

# HIDRÓGENO,

una alternativa energética en la práctica del diseño

MTRO. EN D. I. SERGIO RUIZ GARCÍA  
Profesor investigador PROMEP de tiempo completo  
en la Universidad Autónoma de Aguascalientes  
Miembro del cuerpo académico "Docencia y Productividad para el Diseño"  
en la misma institución

sruiiz@correo.uaa.mx

Recibido: Febrero, 2010  
Aceptado: Mayo, 2010

## RESUMEN

*Los diseñadores tenemos una importante participación en la constante reconfiguración del entorno artificial, y en gran medida fungimos también como responsables de las principales causas de la degradación del entorno natural y del inminente agotamiento de los recursos naturales. En consecuencia, surge la necesidad de comprender y contemplar las leyes de la termodinámica en el proceso de diseño y desarrollo de objetos, las cuales requieren de energía para su producción y funcionamiento, derivando en la búsqueda de alternativas energéticas y sus posibles aplicaciones en el diseño. Este planteamiento se centra en el uso de un combustible llamado hidrógeno, que no emite dióxido de carbono, incluso que no funciona con la incineración, poniendo fin a la era del fuego que inició con la humanidad misma. El descubrimiento científico que cambiará por completo el sistema de lo artificial es la celda de combustible, dispositivo que funciona como una batería o pila, pero su diferencia radica en la capacidad de recargarla con hidrógeno.*

**Palabras clave:** Celdas de combustible, entropía, homeostasis, termodinámica, electrólisis, disociación.

## ABSTRACT

*There is no doubt that designers have an important participation in the constant reconfiguration of artificial environment and they are also responsible of the main causes of degradation of natural environment and the imminent depletion of natural resources. As a consequence, it is necessary to understand and contemplate the thermodynamic laws in the process of design and the development of objects, which require energy for their production and working; resulting in the search of energetic choices and their possible application in the design. This thought is focus on the use of fuel called hydrogen, which does not emit carbon dioxide and it is dysfunctional in a combustion process. The scientific discovery that pretends to change the artificial system can be the fuel cells whose function is similar to that of a battery, but the difference is the capacity to recharge them with hydrogen.*

**Key words:** Fuel cells, entropy, homeostasis, thermodynamic, electrolysis, dissociation.

## QUEMA DE HIDROCARBUROS, ¿UNA PRÁCTICA OBSOLETA?

El descubrimiento del fuego es quizás uno de los acontecimientos más importantes en la historia de la humanidad, ya que gracias a su uso, procesos que dependían de la naturaleza, podían ser controlados e incluso modificados a partir de este acontecimiento. La energía ha sido un factor decisivo para la satisfacción de necesidades del ser humano, y sus complejas formas de civilización. Durante la antigüedad y hasta la época feudal, los sistemas energéticos dependían de los flujos naturales de energía, como la fuerza animal y humana, el uso del fuego, el aprovechamiento de la radiación solar, el viento y las corrientes de los ríos, para ser transformadas en forma de calor, luz y trabajo; de este modo se podían ofrecer los servicios requeridos.

El aprovechamiento de combustibles fósiles en desarrollos tecnológicos creados hacia los inicios del siglo xvii cambiaría por completo la manera de conformar el entorno en las sociedades. El acontecimiento que marca la primera transición energética mundial fue durante la Revolución Industrial, con el descubrimiento y desarrollo de la máquina de vapor alimentada por carbón. Por vez primera se hace uso de un energético de origen fósil, ubicado geográficamente en puntos específicos, que provocaría la necesidad de transportarlo de un lugar de extracción a otro donde sería consumido. Este punto de partida marcaría un radical cambio en la dinámica de la sociedad, el éxodo de los feudos y el nacimiento de zonas industriales, que se convertirían en las primeras ciudades.

La segunda transición consistió en la diversificación de las fuentes de energía y en los sistemas de transformación de la misma; el descubrimiento de la electricidad y el desarrollo del motor de combustión interna provocaron el uso del petróleo, como la principal fuente de generación de energía en los sistemas de transporte para consumo doméstico e industrial.

Al hacer un análisis sobre las fuentes de energía primaria, a partir de la época industrial, podemos notar cómo las fuentes naturales casi han desaparecido en países industrializados; en contraste, la dependencia del carbón mineral, los hidrocarburos provenientes del petróleo y la energía nuclear en la actualidad marcan un paréntesis digno de reflexión.

Por otro lado, al relacionar el consumo de combustibles fósiles con relación a la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera, podemos darnos cuenta de que el deterioro ambiental es provocado en gran

medida por la quema de los combustibles -particularmente el petróleo y sus derivados- fenómeno que puede ser explicado con principios de la física como la termodinámica y su segundo principio.

