

POLÍTICAS CIENTÍFICAS EN MATERIA DE RENOVABLES: EL CASO DEL HIDRÓGENO COMO FUENTE BÁSICA ENERGÉTICA¹

Jesús A. Valero Matas

*Universidad de Valladolid
Departamento de Sociología*

Juan Romay Coca

*Universidade de Santiago de Compostela
Grupo Compostela de Estudio sobre Imaginarios Sociales*

Resumen: *El artículo pretende realizar una valoración sobre la implicación del hidrógeno en la sociedad. El cambio climático ha llevado a los gobiernos a diseñar diferentes políticas favoreciendo las energías alternativas. Si bien, en la mayoría de los casos se han desplegado actuaciones con más intención que reales. Con este texto se intenta poner en escena algunos de los inconvenientes existentes para tomar el hidrógeno como la energía sustitutiva del petróleo. En el sentido que en su día propuso Rifkin.*

Palabras clave: *Economía del hidrógeno, política científica, energía, combustibles fósiles y combustible alternativo.*

Abstract: *The paper tries to realize a valuation on the implication of the hydrogen economy in the society. The Global Warning has led the governments to designing different policies favoring the alternative energies and improve the environment. Though, in most cases performances have spread out with more intention that real. With this paper there are tried to put in scene some of the existing disadvantages to take the hydrogen economy as the substitute energy of the oil. In the sense suggested by Rifkin.*

Key words: *Hydrogen economy, scientific policy, energy, fuels and alternative fuel.*

INTRODUCCIÓN

Se acaba el petróleo, afirman los científicos, pero a juzgar por el consumo diario de barriles de petróleo nadie lo diría. El consumo de productos derivados del petróleo cada vez es mayor, lo que indica que el petróleo está aun lejos de agotarse. Probablemente por ese temor del fin del

petróleo muchos países se han lanzado a la prospección de petróleo en el mundo, dando sus resultados. Se han encontrado grandes bolsas de petróleo en el polo norte, el golfo de México, en Rusia, Argentina, Brasil, así como nuevos yacimientos de gas en diversas zonas del planeta, África, Asia, etc. Lo cual indica que no

estamos tan cercanos al agotamiento del petróleo.

El miedo a su desaparición y la fuerte dependencia de los países productores ha hecho que los gobiernos destinen esfuerzos y dinero a la búsqueda de otras fuentes de energía alternativas, eólica, solar, geotérmica, etc. El libro de Rifkin en 2000 hizo que los países de la OCDE vieran en sus propuestas un balón de oxígeno a esta alternativa. La importancia del hidrógeno ante estos temores y sus potencialidades alcanzaron una proyección importante, surgiendo empresas destinadas a la investigación del hidrógeno, y llevando a muchas empresas de servicios financieros a incluir en sus carteras este tipo de actividades. Su proyección fue tal que unos 15 productos de este orden cotizan en el NASDAQ.

Esta claro que la producción, transformación y consumo final de la energía está degradando el planeta. Esto se ha acusado mucho más con el consumo de combustibles fósiles de la India y china principalmente. Esto implica un alto coste del petróleo y una mayor necesidad de producción de barriles de petróleo. También, el consumo de energía eléctrica es muy desigual en el mundo, donde los países de la OCDE consumen casi el 70% de la energía. Esto indudablemente implica desarrollar productos y técnicas de obtención de energía mucho más baratos, y que conlleven la posibilidad de que todos los países del mundo tengan las mismas posibilidades de acceder al consumo energético. El hidrógeno se ha apreciado como tal.

Se percibe en el mundo cierto interés por las energías renovables como fuente energética alternativa, pero más como imagen institucional que por convencimiento real de ser sustituto de los combustibles fósiles. En este juego subyace probablemente una cuestión sobremana importante, y no es otra que la inexistencia de una *única* fuente energética limpia capaz de sustituir al petróleo. A nuestro juicio esto es lo que acontece, y por eso,

los gobiernos mantienen silencio y van parcheando la situación del cambio climático y emisiones de CO₂ con propuesta de baja influencia y alto coste.

En estos momentos, la etiquetada psicosis verde ha levantado mucho interés de científicos, ingenieros, industria y políticos en fomentar el hidrógeno como combustible y portador de energía en el futuro. Se avizora que el hidrógeno en un futuro, especialmente, en el sector del transporte jugará un papel importante. Prácticamente dos maneras pueden hacer que un vehículo funcione con hidrógeno: mediante un motor de combustión interna o utilizando una pila de combustible.

