

VIII Congreso Nacional de Ciencias  
**Exploraciones fuera y dentro del aula**  
27 y 28 de agosto, 2006 **Universidad Earth**,  
Guácimo, Limón, Costa Rica

## **Hidrógeno y otras fuentes alternativas de energía**

Dra. Grettel Valle Bourrouet

### **Resumen**

La demanda energética cada día mayor y la polución ambiental han hecho que se investigue en nuevas fuentes de energía, en la ponencia se mencionan algunas fuentes de energía alternativas: solar, eólica, biocombustibles: gas natural, etanol y biodiesel. El hidrógeno como posible vector de energía, ya que resulta ser el combustible más limpio, los métodos de producción y su utilización en celdas de combustible.

Palabra clave: hidrógeno, fuentes de energía, celdas de combustible,

## Introducción<sup>1</sup>

El estilo de vida moderno demanda un continuo y confiable suministro de energía, con el nos movilizamos, tenemos una vida confortable y prosperidad. Sin embargo no podemos estar seguros que tendremos este suministro de energía garantizado.

Las fuentes de energía se pueden dividir en tres amplias categorías: la primera que se deriva de la energía química y la energía fotofísica que se desprende a través de una reacción de oxidación o absorbiendo luz solar para generar ya sea calor o electricidad.

La energía involucrada es la de un enlace químico alrededor de 300 J/mol de enlaces.

La segunda involucra reacciones nucleares que desprenden energía al romperse un núcleo atómico. La energía involucrada es del orden de  $1 \times 10^{12}$  J/mol de reacciones nucleares. La tercera fuente es la termomecánica en la forma de viento, agua, fuentes geológicas de vapor o agua caliente. La energía involucrada esta en el ámbito de la decenas de Joul por mol, por ejemplo de agua que cae varias decenas de metros.

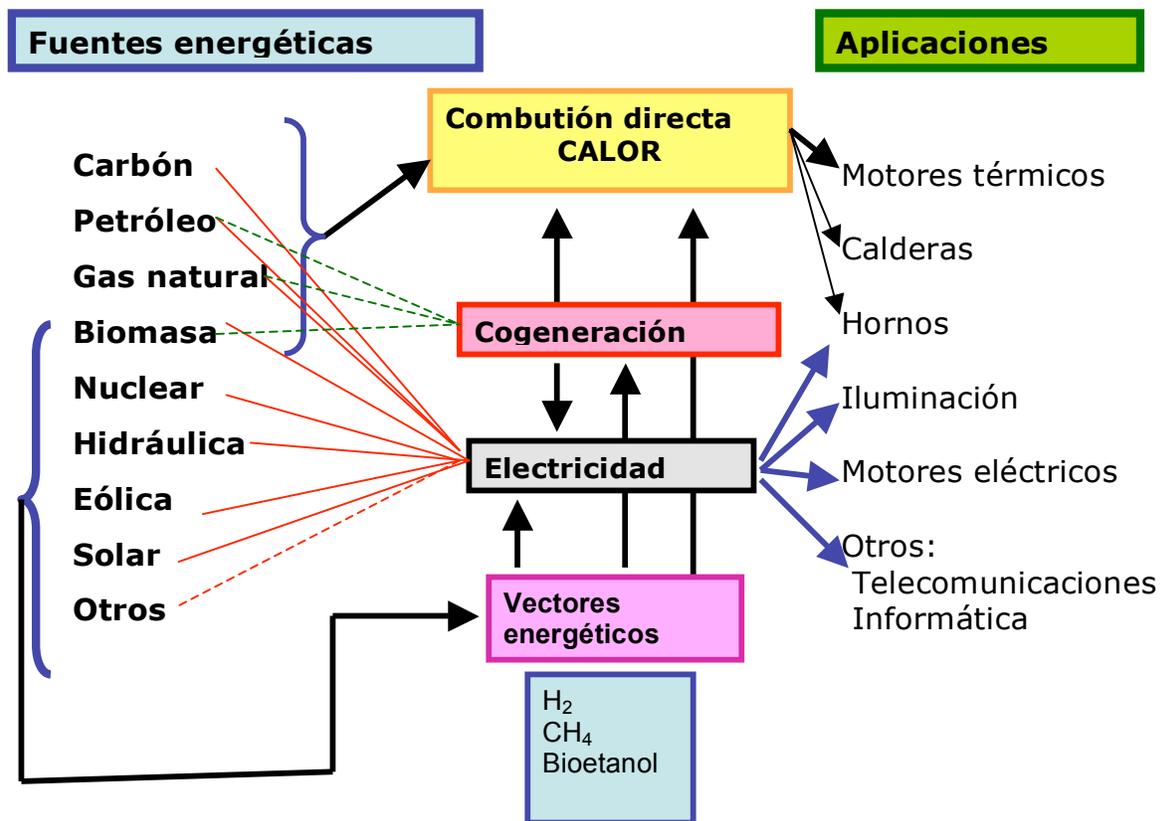
Cada fuente de energía posee algunas características no deseables. Cualquier proceso empleando combustibles fósiles produce dióxido de carbono, y quizás otros contaminantes, tal como óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y ceniza. La plantas nucleares generan productos de fisión radiactivos. Las plantas hidroeléctricas requieren represas y lagos. La energía solar y eólica requiere de áreas extensas y están limitadas geográficamente. La fuentes geotérmicas están limitadas a pocas localidades.

