



**ECOLOGÍA CONTRA ECONOMÍA:
¿ES EL BIOHIDRÓGENO EL COMBUSTIBLE DEL FUTURO?**

Rodrigo Patiño

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados - Unidad Mérida. Departamento de Física Aplicada.
Apartado Postal 73 Cordemex, 97310 Mérida, Yucatán, México

¹Tel (999)942-9438, Fax (999)981-2917, rtarkus@mda.cinvestav.mx

RESUMEN

En este trabajo se presenta una revisión bibliográfica acerca de las distintas metodologías desarrolladas en investigación científica para producir hidrógeno. Los procesos actuales por los que se obtiene hidrógeno comercial son completamente insostenibles en cuanto a la utilización de recursos naturales y deterioro del medio ambiente. En los últimos años se han propuesto distintos bioprocesos como alternativas medioambientalmente limpias para la producción del combustible gaseoso, pero aún no se llega a obtener un balance entre los costos y los rendimientos de producción. Se hace entonces un análisis comparativo de los distintos métodos de obtención de hidrógeno, de las limitantes presentes y las perspectivas futuras para cada uno de ellos. También se hace una profunda reflexión acerca del reto y la orientación que deben tener las investigaciones científicas y tecnológicas para proponer al hidrógeno (o al biohidrógeno) como el combustible que deba sustituir a los combustibles fósiles durante el transcurso del siglo XXI, incluyendo no sólo su producción, sino también los mecanismos de almacenamiento y de transformación energética.

1.- Introducción

El interés por el hidrógeno como combustible ha crecido notablemente en las dos últimas décadas. En la Figura 1 se presentan las cifras correspondientes a reportes científicos encontrados sobre hidrógeno desde 1990, desglosando los intereses específicos en producción, almacenamiento y conversión de hidrógeno como fuente de energía. Puede observarse que el número anual de reportes se ha duplicado en 20 años, pero también que de esas publicaciones el porcentaje dedicado a temas energéticos ha aumentado a más del 20%, con especial interés en el almacenamiento.

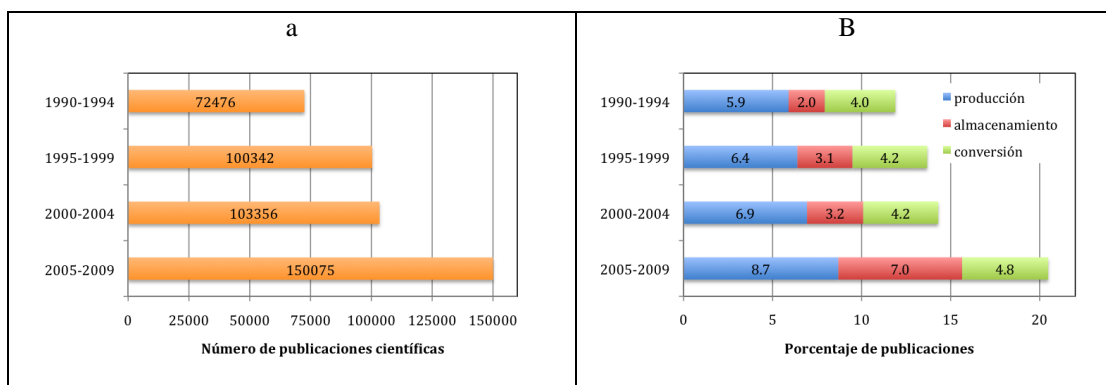


Figura 1. (a) Publicaciones científicas desde 1990 y relacionadas con el hidrógeno, de acuerdo con una búsqueda en el ISI Web of Knowledge (Thomson Reuters) en julio de 2009. (b) Porcentaje de estas publicaciones dedicadas a la producción, el almacenamiento y la conversión del hidrógeno.