La economía del hidrógeno posibilita una enorme redistribución del poder, con consecuencias trascendentales para la sociedad. Como es el potencial sobre el papel del hidrógeno para poner fin a la hegemonía y dependencia del petróleo y la erradicación del contubernio y peligroso juego geopolítico mantenido entre los países musulmanes productores de petróleo y los países occidentales. Pero también, la estimación su posible reducción de las emisiones de dióxido de carbono y mitigación los efectos del calentamiento global.

¿Podrá el hidrógeno ser la energía del futuro? La abundancia de hidrógeno en el planeta y su poder energético son innegables, pese a ello, la cuestión no reside en observar potenciales beneficios del hidrógeno, sino en hacer realidad ese potencial y solucionar el problema de la subordinación a los combustibles fósiles.

Políticas en materia del hidrógeno

Como sabemos, los países más avanzados en sus diversas reuniones, pero especialmente desde Kioto, acordaron emprender políticas restrictivas en la emisión de CO₂ para reducir los gases de efecto invernadero. En su mayoría desplegaron diferentes programas favoreciendo las energías alternativas. Hemos visto como la UE

y los países integrantes desarrollan importantes esfuerzos por avanzar los objetivos de la UE del 20% de la energía consumida sea para el 2015 de energías renovables. España es una de los países líderes en energía eólica, sin embargo en materia investigadora del hidrógeno como fuente secundaria andamos muy alejados del resto de países punteros en I+D.

En 2003 G.W.Bush anunció y lanzó al ruedo político nacional e internacional la iniciativa del hidrógeno como combustible (Hydrogen Fuel Initiative), y que alcanzó su máximo valedor en el Gobernador de California, quien en 2007 había logrado una red de distribución hidrógeno a lo largo de toda el Estado. Con inversiones millonarias en el desarrollo de esta tecnología y con la ayuda a la investigación para vehículos movidos por este tipo de combustible.

Los expertos en las nuevas tecnologías de los diferentes países miembros de la UE, en el caso español el CIEMAT, hace unos años recomendaron destinar fuertes cantidades de dinero en la investigación del hidrógeno como combustible secundario. El informe presentado bajo el título *energía del hidrógeno y pilas de combustible*, incluía varias recomendaciones: incremento importante en la financiación de I+D, investigación en transporte, distribución y medio ambiente, desarrollo de iniciativas de negocios coordinando diferentes organismos de financiación, educación y entrenamiento, etc.

El gobierno de los EEUU en 2004 desarrolló un proyecto piloto denominado *FutureGen*² a 10 años con una inversión de 1000 millones de dólares. Consta de una usina eléctrica alimentada a carbón que genera electricidad e hidrógeno sin producir emisiones nocivas. El programa de la administración Bush: *combustible de hidrógeno* tenía como principal objetivo que los vehículos que funcionen con celdas de combustible resulten económicamente viables y su desarrollo energético sea efectivo, propuesto para un horizonte

del 2020, donde cerca del 40% de la población americana utilice estos vehículos. En el se invirtieron 1.200 millones de dólares para financiar las tecnologías del hidrógeno e infraestructuras necesarias para su aplicación.

La Unión Europea desplegó por entonces el proyecto HYPOGEN con características similares con una proyección de 10 años y una inversión de 1.300 millones de euros. Costa de una usina eléctrica alimentada por combustible fósil para producir hidrógeno y electricidad. La UE también tiene otro programa denominado HYCOM también a 10 años con una inversión de 1500 millones de euros para diseñar una estructura basada en la economía del hidrógeno.

En 2007 la UE puso en escena un nuevo proyecto, el HYICE basado en el desarrollo de combustible de hidrógeno liderado por BMW, y con la meta puesta en lograr que en 2020 la utilización de vehículos con combustible de hidrógeno sea una realidad a gran escala.

En 2006 la UE destino 2600 millones para investigar sobre pilas de combustible y posterior empleo en los automóviles y otros enseres tecnológicos. En 2008, posiblemente como consecuencia de la crisis económica internacional el proyecto JTI Pilas de combustible y tecnologías del hidrógeno tan sólo ha destinado 470 millones de euros.

En España a pesar de ser un potencial energético y tener centros destinados al desarrollo y fomento del hidrógeno como fuente secundaria de energía, como son el CIEMAT, REPSOL, EHN, etc., y el proyecto H₂ de la Comunidad de Aragón, el gobierno de España en su plan nacional energético (2005-2010) no está contabilizado destinar dinero a la investigación del hidrógeno. Lo cual nos sitúa en una situación de dependencia de la investigación de la UE.

Todos estos programas donde como se percibe se invierten cantidades ingentes

de dinero público en la búsqueda de una solución al efecto invernadero y dependencia de combustibles fósiles no tienen un horizonte muy claro.

