basan en gas natural o propano (como los usados en las cooperativas mencionadas más adelante) y la energía generada está entre 25 y 50 kW. Hasta ahora el interés se ha concentrado en unidades de generación de tamaño pequeño y mediano: existen unas 200 instalaciones de este tipo en todo el mundo. (Hoffmann, 2002).

#### **Equipos portátiles**

Existen diversas oportunidades para el uso de pilas de hidrógeno portátiles: Varias empresas llevan a cabo proyectos dirigidos a la utilización de celdas de combustible en miniatura para usos en teléfonos celulares, computadoras portátiles, bicicletas motorizadas y carritos para golf. El uso es ampliable a equipos de emergencia, artefactos livianos que requieren energía, generadores móviles pequeños, cámaras, mini-vehículos de varios tipos, computadoras portátiles y equipos médicos. Estas aplicaciones están en fase de desarrollo y experimentación, pero se estima que sólo pasarán algunos años antes de que estén en el mercado.

#### **Vehículos**

Desde luego, el principal uso que se vislumbra y el de mayor impacto económico, es en automóviles, autobuses y camiones, que, como ya hemos señalado, es también el que está recibiendo mayor atención en cuanto a promoción, experimentación y exhibición. En vehículos, una celda de combustible como fuente de potencia puede ser entre dos y tres veces más eficiente que el motor tradicional de gasolina.

Todas las grandes empresas fabricantes de automóviles tienen programas de investigación y desarrollo de esta tecnología. Actualmente se encuentran en servicio autobuses experimentales de transporte público en el aeropuerto de Munich, Alemania; en Reykjavic, capital de Islandia; en Chicago, EEUU y Vancouver, Canadá, así como una flota de camionetas en Washington, DC.

Conviene recordar que el hidrógeno líquido se ha utilizado extensamente, por varias décadas, como combustible para vehículos espaciales.

## **Tendencias en Investigación y Desarrollo**

Puesto que existe la convicción general de que el hidrógeno es, en este momento, la posibilidad más promisoría para el reemplazo a largo plazo de los combustibles de petróleo, hay diversos esfuerzos de investigación, desarrollo y demostración en diversos lugares del planeta. La investigación tecnológica tiene dos vertientes en la búsqueda de formas adecuadas para su utilización, la fusión y las celdas de combustible.

En cuanto a la vertiente correspondiente a la fusión:

- El propósito es reproducir de forma controlada el proceso de producción de energía que ocurre en el sol, mediante la fusión de núcleos de hidrógeno en núcleos más pesados de helio.
- Desde hace más de cuarenta años, en Europa, Estados Unidos y Japón se están llevando a cabo importantes esfuerzos de investigación, con el fin de desarrollar esta forma de energía nuclear a costos razonables.
- En la actualidad, la fusión es objeto de una amplia cooperación mundial dirigida a conseguir un primer reactor experimental.
- Los países desarrollados tienen puesta la esperanza en esta energía, que eliminaría la amenaza del agotamiento progresivo de los recursos fósiles y permitiría el progreso sin emisiones contaminantes ni residuos radiactivos.

La otra dirección –más promisoría a corto plazo– corresponde al desarrollo y aplicación de las celdas (o pilas) de combustible. Aunque el hidrógeno puede ser quemado en motores de combustión, la principal forma de aplicación que se vislumbra en el corto y mediano plazo es este dispositivo que ofrece interesantes opciones tecnológicas.

La investigación aplicada, el desarrollo tecnológico y los esfuerzos de demostración en el área son muy dinámicos en la actualidad; no menos de 30 proyectos se identifican alrededor del mundo.

- La experimentación industrial se lleva a cabo sobre numerosas variantes de estas celdas, tanto para motores eléctricos de vehículos como para nuevas formas de generación en centrales de producción de electricidad y en fuentes de calor domésticas o industriales.
- Las áreas de investigación a las que se dedica mayor esfuerzo actualmente son el almacenamiento y manipulación segura del hidrógeno y las celdas de combustible que usan directamente el metanol como agente reductor.
- La penetración en el mercado de esta atractiva forma de producción de energía sostenible se vislumbra para las próximas décadas.

El esfuerzo individual de investigación y desarrollo más destacado es el que ha llevado a cabo Geoffrey Ballard, desde 1975, iniciado en su laboratorio del sur de Arizona y posteriormente mudado para North Vancouver, Canadá, estimulado por el deseo de reducir la dependencia energética de Estados Unidos. El resultado de su trabajo es la "Ballard fuel cell" que funciona con hidrógeno gaseoso o un combustible rico en hidrógeno como el metanol: la reacción electroquímica del hidrógeno con oxígeno (del aire) genera electricidad y los subproductos son calor y agua. El hidrógeno sobrante se recupera por recirculación. La celda es un ensamblaje tipo "sandwich" con una membrana en medio de dos electrodos fabricados con una fibra porosa de carbón, cubiertas en un lado por una finísima capa de platino pulverizado y mezclado con una forma de teflón. (Koppel, 1999).