El hidrógeno es, sin duda, un combustible atractivo para sustituir a los combustibles fósiles debido a su gran abundancia en el Universo y en forma de agua en la Tierra, así como a la limpieza medioambiental de su combustión para liberar energía. Se han desarrollado numerosos prototipos que utilizan el hidrógeno como combustible, principalmente para transportación y sistemas portátiles, pero en especial sus métodos de producción son incosteables, tanto económicamente como desde el punto de vista ecológico.¹ Aún en nuestros días de crisis petrolera y económica mundiales, el hidrógeno no se puede vislumbrar todavía como un combustible alternativo. Debe de desarrollarse mucha investigación científica y tecnológica antes de anunciar de manera futurista la sostenibilidad de los procesos involucrados en su aplicación como fuente de energía. En este trabajo se hace una revisión de la bibliografía reciente que resalta los retos que deben cubrir las investigaciones en cuanto a la producción de hidrógeno como combustible alternativo.



2.- ¿Cómo se produce hidrógeno actualmente?

La producción anual de hidrógeno en el mundo es de aproximadamente 45 millones de toneladas, lo que representa apenas un 2% de la demanda energética primaria.² En nuestros días, la producción industrial de hidrógeno está basada principalmente en el método catalítico de reformado de vapor (*steam reforming*) a partir de vapor de agua y gas natural.^{1,3} Este último insumo está compuesto principalmente por metano (CH_4) y tiene un bajo costo en la actualidad, sin embargo, es un combustible fósil que durante el proceso libera dióxido de carbono (CO_2). Se estima que el 48% de la producción mundial de hidrógeno proviene de esta fuente, con un costo final del hidrógeno que duplica el valor inicial de la materia prima.^{2,4} Ciertamente este precio final no es conveniente desde el punto de vista económico y depende directamente del precio del gas natural, además que se debe invertir también en un proceso que requiere altas temperaturas. Aunque se produce al menos la misma cantidad de CO_2 que la combustión directa del combustible fósil, este gas de efecto invernadero puede ser capturado, pero incrementando más de un 25% el costo de producción de hidrógeno.

El mismo método de reformado se puede emplear utilizando petróleo como materia prima, aunque los procesos son más complejos y los costos de producción se elevan. No obstante, un 30% de la producción mundial de hidrógeno está basada en la transformación de petróleo. Otro 18% de esta producción proviene del método de gasificación de carbón en presencia de oxígeno.^{2,4} A pesar del bajo costo de la materia prima, este proceso también emplea un combustible fósil y requiere de elevadas temperaturas, lo que incrementa nuevamente los costos económicos (tres veces el valor del carbón) y ecológicos de la producción de hidrógeno. De este modo, el 96% de la producción mundial de hidrógeno utiliza combustibles fósiles, el 4% restante proviene de la electrólisis directa de agua. Este método, basado en la experiencia que tuvo Faraday hace casi dos siglos, produce hidrógeno de alta pureza pero requiere de energía eléctrica y depende directamente de la fuente y el costo de este suministro.

En la Tabla I se muestra un resumen de los métodos conocidos para la producción de hidrógeno, incluyendo los comerciales que se han descrito y otros aún no desarrollados a nivel industrial, remarcando una comparación en cuanto al uso de materias primas requeridas, los costos de producción y las consecuencias ambientales implicadas.

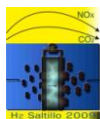
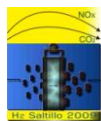


Tabla I. Comparación de métodos para la producción de hidrógeno a distintas escalas^{1,4}

Métodos	Materias primas	Costos de producción US\$.GJ ⁻¹	Consecuencias ambientales
Reformado de vapor	Gas natural + Agua + Δ Petróleo + Agua + Δ	6-40	Uso de combustibles fósiles Producción de CO ₂ Requerimientos de altas temperaturas
Gasificación	Carbón + Agua + Δ Biomasa + Agua + Δ	10-12	
Oxidación parcial	Metano + Oxígeno + Δ Petróleo + Oxígeno + Δ	8	
Descomposición directa de agua	Agua + Δ	-	-
Electrólisis	Agua + Electricidad	16-100	Depende de la fuente de donde se obtiene la electricidad
Fotólisis	Agua + Luz	-	-
Procesos biológicos	Células Células fotosintéticas + Luz	31-460	Producción de fertilizantes y posible captación de CO ₂