EL HIDRÓGENO Y SU REPERCUSIÓN SOCIAL

Con la aparición de la obra de Rifkin (2000) *The Hydrogen Economy* los países occidentales lo han visto como una fuente de energía salvadora de los combustibles fósiles. Desde entonces dichos países se han lanzado a la investigación en la búsqueda de transformarlo en la energía social del futuro, hecho que parece estar muy lejos de transformarse en fuente básica.

Las intenciones teóricas de Rifkin basadas en los comentarios del novelista agorero más famosos, Julio Verner quien como pasara en otras obras, anticipó muchos de los adelantos científicos, ha vuelto a poner sobre el tapete otra de sus avances de la humanidad, el desarrollo del hidrógeno como suministrador de energía. Así lo exponía en su obra *La isla misteriosa*³:

La electricidad ha permitido descomponer el agua en sus elementos primitivos, lo cual hará que se convierta en una fuerza poderosa y manejable (...) Sí, amigos míos, creo que algún día se empleará el agua como combustible, que el hidrógeno y el oxígeno de los que está formada, usados por separado o de forma conjunta, proporcionará una fuente inagotable de luz y calor, de una intensidad de la que el carbón no es capaz (...) El agua será el carbón del futuro.

Con esto de fondo Rifkin puso en jaque a los gobiernos para que emprendieran políticas activas sobre la investigación poniendo sobre la mesa un objetivo energético que pudiera hacer frente a uno de los hándicap más importante en el desarrollo social y económico de un país, la no dependencia de combustibles fósiles.

Poner en escena la investigación de un producto requiere una valoración del ciclo de vida, su repercusión tecnológica y rentabilidad económica y social. Por se hace necesario considerar unos aspectos de gran trascendencia: el impacto económico, el medioambiental, social, salud, riesgo, necesidades humanas e impactos políticos. Porque en ningún momento imponer a los ciudadanos toda la la responsabilidad de los avances tecnológicos por mucha necesidad existente.

El desarrollo del hidrógeno como productor de energía debe atenerse a criterios de posibilidad real y no bajo epígrafes de potencialidad, cuestión que en estos momentos es lo que domina.

A la hora de analizar sus posibilidades debemos tomar en consideración, si realmente este puede alcanzar los objetivos deseados. Porque hasta ahora, como ha acontecido en diversas ocasiones, muchas de las investigaciones han tenido un horizonte hipotético con grandes potencialidades y la realidad ha demostrado su imposibilidad, invirtiendo ingentes cantidades de dinero sin obtener resultados. Esto no significa abandonar la investigación, sino una inversión racional. Por lo tanto, es necesario plantearse al menos tres cuestiones, si es posible, por qué su investigación y a dónde se desea llegar. Las investigaciones no pueden promoverse por intereses partidistas, empresariales o políticas, sin que exista una intención clara y ajustada a la realidad, porque de lo contrario estamos tirando un dinero público.

Por seguir la línea propuesta ¿Es posible el hidrógeno como vector energético? A tenor de las valoraciones de los especialistas, el hidrógeno presenta condiciones idóneas para generar energía por su eficiencia energética (conversión directa de energía), reducción de la dependencia energética (renovables, nuclear y carbón), ausencia emisiones CO₂, procedencia de renovables y nuclear o carbón con CCS y lleva al transporte las energías renovables,

nuclear y carbón. Esto implica, desplegar mecanismos de investigación que hagan esto realidad, pues, el hidrógeno presenta como apuntó el profesor Linares⁴, importantes posiciones críticas. El H₂ es un modo de almacenar energía: requiere energía primaria, las pilas de combustibles tiene elevada eficiencia, pero hay que considerar el global: $0,75 \times 0,5 = 0,38$, la electricidad también es un vector energético, éxito del H₂ en el transporte, no despreciar opciones híbridas, muy interesantes DMFC, con metanol desde biomasa, llevar al transporte la eólica, carbón y nuclear. En segundo lugar, ¿Qué objetivos se desean alcanzar con el hidrógeno?, erradicar la dependencia energética de los combustibles fósiles, reducir la emisión de CO₂ a la atmósfera y así frenar el efecto invernadero o ambas cosas. Puesto que, dependiendo del objetivo las posibilidades a corto plazo son muy diferentes, y con costes sociales y económicos bastante diferentes. Es decir, si la pretensión reside en disminuir las emisiones de los gases de efecto invernadero, la posibilidad de éxito está bastante cercana, especialmente en lo que afecta a su acción como carburante. Pues diversas compañías de automóviles ya han puesto en escena prototipos teniendo como carburante el hidrógeno. El más empleado es la obtención por medio del denominado reformado con vapor (*steam reforming*) a partir de hidrocarburos, siendo el principal proceso el reformado de gas natural por su rentabilidad. Empresas, universidades y centros de investigación continúan explorando diferentes componentes para abaratar los costes, hacerlo competitivo y lograr una menor emisión de CO₂⁵. Los autobuses municipales de hidrógeno de Madrid, Barcelona y otras ciudades del mundo utilizan este combustible. Pero sin duda, existen otros procesos para la obtención de hidrógeno, léase la biomasa. El aprovechamiento energético de la biomasa es la gasificación, que permite obtener gas de síntesis (CO + H₂). El gas de síntesis obtenido puede utilizarse como combustible directo, bien como fuente de H₂ o como