Hasta ahora se han venido utilizando sistemas de hidrógeno líquido y de hidrógeno gaseoso comprimido sin mayores problemas, pero todavía quedan aspectos relativos a seguridad, capacidad y eficiencia que deben ser mejorados mediante el desarrollo tecnológico. El uso del metanol directamente como combustible de las celdas para automóviles representa un logro importante pues elimina la necesidad de tener a bordo un reformador para la obtención del hidrógeno.

### **Almacenamiento**

El almacenamiento del hidrógeno es un área importante en materia de investigación: el hidrógeno comprimido requiere tanques entre 5 y 10 veces más grandes que los de Diesel o gasolina para un contenido energético equivalentes. El asunto es objeto de cooperación internacional en cuanto a investigación y desarrollo, en especial cuando se está considerando el transporte a gran escala y el almacenamiento eficiente para sistemas de generación energética altamente confiables. Aunque ya se han demostrado exitosamente sistemas de almacenamiento de hidrógeno, en forma de gas comprimido o como líquido, en vehículos operados en diversos lugares del planeta, los aspectos de seguridad, capacidad y consumo energético siguen abriendo posibilidades para mejoras técnicas con el uso de nuevos materiales. En diversas etapas de desarrollo experimental se encuentran otras opciones tales como la adsorción en carbón y las microesferas de vidrio. Para incorporar grandes cantidades de energía solar y eólica, que se producen intermitentemente, como carga de base en sistemas eléctricos, se requieren formas de almacenamiento de alta eficiencia y con flexibilidad suficiente para aportar al sistema la energía necesaria cuando se requiera. Mediante el convenio "IEA Implementing Agreement on Hydrogen Production and Utilization" en el que participan representantes de 12 países, se desarrolló una

base de datos que servirá de apoyo al desarrollo tecnológico necesario en esta área. <sup>(1)</sup>

### **La obtención del hidrógeno**

El mérito fundamental del hidrógeno en el contexto energético, es su potencial para almacenar y portar en forma química energía de fuentes renovables que no puede ser acumulada. Es posible producir hidrógeno sin utilizar combustibles fósiles en el proceso, a partir de fuentes renovables tales como la eólica, la geotérmica, la solar y la hídrica e inclusive la energía de las olas y mareomotriz, que son formas de energía hidráulica actualmente utilizadas en instalaciones piloto, especialmente en Europa.

Se trata de un tipo de energía hidráulica obtenida a partir del movimiento del agua de los mares, con las que se produce electricidad y ésta, a su vez, se puede utilizar, mediante electrólisis, para separar el hidrógeno y el oxígeno del agua. El hidrógeno puede ser luego almacenado en una celda energética o batería electroquímica, para generar electricidad transformable en potencia, luz y calor cuando se necesite.

Es indudable que la energía solar puede ser usada directamente para calentar o para generar electricidad; pero la electricidad tiene que ser consumida instantáneamente; en cambio, si la electricidad se utiliza para producir hidrógeno, éste se puede almacenar para ser consumido posteriormente liberando energía sin contaminar el ambiente.

En la actualidad, la mayor parte del hidrógeno que se produce en el mundo se obtiene del gas natural mediante un proceso de conversión con vapor. Aunque ésta es la forma más barata de producir hidrógeno comercial, se objeta que el gas natural es también un hidrocarburo y emite CO<sub>2</sub> en el proceso de conversión, contribuyendo a aumentar el efecto invernadero. Sin embargo, hay otras posibles fuentes para la producción de hidrógeno; por ejemplo, el metanol. Este puede ser separado del gas natural o producido mediante procesos agroindustriales (de biomasa).

El metanol es líquido a condiciones atmosféricas, tiene una relación hidrógeno/carbono mucho más alta que la gasolina y puede liberar el hidrógeno a temperaturas razonablemente bajas (250 a 300 °C). Su potencial contribución al efecto invernadero es baja y el suministro al detal sería muy similar al de la gasolina hoy en día.