Esta demanda de energía es suplida en la actualidad por combustibles fósiles, en su mayoría, 80%: petróleo, carbón y gas natural y por energía nuclear, y en menor escala otras fuentes de energía: hidroeléctrica, eólica y solar, ver figura 1.

El ser humano esta siendo consciente de la limitación de las actuales fuentes de energía y la polución que estas causan, estas fuentes seguiran siendo importantes en el suministro de energía mundialmente por las próximas pocas generaciones. Si bien existe una disponibilidad de las fuentes de energía, hoy, el consumo mundial de energía es casi el doble del que se registraba a comienzos de los años 70. Según estimaciones de la Agencia Internacional de Energía, con sede en París, hasta el año 2020 aumentará en un tercio más, si no se toman medidas.<sup>1b</sup> La disminución de las reservas de petróleo y carbón irán disminuyendo cada vez más rápido conforme las demandas energéticas aumenten y su precio irá en aumento, lo mismo que las consecuencias

ambientales. Es importante entonces pensar en fuentes alternativas de energía limpia, para mitigar el impacto ambiental que causan las fuentes tradicionales de energía. Dentro de las fuentes alternativas, lo primero que pensaríamos en la energía solar y los biocombustibles, seguidamente en las celdas fotovoltaicas y fotoelectroquímicas y celdas de combustible que empleen hidrógeno. Todas estas fuentes de energía se encuentran en desarrollo.

En este artículo, se discutirá brevemente sobre cada una de estas fuentes de energía, dando un mayor énfasis al hidrógeno como posible vector de energía.



**Figura 1:** Fuentes de energía y su aplicación

### Energía solar<sup>2,3</sup>

La fuente de energía alternativa más obvia es el sol, cuando el sol está perpendicular a una superficie horizontal con un cielo despejado, la radiación es alrededor de  $1 \times 10^3 \text{ Wm}^{-2}$ ; lo que equivale a un bombardeo de  $1.65 \times 10^5 \text{ TW}$  sobre el planeta tierra. Esta

cantidad de energía podría abastecer los requerimientos energéticos de lo aproximadamente 10 billones de habitantes, esperados para finales de este siglo. La energía lumínica puede ser utilizada para calentar, iluminar y generar electricidad. El aprovechamiento directo de la energía del sol se hace de diferentes formas:

**Calentamiento directo:** Se pueden diseñar establecimientos y viviendas, para aprovechar el sol para calentar el ambiente.

**Acumulación del calor solar:** Se hace con paneles o estructuras especiales colocadas en lugares expuestos al sol, como los techos de las casas, en los que se calienta algún



Cocina solar reflexiva de caja abierta.  
<http://solarcooking.org/espanol/newpanel-span.htm>

fluido que almacena el calor en depósitos. Se emplea, mayormente, para calentar agua generando un importante ahorro energético. Otro de los dispositivos utilizados para tal fin se conocen como cocina solares, que son dispositivos concentradores de energía, en Costa Rica se han implementado con éxito en la provincia de guanacaste.<sup>4</sup>

**Generación de electricidad:** La obtención de

electricidad a partir de energía solar se logra por varios métodos: Un sistema indirecto es el llamado sistema termal, en el que la energía solar se usa

para convertir agua en vapor en dispositivos especiales.