## LA TERMODINÁMICA EN LA SOCIEDAD

Los procesos termodinámicos son multidimensionales y sólo pueden entenderse desde la perspectiva sistémica, lo que significa que las sociedades no pueden entenderse con los procesos lineales propuestos desde los tiempos de Adam Smith, basados en la disponibilidad de recursos finitos que tiene cada nación.

La energía es la facultad que tienen los entes físicos para producir trabajo, cuya principal propiedad es su capacidad de transformación de un estado a otro, a partir de una fuente primaria, pero cada transformación es regida por leyes de la termodinámica.

1. La entropía mide el desorden, con la característica de instalarse de forma progresiva en el Universo; por lo tanto, la energía en un sistema está en su nivel nulo en cuanto a posibilidades de aprovechamiento y la entropía en su nivel más alto. Esto quiere decir que mientras más alta sea la entropía en un sistema, la utilidad de la energía será menor.

La interpretación de la segunda ley de la termodinámica nos dice que "los procesos naturales ocurren de manera tal que la *entropía*<sup>1</sup> de un sistema aumenta", la esencia de este segundo principio habla de la transformación de energía y cómo en un sistema aislado va reduciéndose a energía térmica, con una posibilidad de transformación más reducida. También habla de que no hay manera de obtener niveles térmicos superiores, sin volver a transformar trabajo en más calor, esto significa el aumento de entropía en los sistemas.

Según la teoría de los sistemas termodinámicos, existen tres tipos: abiertos, cerrados y aislados. Los sistemas abiertos son aquellos capaces de intercambiar materia y energía. Los cerrados no intercambian materia, sólo energía. Los aislados, en cambio, no tienen la capacidad de intercambio energético ni de materia. Nuestro planeta es considerado un sistema cerrado porque no tiene intercambio de materia, salvo algunos meteoritos que ingresan ocasionalmente, pero recibe una gran cantidad de energía proveniente del Sol. (Rifkin, 2002)

Lo anterior explica que la tierra posee una cantidad limitada de materia que es transformada constantemente por la energía solar y que gracias a ella surgió la vida. La descomposición constante de esta vida generó lo que llamamos hidrocarburos, y los encontramos en forma de carbón, petróleo y gas; actualmente estos residuos son utilizados como la principal fuente energética en el planeta. Dichos sistemas también son regidos por leyes que nos dicen cómo se comporta la energía y su comprensión nos es útil para entender, corregir y planear nuestra dinámica en función del cuidado de los recursos naturales y, por supuesto, la preservación de la naturaleza y nuestra vida social.

Como se ha visto, esta segunda ley de la termodinámica establece que la energía se transforma constantemente, sin embargo, siempre lo hace en una dirección: de disponible a no disponible, es decir, que la energía utilizada se disipa y ya no está disponible para realizar trabajo útil; este proceso unidireccional también tiene la característica de ser irreversible. Podemos citar un ejemplo: un trozo de leña es quemado para obtener calor, es transformado en cenizas y en dióxido de carbono; esa energía es transformada, pero no volverá a ser utilizada para el mismo fin al menos en este "ciclo", pues como bióxido de carbono o ceniza sólo genera compuestos químicos necesarios, quizá, para la vida de plantas que más adelante se convertirán en troncos "combustibles" para poder generar calor nuevamente. La interpretación social de este fenómeno se traduce en contaminación y residuos no deseables, estos son manifestados en forma de materia, pero también en residuos de calor de baja temperatura no útil.

La pérdida de energía aprovechable es llamada *entropía*, este concepto ha tomado gran importancia en los últimos años con la llegada de las crisis energéticas provocadas por el desabasto de hidrocarburos.

Cuanto más evoluciona una especie en su escala natural, mayor es la energía que se requiere para mantenerla en un estado de homeostasis,<sup>2</sup> y mayor entropía en el proceso de mantenerla con vida. Para el caso del entorno artificial podemos citar algunos ejemplos: un foco incandescente genera una gran cantidad de entropía porque la energía eléctrica es transformada principalmente en calor, una menor parte es utilizada para generar luz, es decir, de la energía total utilizada para hacer funcionar este dispositivo sólo una fracción es aprovechada para tal fin, la restante es disipada en la atmósfera, sin posibilidad de ser reaprovechada. Otro ejemplo es el motor de combustión interna, el cual funciona con hidrocarburos, no puede alcanzar 100% de eficiencia térmica; es decir, no es capaz de aprovechar todo el calor generado por la combustión para convertir la energía térmica en fuerza motriz. Estos dispositivos son considerados como derrochadores porque su eficiencia es mínima, aproximadamente 30% de la energía térmica la transforman en movimiento y la restante es disipada hacia la atmósfera.