Pilavachi y colaboradores⁵ establecieron un análisis jerárquico de siete distintos procesos posibles para producir hidrógeno basándose en dos criterios principales: emisiones de CO₂ y costos de producción de hidrógeno, además de los costos de capital, de los insumos y de mantenimiento y operación. De los análisis se encontró una preferencia por los procesos electrolíticos que utilizan fuentes renovables de energía (sistemas solares fotovoltaicos, eólicos y, sobre todo, hidroeléctricos), mientras que los métodos convencionales como el reformado de vapor y la gasificación tienen las peores evaluaciones. Sin embargo, como lo indican Barelli y colaboradores³, la tecnología actual basada en el reformado de vapor debe tomarse por el momento como base de implementaciones en cuestiones como la separación de hidrógeno y la captura de carbono durante el proceso. Las escalas de producción también pueden adecuarse a las necesidades de distribución con el objetivo de reducir los costos del hidrógeno producido.

3.- ¿Cómo debe producirse hidrógeno en el futuro?



Se han propuesto algunas directrices que deben considerarse en la producción de hidrógeno sostenible ambientalmente^{4,6}. Por ejemplo, el uso de biomasa subutilizada en la región de producción puede mejorar, por mucho, el actual proceso de gasificación de carbón que actualmente se utiliza. También se hace énfasis en la captura de CO₂ durante los procesos, que no sólo contrarrestan los efectos que resiente el globo terráqueo, sino que además permiten la obtención de hidrógeno más puro.⁷ En este tenor, se ha hecho mucho trabajo utilizando membranas de intercambio³ o el óxido de calcio como secuestrador de CO₂ para formar carbonatos⁶, pero aún es necesario hacer muchas investigación para la implementación de métodos más eficientes.

Las investigaciones sobre la fermentación microbiana para la producción de biohidrógeno indican que ésta es actualmente un proceso de altos costos, no sólo económicos sino también ambientales, con bajos rendimientos por sustrato y con inhibición por acumulación del producto.⁸ Las actuales experiencias que se tienen para la producción comercial de bioetanol y biodiesel, servirán de base para afinar la dirección hacia trabajos que busquen procesos sostenibles a largo plazo en la producción fermentativa de biohidrógeno. Las guías principales que se sugieren para el futuro en la investigación de estos procesos incluyen estudios para la comprensión de los mecanismos metabólicos de las bacterias para la producción de hidrógeno y el uso de herramientas como la ingeniería genética o el modelado computacional para orientar los esfuerzos en procesos prometedores, además de la búsqueda de materias primas que no compitan con las utilizadas en la alimentación y, mayormente, que sean residuales de otras actividades comerciales.

Por otro lado, los sistemas microbianos fotosintéticos (cianobacterias y microalgas) para la producción de biohidrógeno apuntan hacia metodologías altamente sostenibles en cuanto a la producción de hidrógeno, como son el uso de la energía solar, el consumo de CO₂ para la fotosíntesis y la ausencia de competencia con los sistemas de producción agrícola para alimentación.⁹ No obstante, los rendimientos de producción de microalgas y, sobre todo, los de inducción metabólica para la formación de biohidrógeno, son muy limitados a pesar de que se conocen suficientemente los mecanismos celulares implicados.¹⁰ El diseño de fotobiorreactores juega un papel muy importante en el desarrollo de bioprocesos que dependen de la iluminación así como la ingeniería genética para favorecer rutas metabólicas adecuadas a las necesidades de producción de biomasa y biohidrógeno.

Los modelos económicos son también herramientas útiles que permiten proyectar comportamientos futuros a través de distintos escenarios como consecuencia de diversos indicadores que incluyen costos de sistemas



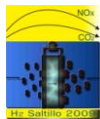
energéticos, suministros de consumo regional, servicios locales de energía y transportación, movilidad personal e impacto ambiental.¹¹ Las políticas actuales y futuras sobre cambio climático también pueden ser consideradas en estos modelos, y parecen indicar una tendencia a reducir el consumo de energía, lo que podría evitar la necesidad de desplegar costosas tecnologías para la producción de energía.