En algunos casos se usan espejos cóncavos que concentran el calor sobre tubos que contienen aceite. El aceite alcanza temperaturas de varios cientos de grados y con él se calienta agua hasta ebullición. Con el vapor se genera electricidad en turbinas clásicas. Con algunos dispositivos de estos se consiguen rendimientos de conversión en energía eléctrica del orden del 20% de la energía calorífica que llega a los colectores. La luz del sol se puede convertir directamente en electricidad usando el efecto fotoeléctrico, empleando celdas fotovoltaicas, que



Celda solar: es un elemento eléctrico sensible a la luz que, a partir de ésta, es capaz de producir electricidad.  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_solar\\_fotovoltaica](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_fotovoltaica)

son dispositivos formados por metales sensibles a la luz que desprenden electrones cuando los fotones inciden sobre ellos. Convierten energía luminosa en energía eléctrica. Las celdas fotovoltaicas no tienen rendimientos muy altos. La eficiencia media en la actualidad es de un 10 a un 15%, aunque algunos prototipos experimentales logran eficiencias de hasta el 30%. Por esto se necesitan grandes extensiones si se quiere producir energía en grandes cantidades. Uno de los problemas de la electricidad generada con el sol es que sólo se puede producir durante el día y es difícil y cara para almacenar. Para intentar solucionar este problema se están investigando diferentes tecnologías. Una de ellas usa la electricidad para disociar el agua, por electrólisis, en oxígeno e hidrógeno. Después el hidrógeno se usa como combustible para regenerar agua, produciendo energía por la noche.

### Energía eólica<sup>5, 6</sup>

El control de la energía del viento es uno de los métodos alternativos de generación de energía más prometedores, ya que posee el potencial de generar cantidades sustanciales de energía sin contaminación. En el mundo se generan alrededor de 7000 MW de electricidad a partir de energía eólica. El viento puede emplearse también para hacer



Porterfield-Chickering/Photo Researchers, Inc.

funcionar bombas de agua para almacenar la energía, cargando baterías en regiones remotas o como reservorios de energía fuera de la red eléctrica. La energía eólica se enfrenta a ciertos problemas potenciales y reales que pueden

Generadores de turbina eólica  
<http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Departament%20os/DFyQ/energia/e-3/generado.htm>

obstaculizar su rápida introducción en el mercado mundial de la energía. Los puntos más importantes son los de tipo económico, de integración en la red y los medioambientales: impacto visual, producción de ruido e impacto sobre las aves.

La energía eólica sólo puede entrar en el mercado eléctrico si se produce a un costo competitivo. Los costos de producción de la energía eólica son, todavía, más altos que los de producción de energía a partir de combustibles fósiles. Por consiguiente, es esencial para su competitividad reducir estos costos. Sin embargo, la competitividad de la energía eólica mejoraría notablemente si el cálculo del precio de la electricidad se basara en los costos totales de la misma, es decir, los costos de producción que afectan directamente a la empresa productora más los costos de externalidad que recaen en la sociedad en su conjunto.

El aspecto ambiental más importante es el impacto visual sobre el paisaje. Aunque una gran mayoría de la gente apoya la idea de utilizar energía eólica, muchos se preocupan por el impacto sobre el paisaje. Por esta razón, la construcción de parques eólicos debe considerarse con un cuidado especial al planificar el espacio a nivel local, regional y nacional. La práctica más segura es evitar la instalación de turbinas eólicas en terrenos de alto valor ecológico y construir las plantas de energía eólica en estrecha cooperación con la comunidad local, teniendo en cuenta el uso del terreno existente: agrícola, comercial o recreativo. La creación de plantas de energía eólica en alta mar puede reducir el impacto visual.

### **Biomasa<sup>5,6</sup>**

El término biomasa se refiere a toda materia que puede obtenerse a través de fotosíntesis. La mayoría de las especies vegetales utilizan la energía solar para crear azúcares, partiendo de sustancias simples como el agua y el dióxido de carbono, almacenando esta energía en forma de moléculas de glucosa, almidón, aceite, etc. La biomasa puede ser utilizada directamente como combustible, durante miles de años la madera ha sido utilizada como fuente de calor. En la actualidad algunos residuos vegetales, como el bagazo de la caña, la corteza de arroz son empleados como fuente de calor. Una forma indirecta de obtener energía de la biomasa y convertirla en otros tipos de energía, es utilizar quemadores para producir vapor de agua que pueda mover turbinas. Otra es transformar la biomasa en combustibles líquidos o gaseosos, llamados biocombustibles.

## Biocombustibles<sup>5, 7, 8</sup>

Los biocombustibles son compuestos químicos, producidos a partir de biomasa, como las plantas herbáceas y leñosas, residuos de la agricultura y actividad forestal, y una gran cantidad de desechos industriales, como los desperdicios de la industria alimenticia. Están constituidos principalmente por alcoholes, éteres y ésteres y se generan por procesos fermentativos y otros se extraen directamente de la planta como los aceites.

Entre los biocombustibles podemos incluir al metano, etanol, biodiesel, metanol, y muchos otros. Los dos productos más desarrollados y empleados de esta clase de combustibles son, el biogas, bioetanol y el biodiesel.