Al final, todas las civilizaciones terminan por consumir más orden, en este caso recursos energéticos de su entorno del que son capaces de crear y dejan a la Tierra y sus recursos naturales más pobres de lo que eran antes y por ende se explica la tendencia al aumento de entropía.

2. La homeostasis es la propiedad de un sistema que define su nivel de respuesta y de adaptación a su entorno. Los sistemas altamente homeostáticos sufren transformaciones estructurales en igual medida que el contexto sufre transformaciones, ambos actúan como condicionantes del nivel de evolución.

**Un posible escenario.** La aplicación de la termodinámica es muy amplia y, como se ha visto, puede ser referida a nuestra dinámica social; para el caso del diseño, a la dinámica de generar de objetos de uso cotidiano. Aun considerando al planeta como un sistema cerrado, la entropía no dejará de crecer, sin embargo, si apuntamos nuestra atención hacia nuestra fuente energética principal -el Sol- podemos evitar un crecimiento entrópico en la generación del entorno artificial con severos tintes dramáticos, sólo si ponemos atención en las enormes reservas energéticas con que cuenta este Astro, tomando en cuenta la escala de tiempo de los seres humanos.

## DESCARBONIZACIÓN

Analizar la historia del consumo de energéticos desde los inicios de la humanidad nos puede ayudar a entender el camino para su aprovechamiento. Desde el descubrimiento del fuego, los materiales orgánicos —como la leña— con alto contenido molecular de carbono fueron utilizados para preservar y producir fuentes caloríficas; en el siglo XVIII, la explotación del carbón mineral junto con el desarrollo tecnológico basado en el uso de vapor permitió un desarrollo mundial sin precedentes; en el siglo XIX se desarrolló la electricidad, las grandes turbinas y el alumbrado público junto con la electrificación de la industria y lo doméstico; el siglo XX se caracterizó por el uso de derivados del petróleo llamados hidrocarburos; hacia finales del siglo XX e inicios del XXI, varias economías están apostando al uso del gas natural.

Si hacemos un análisis más profundo, notaremos que en cada una de estas etapas la presencia del *carbón* en los diferentes combustibles es cada vez menor; por otro lado, también su estado físico nos muestra una evolución muy interesante: la madera y el carbón se encuentran en estado sólido, los hidrocarburos de origen fósil en estado líquido, y finalmente el gas natural se encuentra en estado gaseoso (Ver tabla 1). De todo lo anterior podemos deducir que nos encontramos inmersos en un camino de “descarbonización” (*Ibid.*: 216) en el uso de energéticos, ya que su estado físico es determinante para su obtención y traslado, resultando en un mundo creciente que los combustibles gaseosos serán la opción más eficiente por su ligereza.

| COMBUSTIBLE                    | ESTADO FÍSICO | TRANSFORMACIÓN       | CARBONO EMITIDO |
|--------------------------------|---------------|----------------------|-----------------|
| Madera (antigüedad)            | Sólido        | Incineración         | Alto            |
| Carbón (Revolución Industrial) | Sólido        | Incineración         | Alto            |
| Hidrocarburos (Siglo XX)       | Líquido       | Incineración         | Alto            |
| Gas natural (Siglos XX y XXI)  | Gaseoso       | Incineración         | Medio           |
| Hidrógeno (¿Siglo XXI?)        | Gaseoso       | Asociación molecular | Nulo            |

¿Cuáles son las mejores opciones? El gas natural es una opción; otras, el etanol y el metanol, cuentan a su favor con muchos argumentos: son líquidos inflamables, incoloros, de poca toxicidad y una gran solubilidad en gasolina a la que se añade para oxigenarla porque ayuda a una mejor y más limpia combustión, además de ser producido a partir vegetales. Lamentablemente por la tecnología actual y los altos precios de su producción, estos carburantes resultan notablemente más caros que los convencionales, por lo que su futuro es poco prometedor.

**Tabla 1.** Tendencia en el uso de combustibles que apunta el fin de la era del fuego mediante uso de hidrógeno.

Otra posibilidad es el uso de las fuentes de energía renovable para el desarrollo tecnológico, que facilite su captación y conversión a fuentes energéticas, como el calor, la electricidad o la producción de hidrógeno.