En este tenor, antes de llegar a una economía energética basada en el hidrógeno, se sugiere una ruta de transición a corto y mediano plazo que reduzca el consumo energético mundial e implemente el desarrollo y la implementación de producción de energía (incluyendo la producción de hidrógeno) por métodos que secuestran CO₂ o, mejor aún, que disminuyen el CO₂ de la atmósfera.⁷ Aún con la reducción de las necesidades energéticas en el mundo, la energía nuclear y las llamadas energías renovables deberán jugar un papel muy importante en esta transición hacia la “descarbonización” de las fuentes primarias de energía. Ciertamente, la captura y el almacenamiento de CO₂ juegan un papel importante en la economía del hidrógeno a corto plazo, pues esta práctica es en sí una gran industria comercial que ha sido útil en las dos últimas décadas.¹²

En resumen, la palabra sostenible juega un papel muy importante en el desarrollo de las investigaciones en los años venideros para proponer metodologías innovadoras de producción de hidrógeno. Aplicado a un proceso, el adjetivo sostenible indica que puede mantenerse por sí mismo, sin ayudas externas ni merma de los recursos existentes. Esto implica que deben considerarse factores como un consumo mínimo de energía, costos bajos y larga durabilidad, un impacto ambiental nulo y una transferencia tecnológica sencilla que ayude al desarrollo social de la región y utilice los recursos locales existentes.

4.- Conclusiones

El hidrógeno se ha postulado como el combustible que reemplazará el uso de los combustibles fósiles que se han venido utilizando masivamente en el último siglo como fuente energética mundial. Sin embargo, la transición se vislumbra como un proceso a largo plazo que deberá incluir pasos intermedios, desde los actuales métodos de producción de hidrógeno altamente costosos económica y ecológicamente, hasta nuevas tecnologías medioambientalmente limpias que utilizan recursos regionales y renovables. La investigación científica y tecnológica de las próximas décadas deberá considerar estos lineamientos, además del factor económico, lo que representa un gran reto para la comunidad científica, la industria y la sociedad mundial.



5.- Agradecimientos

El autor agradece el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt-México) y del Gobierno del Estado de Yucatán para el desarrollo del proyecto “Generación de hidrógeno por microalgas cultivadas en biorreactores al aire libre: una fuente alternativa de energía para comunidades rurales”.

6.- Referencias

-
- ¹ B. Sorensen, *Hydrogen and Fuel Cells: Emerging technologies and applications*, Elsevier, San Diego (2005).
 - ² M. Balat, *International Journal of Hydrogen Energy* 33 (2008) 4013.
 - ³ L. Barelli, G. Bidini, F. Gallorini y S. Servili, *Energy* 33 (2008) 554.
 - ⁴ M. Balat y M. Balat, *International Journal of Hydrogen Energy* 34 (2009) 3589.
 - ⁵ P.A. Pilavachi, A.I. Chatzipanagi y A.I. Spyropoulou, *International Journal of Hydrogen Energy* 34 (2009) 5294.
 - ⁶ N. H. Florin y A.T. Harris, *Chemical Engineering Science* 63 (2008), 287.
 - ⁷ N.Z. Muradov, T.N. Veziroglu, *International Journal of Hydrogen Energy* 33 (2008) 6804.
 - ⁸ P.R. Jones, *International Journal of Hydrogen Energy* 33 (2008), 5122.
 - ⁹ J. Rupprecht, B. Hankamer, J.H. Mussnug, G. Ananyev, C. Dismukes y O. Kruse, *Applied Microbiology and Biotechnology* 72 (2006), 442.
 - ¹⁰ A. Melis y T. Happe, *Photosynthesis Research* 80 (2004), 401.
 - ¹¹ H. Turton, *Energy* 33 (2008), 1754.
 - ¹² D.R. Simbeck, *Energy* 29 (2004) 1633.