La idea de utilizar productos vegetales en el corazón mismo del motor no es ninguna novedad, Rudolf Diesel,<sup>9</sup> utilizó aceite de maní para impulsar uno de sus motores. En el cuadro1 se presentan las posibles fuentes de biocombustibles.

**Cuadro1:** Posibles fuentes de biocombustibles<sup>5</sup>

Biomasa	Fuente	Combustible
Madera / hierba	Plantas leñosas Hierbas perennes Bosque tallar de rotación acalorada	Virutas de madera Metanol, ABE* Carbón vegetal
Almidón	Cereales Yuca Maíz Papa	Etanol, ABE
Azúcar	Caña de azúcar Remolacha Sorgo	Etanol, ABE
Crudo	Colza Girasol Algas Palma	Aceites transesterificados  Aceites
Planta entera	Jacinto de agua Algas	Biogas Uso directo
Bacterias	Cianobacterias	Hidrógeno

\* ABE es la fermentación acetona/butanol/etanol

El biodiesel un combustible producido a partir de materias de base renovables, como los aceites vegetales, que se puede usar en los motores diesel. Químicamente constituyen ésteres de alquilo, de metilo y de etilo, con cadenas largas de ácidos grasos. Estas cadenas, al estar oxigenadas, le otorgan al motor una combustión mucho más limpia. Se encuentra registrado como combustible y como aditivo para combustibles en la Agencia de Protección del Medio Ambiente (Environment Protection Agency (EPA)) en los Estados Unidos. Este éster puede ser producido a partir de distintas fuentes de aceite, tales como, soja, colza, girasol, maní y grasas animales. Este combustible puede utilizarse puro (B100, conocido como “gasoil verde”), o en mezclas de diferentes concentraciones con el diesel de petróleo. La mezcla más utilizada en nuestros días es al 20%, es decir 20 partes de éter vegetal y 80 partes de petrodiesel. Cuando es utilizado como aditivo, sus concentraciones normalmente no superan el 5%.

El etanol ha llegado a ser un buen combustible para motores de gasolina, pueden funcionar hasta en una proporción etanol/gasolina 20:80. Las propiedades del etanol son parecidas a la de la gasolina. En el siguiente cuadro se presenta estas características.

**Cuadro 2:** Comparación de las características de la gasolina y el etanol

<b>Características</b>	<b>Etanol</b>	<b>Gasolina</b>
Punto de ebullición, °C	78	35-200
Densidad, kg/l	0,79	0,74
Energía total, Mj/kg	27,2	44,0
Calor latente de evaporación, Mj/kg	855	293
Temperatura de inflamabilidad, °C	45	13
Octanaje	99	90-100

Se puede pensar que quemar este tipo de combustibles es también una fuente de contaminación, principalmente por la producción de CO<sub>2</sub>, sin embargo este dióxido de carbono fue tomado por la planta del mismo CO<sub>2</sub> de la atmósfera, de manera que se cierra un ciclo.

## Hidrógeno<sup>5, 12, 13, 14, 15</sup>

Entre las fuentes alternativas de energía, el hidrógeno, se presenta como uno de los candidatos ideales porque a diferencia de los combustibles fósiles o los biocombustibles, el único producto de combustión es el agua, haciéndolo un combustible muy limpio. Las posibles aplicaciones del hidrógeno son: empleo en equipos de combustión para generación combinada de calor y electricidad, utilización en pilas de combustible para propulsión eléctrica en el transporte, generación de electricidad, entre otras.

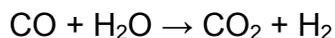
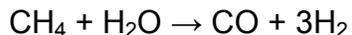
El hidrógeno es el átomo más ligero y simple de todos los elementos químicos, con número atómico 1 y peso atómico 1.00794 g/mol. Fue descubierto en 1776 por el químico y físico inglés Henry Cavendish al que bautizó como aire inflamable.

Finalmente fue el químico francés Antoine Laurent de Lavoisier quien le dio el nombre de hidrógeno.

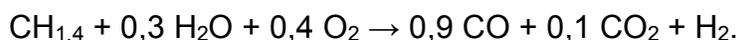
El hidrógeno a pesar de ser el elemento más abundante en el universo, no es un recurso natural y debe obtenerse a partir de otras materias primas (agua, biomasa, combustibles fósiles). Debe tenerse claro que el hidrógeno, al igual que la electricidad, es un vector (carrier) de energía, y como tal debe ser producido de una fuente natural. A continuación se discuten algunos métodos en los que se ha estado investigando para la producción de hidrógeno, ninguno de ellos hasta el momento es altamente eficiente.