## ¿POR QUÉ ES IMPORTANTE INICIAR UNA ECONOMÍA BASADA EN EL HIDRÓGENO?

Actualmente, el entorno artificial que hemos creado, y que se encuentra en constante expansión, depende en gran medida del consumo de combustibles fósiles. Después de la crisis energética en la década de los setenta, el mundo entero ya no fue el mismo; los países que basan su desarrollo en el petróleo, se encuentran en una inminente vulnerabilidad y prevén un posible colapso; por otro lado, los países del Medio Oriente que cuentan con los más grandes yacimientos en su territorio, han provocado inestabilidad política con el Occidente. Surgen diferentes especulaciones, tanto pesimistas como optimistas: ¿existirá un descenso en el suministro de petróleo?, ¿el precio se mantendrá a la alza para los mercados mundiales en los siguientes años? Lo cierto es que el petróleo barato se está acabando. Este juego geopolítico puede generar un hundimiento en las economías basadas

en la explotación de petroquímicos. El mundo entero requiere de fertilizantes y pesticidas para la agricultura, productos generalmente provenientes de derivados del crudo. La generación de energía eléctrica se verá también amenazada porque la principal forma de generación proviene de la quema de gas natural y de combustibles fósiles. Estudios recientes confirman que el consumo per cápita de petróleo está reduciéndose; la causa es que la población mundial aumenta con mayor rapidez que la extracción del combustible. De lo anterior podemos decir que de existir un escenario previsible, la incertidumbre gobierna el estado actual en materia energética y el cuestionamiento controvertido inquiriere ¿es necesario generar un nuevo régimen energético?

El término de energía alternativa o renovable se refiere a los recursos que podemos utilizar de forma ilimitada, es decir, la cantidad disponible en la tierra y que en la escala de tiempo humano no desaparecerá al ser aprovechada. El Sol es el recurso más importante, es la principal fuente directa e indirecta en el ciclo de transformación energética dentro de la atmósfera terrestre. Los intentos de aprovechamiento de la energía solar de forma directa, utilizando la tecnología actualmente disponible, por regla general tratan de emular lo que la Naturaleza realiza desde hace millones de años: convertir la energía electromagnética irradiada por el Sol en otras formas de energía. Veamos la siguiente tabla:

|              |                                                                            |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Fotovoltaica | • Conversión de la radiación solar en electricidad                         |
| Fototérmica  | • Conversión de la radiación solar en calor                                |
| Eólica       | • Conversión de la energía cinética del viento en electricidad             |
| Biomasa      | • Obtención de metano a partir de residuos orgánicos                       |
| Hidráulica   | • Conversión de la energía cinética de los ríos en electricidad            |
| Marina       | • Conversión de la energía cinética de las olas y la marea en electricidad |

**Tabla 2.** Diferentes formas de energías renovables, su origen y su conversión.

Estos tipos de conversiones ofrecen una gran cantidad de formas de aprovechamiento, lo interesante es que no se excluyen unas con otras, de hecho deben armonizarse para desarrollar los medios tecnológicos, organizacionales y económicos para satisfacer las necesidades humanas y producir el mínimo impacto en el entorno, tomando en cuenta que la producción de energía tradicional es finita, es decir, limitada por la utilización de recursos también finitos, se puede además tener una

serie de argumentos de carácter ecológico, económico y geopolítico para llevar a cabo esta conversión, pero la razón fundamental para este cambio es de carácter termodinámico porque carece del factor entrópico.

El uso de energías renovables para la producción de hidrógeno es el escenario con mayor potencial, pero es indispensable conocer su forma de obtención, su almacenamiento y los desarrollos tecnológicos que permiten su uso como las celdas de combustible.