<sup>(1)</sup> <http://hydpark.ca.sandia.gov/>

### **Consideraciones sobre costos**

En realidad, la utilización comercial del hidrógeno como energético es básicamente una cuestión de costos. Existe hidrógeno en todos los lugares de la tierra: en el agua, en los combustibles fósiles y en todos los seres vivos; el problema es que no se encuentra libre en la naturaleza; hay que extraerlo de sus fuentes naturales y esto puede ser un proceso costoso. El almacenamiento del hidrógeno también es actualmente un obstáculo a superar en cuanto significa una fracción importante del costo de los procesos de manejo de este gas.

Por razones de eficiencia energética, cuya explicación excede el alcance de este trabajo, un metro cúbico ( $m^3$ ) de hidrógeno produce 3 kWh, pero para producir un  $m^3$  de hidrógeno por electrólisis se requieren 4 a 4,5 kWh. Por lo tanto, se requiere una fuente de electricidad económica. (Hoffmann, 2002).

La energía eólica, hídrica y de biomasa ya tienen un costo competitivo en muchas partes del mundo y pueden emplearse en generar electricidad para el proceso de electrólisis. Sin embargo, los costos de la energía fotovoltaica y geotérmica siguen siendo altos y tendrán que bajar considerablemente para que el proceso de conversión del gas natural mediante vapor, en la producción de hidrógeno, sea competitivo.

La obtención de hidrógeno del metanol es una opción económicamente atractiva. Con los datos disponibles se calcula que el costo promedio de desplazamiento por milla, de un automóvil de motor de gasolina (vehículo que rinda 27,5 millas por galón) es 4,21 centavos de dólar, mientras que un vehículo impulsado con celda de combustible puede desplazarse con un consumo de 3,65 centavos por milla (en este cálculo, los costos del metanol están compuestos por costo del gas natural como materia prima, costos operacionales de la planta de transformación, costos de distribución y recuperación del capital). Los costos operativos del sistema de suministro a vehículos, se estima que los costos no son significativamente distintos a los de distribución de gasolina.

El siguiente cuadro muestra las estimaciones de lo que costaría transformar una estación de servicio tradicional de gasolina en una estación suministradora de metanol.

#### Costo estimado de instalar una estación de suministro de metanol

Sistema de metanol al detal	Costo (US\$)
Limpiar un tanque de gasolina	\$19,000
Instalar nuevas líneas de fibra de vidrio	\$31,000
Agregar un tanque superficial	\$55,000
Reemplazar un tanque existente	\$70,000

Fuente: Metanex Corporation, Emerging Energy Applications.

### Argumentos en contra del uso del hidrógeno

Los investigadores Alex Farrel, de la Universidad de California, y David Keith, de Carnegie Mellon, sostienen que el cambio de la gasolina al hidrógeno, como combustible, de automóviles, puede ser caro, ineficiente y peligroso para el ambiente, debido a que los únicos métodos económicos probados producen el hidrógeno a partir de carbón, gasolina y gas natural. Señalan que, en cambio ya existen las tecnologías para absorber los gases de escape de los carros actuales y que son más baratas que el proceso de cambiar para hidrógeno <sup>(2)</sup>.

Otro grupo de investigadores en Caltech (Instituto Tecnológico de California) advierte que los escapes de hidrógeno de los vehículos podrían subir a la atmósfera y producir un incremento en la humedad atmosférica que induzca cambios en la capa de ozono <sup>(3)</sup>.

### Hitos recientes en el desarrollo de la economía del hidrógeno

En la actualidad se llevan a cabo proyectos de demostración en Norteamérica y Europa, principalmente en la fase de prueba piloto.

- Un importante esfuerzo es el que patrocinan 11 países europeos asociados con el Departamento de Energía de Estados Unidos, en el marco de la Agencia Internacional de Energía, denominado "IEA implementing agreement on hydrogen production and utilization".
- En Washington, DC, la Universidad de Georgetown conduce desde hace unos 10 años el proyecto "Georgetown University fuel cell transit bus program" que, como se deduce de su nombre, es una aplicación práctica al transporte de pasajeros en la ciudad.

<sup>(2)</sup>[http://www.berkeley.edu/news/media/releases/2003/07/17\\_fuels.shtml](http://www.berkeley.edu/news/media/releases/2003/07/17_fuels.shtml)

<sup>(3)</sup>[http://pr.caltech.edu/media/Press\\_Releases/PR12405.html](http://pr.caltech.edu/media/Press_Releases/PR12405.html)