**Reformado con vapor (steam reforming):** Con este procedimiento el hidrógeno se obtiene a partir de hidrocarburos, fundamentalmente del gas natural. El principal componente del gas natural es metano  $\text{CH}_4$  y la reacción consiste básicamente en separar el carbono del hidrógeno. El proceso tiene lugar en dos etapas: En la fase inicial, el gas natural se convierte en hidrógeno, dióxido de carbono y monóxido de carbono. La segunda etapa consiste en producir hidrógeno adicional y dióxido de carbono a partir del monóxido de carbono producido durante la primera etapa. El monóxido de carbono es tratado con una corriente de vapor a alta temperatura produciéndose hidrógeno y dióxido de carbono. El hidrógeno producido, se almacena en tanques. La mayoría del hidrógeno empleado por la industria petroquímica se genera

de esta manera. El proceso tiene una eficiencia entre el 70 y el 90%. A continuación se muestran las reacciones químicas producidas durante el proceso:



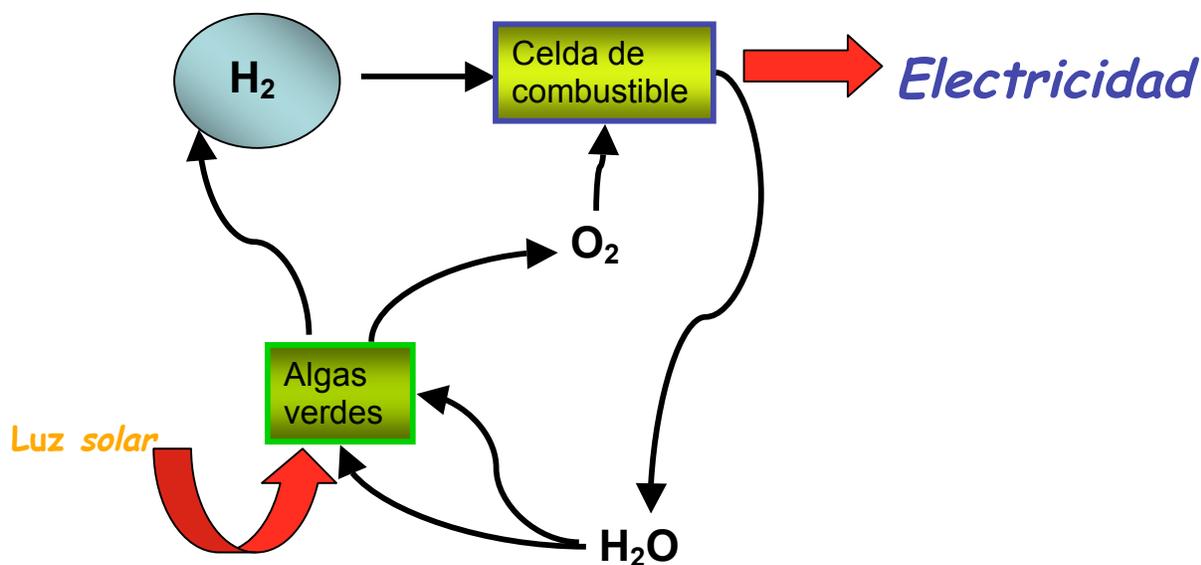
**Oxidación parcial de combustibles fósiles con defecto de O<sub>2</sub>:** Se obtiene una mezcla de hidrógeno que posteriormente se purifica. Las cantidades de oxígeno y vapor de agua son controladas para que la gasificación continúe sin necesidad de aporte de energía. La siguiente reacción global representa el proceso:



**Electrólisis del agua:** El paso de la corriente eléctrica a través del agua, produce una disociación entre el hidrógeno y el oxígeno, componentes de la molécula del agua H<sub>2</sub>O. El hidrógeno se recoge en el cátodo (polo cargado negativamente) y el oxígeno en el ánodo. El proceso es mucho más caro que el reformado con vapor, pero produce hidrógeno de gran pureza. Este hidrógeno se utiliza en la industria electrónica, farmacéutica o alimentaria.



**Producción fotobiológica:** Por ejemplo, la cianobacteria y las algas verdes pueden producir hidrógeno, utilizando únicamente luz solar, agua e hidrogenasa como una enzima. Actualmente, esta tecnología está en periodo de investigación y desarrollo con eficiencias de conversión estimadas superiores al 24%. Se han identificado más de 400 variedades de plantas primitivas candidatas para producir hidrógeno. En la figura 3 se describe la ruta de producir hidrógeno a partir de algas y su utilización directa en una celda de combustible. La producción de biohidrógeno, como se denomina al hidrógeno producido de esta forma, es bastante prometedor, ya que permitiría producir hidrógeno, en lugares en los que sea difícil obtener energía eléctrica por otras fuentes.