## FORMAS DE OBTENCIÓN DEL HIDRÓGENO

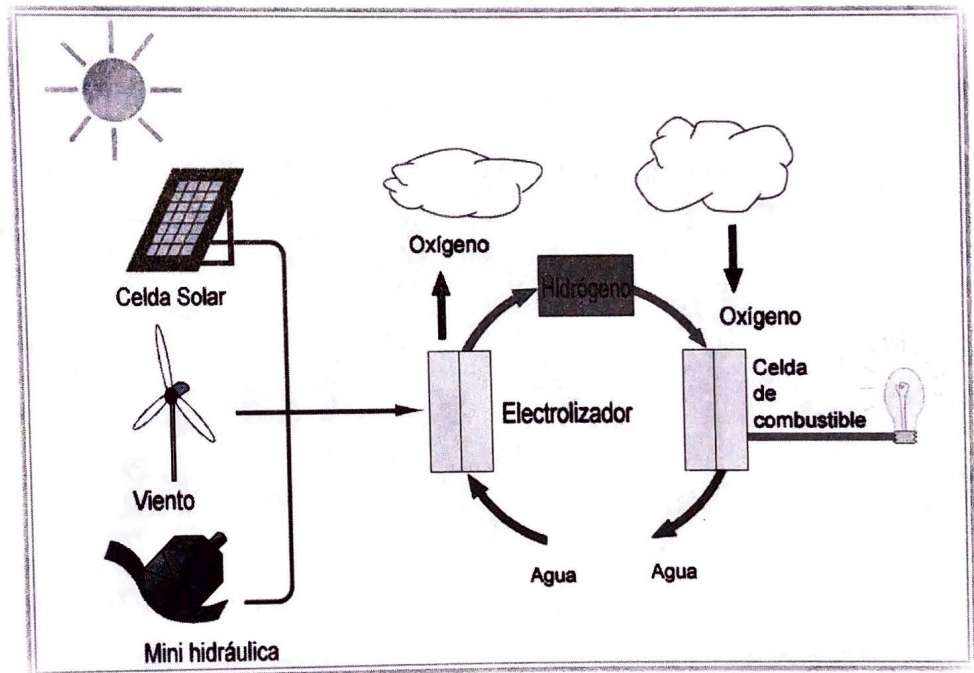
**Proceso de reformación catalítica de hidrocarburos.** Está basado en la descomposición de algún hidrocarburo, el cual fue mezclado previamente con vapor de agua y a una temperatura de aproximadamente 800°C. A este proceso se le conoce también como craqueo (Cracking). Generalmente se utiliza el gas natural o una mezcla de gas propano y gas butano o propano puro como materias primas importantes, adicionalmente al vapor de agua, de los subproductos de esta reacción se produce hidrógeno, pero también se produce monóxido de carbono, compuesto que la tecnología del uso alternativo de fuentes de energía precisamente trata de evitar, por lo tanto este proceso tenderá a desaparecer.

**Electrólisis del agua.** Consiste en separar el hidrógeno y el oxígeno; este proceso consiste en la reacción contraria a la que se lleva a cabo en las celdas de combustible que producen electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno. En cambio la electrólisis requiere de electricidad para poder lograr la reacción química; por medio de una corriente eléctrica se lleva a cabo la disociación de las moléculas de agua en una solución electrolítica, por ejemplo potasa cáustica, sal, álcali o una resina de intercambio protónico. Una ventaja para el aprovechamiento de este gas en las celdas de combustible es que el hidrógeno obtenido de este proceso tiene una pureza de 99.99%, indispensable para el correcto funcionamiento de la membrana de intercambio protónico o de los diferentes electrolitos, también es útil para evitar el envenenamiento por otras sustancias, como óxidos en los electrodos de platino, componentes internos de una celda de combustible.

## FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO

Debido a que los medios directos de obtención -como la electrólisis o la reformación- requieren grandes cantidades de energía eléctrica, pueden combinarse con las fuentes de generación energética renovable basadas en el Sol (tabla 2), para producir electricidad y posteriormente utilizar un electrolizador para disociar el agua. En este caso, el factor entrópico no es relevante, porque la energía renovable estará disponible en todo momento, sea utilizada o no, este fenómeno es explicado con mayor detalle en la figura 1.

**Figura 1.** Energía eléctrica a partir de fuentes renovables. En el pasado, las principales limitantes para el uso de estos medios habían sido su almacenamiento y transporte. Con el uso de un electrolizador, un método para almacenar y transportar hidrógeno y una celda de combustible, la energía de recursos renovables puede ser utilizada donde y cuando sea necesaria, de forma limpia, eficiente y sustentable. (Berry, 2000)