- El centro gubernamental de investigación de EEUU Los Alamos National Laboratory y Motorola están desarrollando sistemas de baterías de metanol, de generación directa de larga duración, para teléfonos celulares.
- General Motors y Shell recientemente suscribieron un acuerdo para llevar a cabo un proyecto conjunto que incluye instalar un surtidor de hidrógeno en una estación de servicio Shell y efectuar una demostración de vehículos (Vans que trabajan con motores de 94kW), en Washington, DC, con el objeto de compartir conocimientos y experiencias de aprendizaje y llamar la atención sobre el tema a diseñadores de políticas y público en general.
- Una empresa consultora de Chicago, Navigan Consulting, recientemente inició un estudio patrocinado por varios clientes importantes, sobre el advenimiento de la economía del hidrógeno: perspectivas para el hidrógeno como energético, aspectos de mercado y desarrollo tecnológico, seguridad, confiabilidad, velocidad del desarrollo y rol del gobierno norteamericano en su promoción.
- General Motors y Dow Chemical, la compañía química más importante del mundo, suscribieron un acuerdo este año para realizar la mayor operación de pilas de combustible realizada hasta la fecha. El propósito de la operación prevista es comercializar la tecnología de pilas de combustible de hidrógeno de GM para producir electricidad a partir del hidrógeno separado en las instalaciones de Dow en Freeport, Texas.
- En tres ciudades de Estados Unidos (Montrose, Colorado; Paris, Illinois y Pappahannock, Virginia) se han constituido cooperativas para utilizar, como proyectos piloto, celdas de combustible en las que se introduce propano en un reformador que extrae el hidrógeno y éste entra en un arreglo de placas de grafito donde reacciona con el oxígeno, generando electricidad y agua. La energía producida se transporta por circuitos convencionales y se utiliza en edificios aledaños.
- General Motors ha diseñado un chasis para vehículos ("AUTOmomy"), actualmente en período de prueba, del cual afirman que va a revolucionar la industria de los automóviles. El sistema de almacenamiento de hidrógeno y la disposición de las pilas de combustible -integrados en el chasis- permiten que el vehículo tenga diversos usos: cuando no está andando, serviría como generador de electricidad y calor; en el campo podría efectuar tareas de tractor o motorizar equipos agrícolas. <sup>(4)</sup>

<sup>(4)</sup> [www.h2cars.biz/artman/publish/index.shtml](http://www.h2cars.biz/artman/publish/index.shtml)

### **El proyecto de Islandia <sup>(5)</sup>**

Uno de los proyectos más interesantes es el que se lleva a cabo en Islandia, anunciado en 1999, dentro de una estrategia gubernamental para eliminar el consumo de hidrocarburos líquidos. Es coordinado por el holding Icelandic New Energy (INE), que junto con Royal Dutch Shell impulsa la economía del hidrógeno en la isla.

Islandia tiene una población de 281.000 habitantes y más de la mitad de ellos viven en la capital (Reykjavic) o sus alrededores, lo que, según los expertos, hace al país muy apropiado para probar la energía del hidrógeno ya que una población pequeña y concentrada permite reducir el esfuerzo y los costos para la red de instalaciones necesarias en la producción de gas. Además, Islandia cuenta con importantes recursos renovables, fundamentalmente de energía geotérmica (que cubre actualmente cerca de 65% de las necesidades energéticas de ese país) e hidráulica, a partir de las cuales se puede obtener el hidrógeno.

En la fase actual se está usando una instalación ya existente de Shell y se basa en la tecnología de electrólisis de la empresa Norsk (energética noruega) para la producción de hidrógeno, usando como fuente primaria energías geotérmica e hidráulica. Los primeros vehículos en servicio son un autobús Mercedes de servicio público y tres de Daimler-Chrysler, que circularán durante dos años en las calles de la capital. Si el resultado es satisfactorio, el siguiente paso será proceder a la sustitución paulatina de los autobuses de transporte público actuales por los nuevos movidos por hidrógeno. A largo plazo, las autoridades islandesas esperan extender su uso a vehículos privados y a la importante flota pesquera nacional.

### **Aspectos relativos a seguridad**

Frano Barbir, de Proton Energy Systems<sup>(6)</sup>, opina, sustentado en estudios del tema, que el hidrógeno plantea riesgos del mismo orden de magnitud que otros combustibles, con tal de que se utilicen los materiales adecuados para los depósitos y se apliquen las normas de seguridad correspondientes. Por lo que se refiere al metanol, su manejo puede llevarse a cabo con medidas de seguridad iguales a las del manejo de gasolina y a un costo muy similar.