**Figura 3:** Diagrama de flujo de la producción de hidrógeno con algas y su utilización en electricidad

### Producción de hidrógeno a bordo del vehículo

A partir de metanol como combustible, para su consumo in situ parece ser la alternativa más idónea. El hidrógeno puede obtenerse por tres vías catalíticas diferentes:

oxidación parcial con oxígeno o aire:  $\text{CH}_3\text{OH} + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2$

reformado con vapor de agua:  $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 3 \text{H}_2$

descomposición:  $\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CO} + 2 \text{H}_2$ .

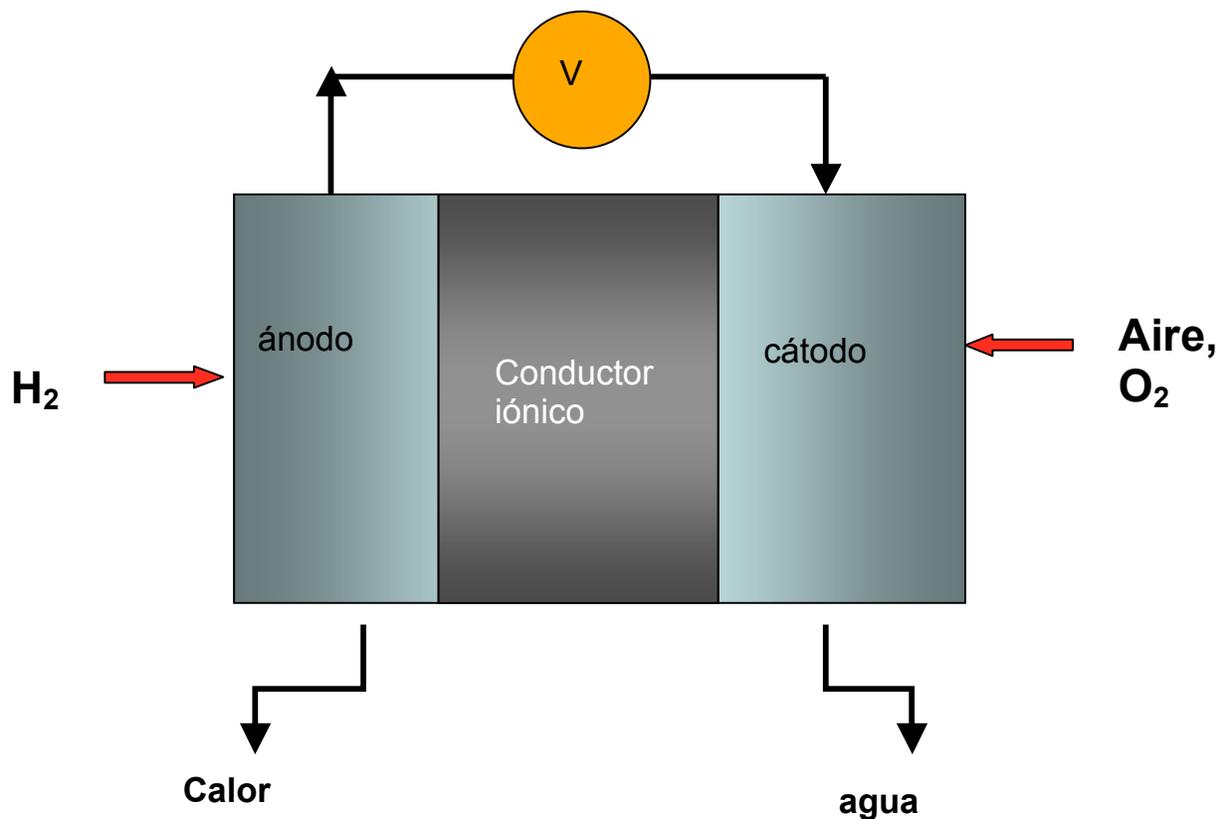
De estas tres alternativas, la oxidación parcial ofrece algunas ventajas claras con respecto al reformado con vapor en cuanto que utiliza aire en vez de vapor y es una reacción exotérmica por lo que no requiere un aporte de energía externa durante la operación. Estas ventajas se contrarrestan con la producción de una cantidad de hidrógeno menor. Producción de hidrógeno a bordo del vehículo, a partir de etanol como combustible, donde se produce la siguiente reacción:



Para este caso se produce monóxido de carbono, el cual es un veneno de la membrana de intercambio de protones de las pilas de combustible.