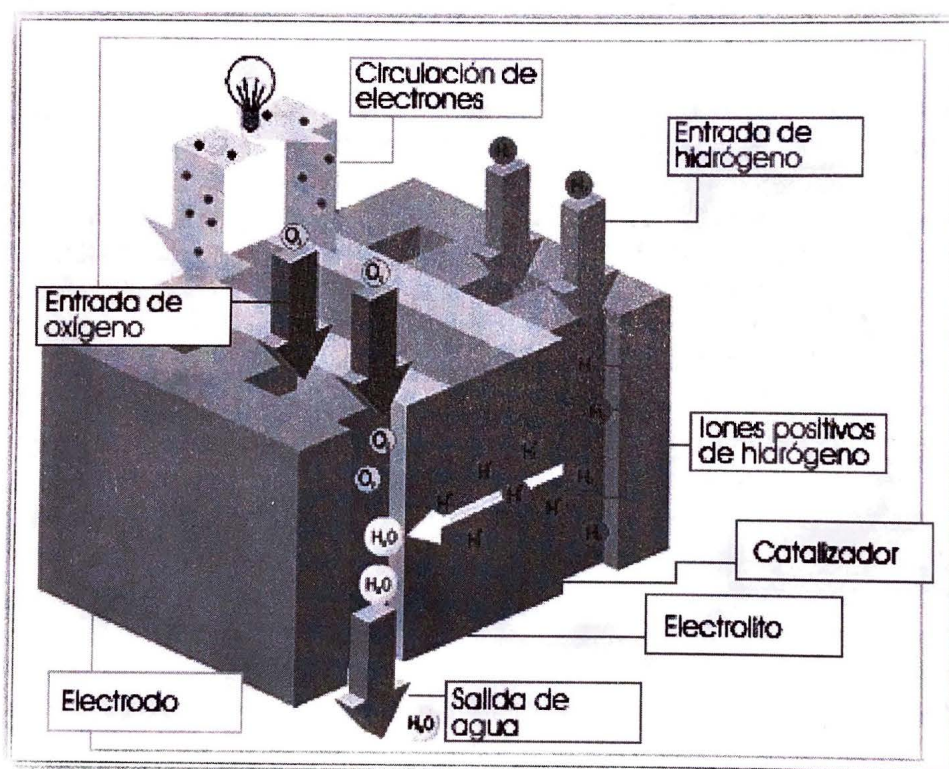
**Celdas de combustible.** También llamadas pilas de combustible por su similitud con las baterías:

(...) son dispositivos electroquímicos que convierten la energía química directamente en energía eléctrica.

La diferencia principal que tienen estas celdas con las baterías convencionales, es que éstas son acumuladores de energía, en las que la máxima energía depende de la cantidad de reactivos químicos almacenados en ellas, dejando de producir energía cuando se consumen dichos reactivos. Las celdas de combustible, por el contrario, son dispositivos que teóricamente tienen la capacidad de producir energía eléctrica de forma indefinida

mientras se suministra combustible y oxidante a los electrodos. Sólo la degradación o el mal funcionamiento de los componentes limitan la vida de operación práctica de las celdas. (Asociación Española de Pilas de Combustible: <http://www.appice.es>)

El principio de funcionamiento en el que se basan las celdas de combustible es el inverso al de la reacción de los dispositivos electrolíticos, encargados de descomponer el agua en hidrógeno y oxígeno; en este caso, ambos gases se combinan para formar agua con producción de energía eléctrica y calor. Se trata, por lo tanto, de una reacción limpia, en la que el único producto es el vapor de agua que puede ser liberado a la atmósfera sin ningún peligro para el medio ambiente; la figura 2 muestra la secuencia de este proceso.



**Figura 2.** Esquema del principio de funcionamiento de una celda de combustible. (Idem)

**Principio de funcionamiento.** La unidad básica de una celda de combustible se denomina "monocelda"; está formada por un apilamiento de dos electrodos porosos con un electrolito sólido o líquido entre ambos.

El hidrógeno ( $H_2$ ) penetra por el electrodo negativo (ánodo) y se disocia en presencia del catalizador en iones positivos  $H^+$  y electrones. El oxígeno ( $O_2$ ) procedente del aire penetra por el electrodo opuesto (cátodo) y se disocia igualmente en presencia del catalizador en iones

de oxígeno. Los iones positivos del hidrógeno se escapan a través del electrolito en dirección al cátodo, dejando a los electrones libres en el ánodo.

Si existe un camino eléctrico entre el ánodo y el cátodo los electrones lo recorrerán, produciendo corriente eléctrica. En el cátodo los iones de hidrógeno, el oxígeno y los electrones se vuelven a combinar para formar moléculas de agua. Además de esta energía eléctrica se produce un importante desprendimiento de energía térmica en forma de calor. (Idem)

**Aplicaciones.** Existen diversas formas de clasificar los tipos de celdas de combustible, pero la más usual es por el tipo de electrolito o membrana que utilizan, dando lugar a su denominación. Según este criterio tendremos celdas de combustible que operan a diferentes temperaturas, las cuales necesitan mayor o menor pureza del hidrógeno suministrado, generan diferentes cantidades de energía eléctrica y son más o menos adecuadas para ciertas aplicaciones. Hay muchos usos para las celdas de combustible, actualmente las grandes empresas de fabricantes de autos están trabajando para comercializar autos con celdas de combustible, así estarán energizando autobuses, barcos, trenes, aviones, scooters, incluso bicicletas (figura 3); como sistemas estacionarios serán utilizadas en los hogares y lugares públicos. Las celdas de combustible miniatura pueden ser una fuente de energía para que los diseñadores puedan aplicarlas en diversos objetos portátiles (figura 4). Los hospitales, las estaciones de policía y bancos, en algunas partes del mundo están usando celdas de combustible para proveer de energía a sus instalaciones, del mismo modo existen plantas de tratamiento de aguas residuales y rellenos sanitarios que convierten el gas metano para generar electricidad. Esta variedad de usos puede clasificarse de la siguiente manera:

**Tabla 2.** Clasificación de las celdas de combustible por el tipo de electrolito utilizado.

**Fuente:** Instituto de de Investigaciones Eléctricas.

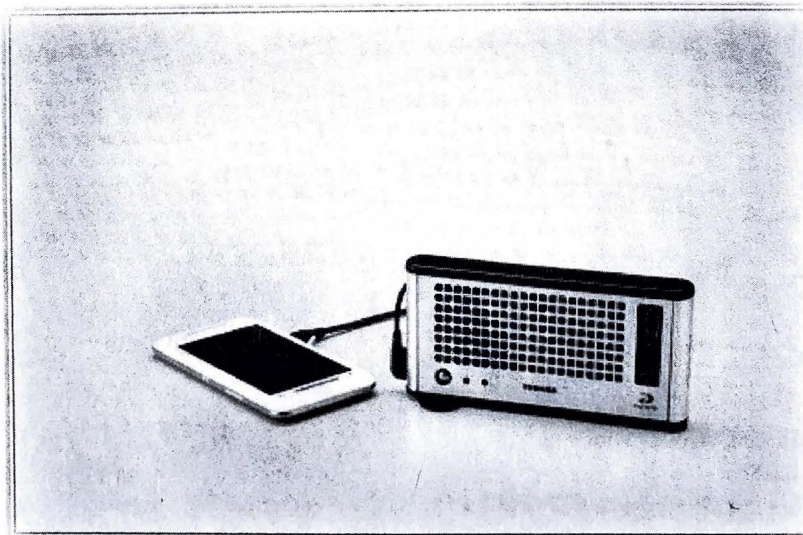
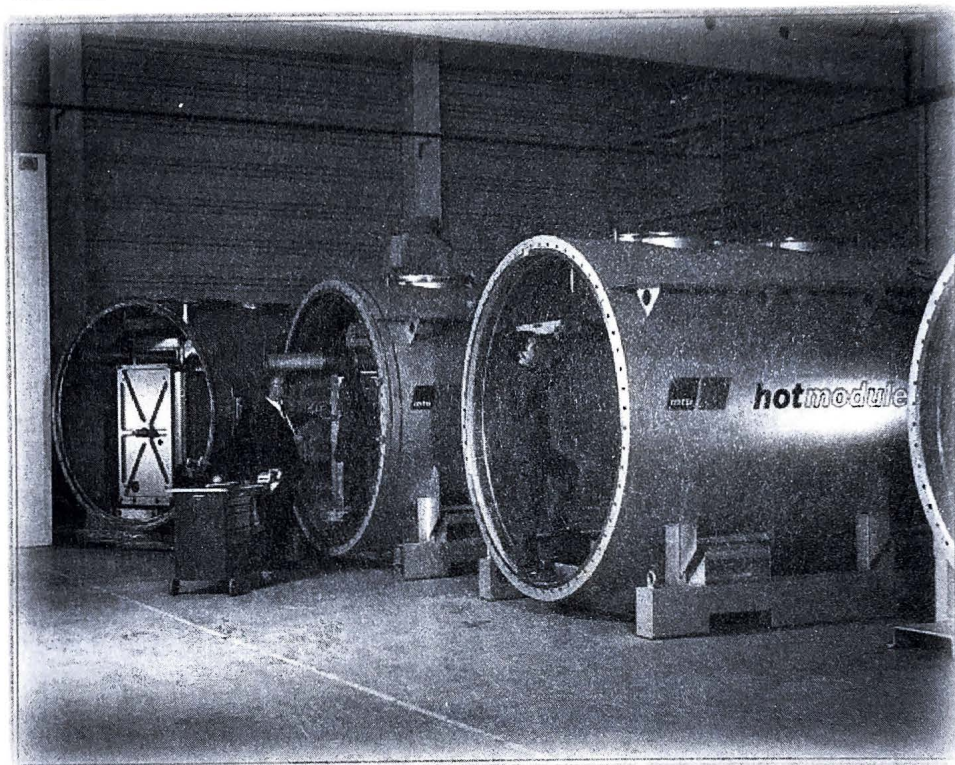
- **Kw:** Kilo watt (1000 watts)
- **Mw:** Mega watt (1,000,000 watts)