<sup>(5)</sup> [www.newenergy.is](http://www.newenergy.is)  
<sup>(6)</sup> [www.protonenergy.com/](http://www.protonenergy.com/)

Los escenarios más probables, identificados para evaluación de riesgos son:

- Fuego o explosión del tanque de combustible en espacios no confinados
- Fuego o explosión del tanque de combustible en túneles
- Fuga de hidrógeno de las tuberías en espacios no confinados
- Fuga de combustible en el garaje
- Accidentes en las estaciones de suministro

Los resultados de la simulación computarizada de estos riesgos conduce a concluir:

1. Una colisión de un vehículo, diseñado con las normas de seguridad apropiadas, en un espacio no confinado o en un túnel presenta el mismo nivel de riesgo que un carro a gasolina o gas natural.
2. Los potenciales accidentes en estaciones de servicio pueden ser prevenidos con entrenamiento similar al de los bomberos de gasolina.
3. El mayor riesgo potencial es el de un escape no detectado en un garaje, donde un incendio puede producir explosiones. Se requiere aplicar medidas de ventilación efectiva y detectores de fugas.

La práctica ha demostrado que los sistemas de manejo de hidrógeno son bastante seguros. Han ocurrido accidentes, pero no más frecuentes o catastróficos que los ocurridos con otros combustibles. En muchos casos, el hidrógeno es más seguro que el combustible al que reemplaza: no es tóxico y cuando hay fugas en sitios abiertos se disipa en el aire sin producir contaminación.

### **Hacia un nuevo balance energético mundial**

Los pronósticos sobre cambios en la estructura del balance energético mundial varían en una amplia gama; desde los que plantean la sustitución de los combustibles fósiles por hidrógeno en las próximas dos décadas, hasta los escenarios en los que el petróleo todavía tendrá una importante participación hasta mediados del siglo XXI.

Uno de los pronósticos más viables se basa en un conjunto de escenarios desarrollados en conjunto por el World Energy Council (WEC) de Londres y el International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) de Austria. En resumen las trayectorias más probables convergen en:

- En la medida en que el ingreso per capita mejora en el mundo, el consumo energético continuará creciendo a un ritmo cercano al crecimiento poblacional. Los cálculos de consumo y el potencial de fuentes energéti-

cas renovables indican que no es factible cubrir toda la demanda futura (salvo con el eventual uso de la fusión) con este tipo de energías.

- Se mantendrá una tendencia hacia la búsqueda de energías más eficientes y de mayor calidad, como la electricidad, y a reducir la relación entre crecimiento económico y consumo energético, especialmente a nivel de fuentes, por la mejora en la eficiencia debida a innovaciones tecnológicas.
- Hasta cerca del año 2020 no habrá cambios importantes, debido a la existencia de muchas instalaciones tecnológicamente apropiadas (refinerías, centrales termoeléctricas, etc.) que tienen todavía una vida útil larga y las reservas de petróleo no se agotarán de la noche a la mañana.
- En las primeras dos décadas de este siglo es cuando se tomarán las decisiones políticas y se lograrán los desarrollos tecnológicos que permitirán la incorporación gradual del hidrógeno en la oferta energética.

## **Conclusiones**

1. Una economía basada en el hidrógeno alejaría los riesgos de calentamiento global producto de los gases de efecto invernadero y permitiría a los países desarrollados cumplir los compromisos del protocolo de Kyoto.
2. La economía basada en el hidrógeno afectaría radicalmente a la industria petrolera mundial y produciría importantes cambios en los conceptos geopolíticos asociados con la ubicación mundial de las reservas de hidrocarburos.
3. Los cambios en la estructura económica por la introducción del hidrógeno como combustible global se vislumbran para los próximos veinte años, con un desarrollo probable hacia los años 2020 al 2025.
4. Con los niveles de consumo actual en los países desarrollados, es imposible sustentar el balance energético mundial únicamente a partir de energías renovables.
5. Las políticas energéticas que se diseñen en el futuro próximo se dirigirán a la conformación de nuevas estructuras en los balances energéticos nacionales, con la inclusión de energía solar y eólica, incremento del uso del gas natural y la utilización de etanol y metanol para la producción de hidrógeno.
6. La rapidez del desarrollo depende de las decisiones políticas, en especial del liderazgo de los países desarrollados, en cuanto al grado de urgencia que se le asigne al proceso de transformación.

### **Referencias bibliográficas**

HOFFMANN, Peter: Tomorrow's energy: Hydrogen, fuel cells, and the prospects for a cleaner planet, The MIT press, 2002

KOPPEL, Tom: Powering the future, the Ballard Fuel Cell and the race to change the world. Wiley and Sons, Canada, 1999

RIFKIN, Jeremy: La economía del hidrógeno, la creación de la red energética mundial y la redistribución del poder en la tierra. Paidós, 2002.

ROBERTS, Paul: The End of Oil. Houghton Mifflin. 2004.