### Celdas de combustible<sup>16,17</sup>

La forma más adecuada de utilizar el hidrógeno como combustible es a través de las celdas de combustible, que es un dispositivo electroquímico que convierte la energía química de una reacción directamente en energía eléctrica. Por ejemplo, puede generar electricidad combinando hidrógeno y oxígeno electroquímicamente sin ninguna combustión. Estas celdas no se agotan como lo haría una batería, ni precisan de recarga, ya que producirán energía en tanto se le provea de combustible. En la práctica el desgaste de los materiales y la corrosión pueden afectar la vida útil. La manera en que operan es mediante una celda electroquímica consistente en dos electrodos, un ánodo y un cátodo, separados por un electrólito. En el ánodo el hidrógeno que entra en la celda es oxidado a  $H^+$ , produciendo electrones que se dirigen al cátodo, aquí estos electrones los recibe el oxígeno que se reduce a  $O^-$ . El hidrógeno oxidado también migra hacia el cátodo pero a través de el conductor iónico, ahí ambas especies se combinan produciendo agua. De esta manera se produce electricidad y calor.



**Figura 4.** Diagrama de operación de una celda de combustible

Los diversos tipos de celdas de combustibles se describen a continuación.

**Ácido fosfórico (PAFCs).** Este es el tipo de celda de combustible más desarrollado a nivel comercial y ya se encuentra en uso en aplicaciones tan diversas como clínicas y hospitales, hoteles, edificios de oficinas, escuelas, plantas eléctricas y una terminal aeroportuaria. Las Celdas de Combustible de ácido fosfórico generan electricidad a más del 40% de eficiencia – y cerca del 85% si el vapor que ésta produce es empleado en cogeneración – comparado con el 30% de la más eficiente máquina de combustión interna. Las temperaturas de operación se encuentran en el rango de los 400F. Este tipo de celdas pueden ser usadas en vehículos grandes tales como autobuses y locomotoras.

**Polímero Sólido ó Membrana de Intercambio Protónico (PEM).** Estas celdas operan a relativamente bajas temperaturas (unos 200F), tienen una densidad de potencia alta, pueden variar su salida rápidamente para satisfacer cambios en la demanda de potencia y son adecuadas para aplicaciones donde se requiere una demanda inicial rápida, tal como en el caso de automóviles.

**Carbonato Fundido (MCFCs).** Las Celdas de Combustible de Carbonato Fundido prometen altas eficiencias combustible-electricidad y la habilidad para consumir combustibles base carbón. Esta celda opera a temperaturas del orden de los 650 °C. La primera pila de carbonato fundido a gran escala ha sido ya probada y algunas unidades para demostración están siendo terminadas para su prueba en California en 1996.

**Óxido Sólido (SOFCs).** Otra Celda de Combustible altamente prometedora, la Celda de Combustible de Óxido Sólido, podría ser usada en aplicaciones grandes de alta potencia incluyendo estaciones de generación de energía eléctrica a gran escala e industrial. Algunas organizaciones que desarrollan este tipo de celdas de combustible también prevén el uso de estas en vehículos motores. Una prueba de 100kW está siendo terminada en Europa mientras que dos pequeñas unidades de 25kW se encuentran ya en línea en Japón. Un sistema de Óxido Sólido normalmente utiliza un material duro cerámico en lugar de un electrólito líquido permitiendo que la temperatura de operación alcance los 1000°C. Las eficiencias de generación de potencia pueden

alcanzar un 60%. Un tipo de Celda de Combustible de Óxido Sólido utiliza un arreglo de tubos de un metro de longitud mientras que otras variaciones incluyen un disco comprimido semejando la parte superior de una lata de sopa.

**Alcalinas.** Utilizadas desde hace mucho tiempo por la NASA en misiones espaciales, este tipo de celdas pueden alcanzar eficiencias de generación eléctrica de hasta 70%. Estas celdas utilizan hidróxido de potasio como electrólito. Hasta hace poco tiempo eran demasiado costosas para aplicaciones comerciales pero varias compañías están examinando formas de reducir estos costos y mejorar la flexibilidad en su operación.

### Almacenamiento<sup>3</sup>

La utilización futura a gran escala del hidrógeno dependerá de la factibilidad para almacenarlo. El almacenamiento del hidrógeno es un problema debido a su baja densidad volumétrica, que se genera de su baja compresibilidad. Para efectos práctica , por ejemplo en los medios de transporte, se requiere de un tanque de dimensiones razonables y de un peso adecuado. Se está realizando una investigación intensiva en esté campo, en áreas como son los nuevos materiales, la nano tecnología y el almacenamiento basado en hidruros metálicos.