| TIPO DE CELDA                     | SIGLAS | NOMBRE (INGLÉS)                      | APLICACIONES                           | CAPACIDAD   |
|-----------------------------------|--------|--------------------------------------|----------------------------------------|-------------|
| Membrana de Intercambio Protónico | PEMFC  | (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) | Portátil, estacionaria doméstica       | -1Kw*       |
| Alcalina                          | AFC    | (Alkaline Fuel Cell )                | Estaciones de trabajo y automotriz     | 1Kw-10Kw    |
| Acido Fosfórico                   | PAFC   | (Phosphoric Acid Fuel Cell)          | Estacionaria, pequeñas comunidades     | 10Kw-250Kw  |
| Carbonatos Fundidos               | MCFC   | (Molten Carbonate Fuel Cell)         | Generación distribuida, uso comercial  | 250Kw-1Mw** |
| Oxidos sólidos                    | SOFC   | (Solid Oxide Fuel Cell)              | Generación distribuida, uso industrial | +1Mw        |
| Metanol Directo                   | DMFC   | Direct Metanol Fuel Cell             | Portátil, estacionaria doméstica       | -1Kw*       |



**Figuras 3, 4 y 5.** Diferentes aplicaciones de celdas de combustible: para energizar transportes (izquierda), dispositivos portátiles (centro) o estacionarias (derecha)

**Fuente:** <http://www.fuelcelltoday.com/reference/image-bank>



## CONCLUSIÓN

De acuerdo con el planteamiento inicial, es posible afirmar que el cambio de paradigma del diseño en materia energética no sólo es posible; es claro que se está gestando al ser una necesidad apremiante. Esta transición entre paradigmas consiste en la reconstrucción de un mundo artificial más amigable con los ecosistemas del planeta, que considere las leyes de la termodinámica para asegurar un espacio habitable para todos los seres vivos sobre el planeta. Los diseñadores tenemos en nuestras manos la poderosa herramienta de la tecnología, la cual -aunada a la creatividad- nos permitirá concebir una nueva metodología basada en diferentes restricciones, demandando el uso responsable de la energía. Si a lo largo del siglo pasado y parte del presente el sistema de los objetos no reconoció límites, es el momento para empezar a considerarlos desde su planeación.

Por primera vez tenemos a nuestro alcance una forma de energía omnipresente llamada "el combustible eterno". El hidrógeno terminará siendo barato como las computadoras personales o los teléfonos celulares. Cuando esto suceda, se abrirá la posibilidad de democratizar verdaderamente la energía y ponerla al alcance de todas las sociedades, como bien asevera Rifkin (2002).

Nos encontramos en un momento crucial y tendremos la oportunidad de ser testigos y partícipes del cambio paradigmático, de la quema de combustibles y su consecuente generación de CO<sub>2</sub>, a la generación energética a partir de los elementos naturales de nuestro entorno, combinado con tecnología que invierte el ciclo (descomponer el agua por medio de la electricidad para después reconvertirla aprovechando la electricidad y calor generados en la reintegración). La innovación tecnológica es el principal actor en este posible cambio, donde la reducción de contaminación y el uso adecuado de la energía que nos provee nuestro entorno natural, nos ofrece la posibilidad de disfrutar de recursos infinitos y dejar de lado la explotación de recursos fósiles para usos más específicos y controlados.

## FUENTES DE CONSULTA

### BIBLIOGRAFÍA

1. Berry, Martin (2000), *Chemistry through hydrogen, clean energy for the future*, Berlín: Heliocentris.
2. Buchanan Richard, "Declaration by Design: Rethoric, Argument, and Demonstration in Design Practice" en Margolin, Victor (1989), *Design discourse*, Chicago: Chicago University.
3. Cook, Brian (2001), *An introduction to fuel cells technology and hydrogen technology*, Vancouver: Heliocentris.
4. De la Peña, Luis (1998), *Energía. Conceptos*, México: Universidad Nacional Autónoma de México / Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades.
5. Jardón, J. J. (1995), *Energía y medio ambiente, una perspectiva económico-social*, México: Plaza y Valdés.
6. Lucerna, Antonio (1998), *Energías alternativas y tradicionales, sus problemas ambientales*, Madrid: Talasa.
7. Rifkin, Jeremy (2002), *La economía del hidrógeno. Cuando se agote el petróleo*, Barcelona: Paidós.
8. Schobert, Harold (2002), *Energy and society, an introduction*, New York: Taylor and Francis.

### INTERNET

1. Asociación Española de Pilas de Combustible: <http://www.appice.es>
2. Crawley, Gema (March 2006), "Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cells": <http://www.fuelcelltoday.com>