### Conclusión

La necesidad de nuevos combustibles o fuentes de energía es clara, si bien es cierto las reservas de combustibles fósiles alcanzan para una pocas generaciones, al final serán necesarias fuentes alternativas. Podríamos resumir diciendo que se necesitan fuentes para generar energía eléctrica y un combustible para locomoción. También hay que tomar en cuenta el factor ambiental, principalmente en la eliminación de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos. Se han discutido una sería de fuentes alternativas de producción de energía, la mayoría generan recursos limpios o su impacto no es tan grande. A pesar de que el hidrógeno aparentemente sería el combustible ideal, su utilización masiva esta lejos. No se trata, solo, de encontrar nuevas fuentes de energía, sino también pensar en la transición tecnológica que se debe dar para su eficiente aprovechamiento, lo que tiene un costo económico extraordinario. Por esta razón puede que esta transformación se de muy lentamente.

Entonces en el momento actual debemos crear una mayor conciencia en el uso racional de la energía y la necesidad de apoyar la investigación orientada hacia la búsqueda de nuevas formas limpias de producir energía.

## Bibliografía

- 1.a. M.S. Dresselhaus, I.L.Thomas, *Nature*, **2001**, *441*, 332.
- b. International Energy Agency, key World Statistics, **2005**,  
<http://www.uhu.es/mreyes.sanchez/FAE/key2005.pdf>. (consultado julio 2006)
2. L. Echarri Prim. Libro electrónico, *Ciencias de la tierra y del medio ambiente*,  
<http://www.tecnun.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/07Energ/150Ensolar.htm>. (consultado julio 2006)
3. M.S. Dresselhaus, G.W. Carbtree, M.V. Buchanan, Adressing grand energy challenges throught advanced materials, *MRS Bulletin*, **2005**, *30*, 518.
4. N. Méndez, Sol de vida y la red solar, Guanacaste agosto 2001. [www.nu.or.cr/gef/pdf/periodo-2003/Sistematizacion-cocinas-solares.pdf](http://www.nu.or.cr/gef/pdf/periodo-2003/Sistematizacion-cocinas-solares.pdf) (consultado agosto 2006)
5. Biomasse, [http://www.umwelt.niedersachsen.de/master/C637538\\_N11458\\_L20\\_D0\\_I598.html](http://www.umwelt.niedersachsen.de/master/C637538_N11458_L20_D0_I598.html) y <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/4593/>
- 7.A. Scrag, *Bioteología Medioambiental*, Editorial Acriba, S.A. Zaragoza, 1999.
8. ¿Qué es la energía eólica?  
[http://www2.ing.puc.cl/power/alumno03/alternativa.htm#\\_¿Que\\_es\\_la\\_energía\\_eolica?](http://www2.ing.puc.cl/power/alumno03/alternativa.htm#_¿Que_es_la_energía_eolica?). (consultado agosto de 2006).
9. J. Stratta, Biocombustibles: los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel.  
<http://www.bcr.com.ar/pagcentrales/publicaciones/images/pdf/BIOCOMBUSTIBLES.PDF>
10. De la biomasa al hidrógeno y al biodiesel.  
<http://www.demoprogresista.org.ar/.../nuevos/De%20la%20biomasa%20al%20hidr%F3geno-biodiesel-hidr%F3geno.doc>. (consultado agosto 2006).
11. Rudolf Diesel, <http://es.geocities.com/fisicas/cientificos/ingenieros/diesel.htm>.
12. D. Luna Moreno, D. Monzón Hernández, Hidrógeno una fuente alternativa de energía.  
<http://www.cio.mx/CIO/fotos%20articulos/Art.%20web%20abril.doc>. (consultado agosto 2006)
13. J.L.G. Fierro, L. Gómez, M.-A. Peña Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, CSIC,  
<http://www.icp.csic.es/cyted/Monografias/Monografias2001/A4-157.pdf>. (consultado agosto 2006)
14. D. L. Trim, Z. I. Önsam, *Catalysis Reviews*, **2001**, *43*, 31.
15. F. Chui, A. Elkamel, M. Fowler, "An Integrated decision support framework for the assessment and analysis of hydrogen production pathways". *Energy & Fuels*, **2006**, *20*, 346.
16. J. Larminie, "A. Dicks Fuel Cell Systems Explained", John Wiley & Sons. Chichester: England 2000.
17. S. C: Singhal, K. Kendall, Introduction to SOFCs, in High temperature Solid Oxide Fuel Cells: Fundamentals, Design and Aplications, Elsevier, Oxford, UK, 2003.