materia prima química para preparar otros combustibles. La obtención de hidrógeno por gasificación de biomasa se presenta como una opción interesante, tiene como ventaja frente al procedimiento clásico (reformado de metano con vapor de agua) emplear un residuo y no materia prima química. Este aflora como esperanza energética, si bien su inconveniente está en que emite CO₂ pero reduce la dependencia de los carburantes fósiles. Su principal desventaja está en su efecto corrosivo reduciendo considerablemente la vida de las pilas de combustible y tuberías de transporte. Los beneficios sobre su baja emisión de CO₂ quedan contrarrestados por la baja vida de las pilas de combustible encareciendo el producto final. El segundo efecto negativo radica en su alto nivel de corrosión que obliga a crear una red de tuberías con materiales especiales evitando la contaminación del combustible y su deterioro. En principio estas dos cuestiones son grandes impedimentos, pero la investigación a medio plazo podría solventarlos y minimizar el coste económico.

Sí la meta recae en abandonar la dependencia de los combustibles fósiles y no emitir CO₂, el asunto es bien distinto. Para lograr hidrógeno libre de carbono lo más factible es separar el hidrógeno del oxígeno en el agua por medio de electrolisis. Esta técnica necesita consumir bastante energía para romper la molécula de agua y dividirla en estos dos compuestos químicos. El alto coste de la energía hace inviable utilizar este procedimiento, de manera que, la solución pasa por emplear energías renovables y/o energía nuclear. Por ejemplo, el kilogramo de hidrógeno producido por medio del gas natural viene a costar unos 2 euros, donde el 45% de su producción se debe al coste del gas natural. Según el precio actual de la energía eléctrica, el kg de hidrógeno producido por electrolisis costaría unos 5 euros, donde el 85% del coste es producto del precio de la energía. Una estimación, si se utilizan otras técnicas, aproximadamente el coste sería de

3,5 euros por kg hasta 8 euros por kg de hidrógeno. A esto se debe añadir precios de transporte, comercialización, etc. No solamente se puede realizar la evaluación desde una perspectiva económica, también se deben analizar las repercusiones ecológicas y sociales.

Tras haber realizado una aproximación económica, es necesario zambullirse en aspectos ecológicos y sociales. La primera cuestión estriba en preguntarse ¿Cuántas toneladas de agua se necesitan para producir hidrógeno para uso como carburante? Sólo en los Estados Unidos se estimaba en 2006 (Norskov - Christensen 2006:1322-1323) cerca de 150 millones de toneladas agua al año para cubrir las necesidades del transporte, si a esto se adiciona, la demanda de los edificios, empresas y uso doméstico, el consumo de dispara a los 500 millones de toneladas al año en USA. ¿La sociedad y los recursos hídricos y energéticos están preparados para hacer frente al reto de la economía del hidrógeno?

La *fuel cell* o pila de carburante, es el artilugio necesario para transformar por medio de energía química una sustancia en energía eléctrica, y hacer que funcione un motor de combustión externa. Existen diferentes tipos de pilas de combustible adecuadas a demandas y necesidades diversas. La pila de combustible alcalina (AFCs) es quien presenta un mejor rendimiento. La NASA emplea este tipo de pila de combustible en sus actividades espaciales, pero presenta un problema importante, su alto precio. ¿Por qué este encarecimiento? Básicamente por sus componentes, los catalizadores utilizados son de platino/rutenio, los electrodos contienen gran cantidad de metales nobles, por ejemplo, el ánodo puede confeccionarse con platino y paladio, y el cátodo con oro y platino, si esto se desarrolla en todo el mundo, su abaratamiento resultara imposible, porque la demanda de oro, platino, paladio y rutenio se disparara, incrementando el valor de estos metales por la escasez y necesidad de su uso. En el caso de llegar a comerciali-

zarse, sería una cuestión a plantearse, porque si el petróleo se agota, los metales noble también. Y sobre estos existe un mayor desconocimiento de su durabilidad. Sobre ello no se puede preveer un descenso de su producción y en consecuencia un abaratamiento del producto porque en el mundo existen millones de millones de coches y su producción va en aumento.

En un intento de poder hacer viable los vehículos movidos por hidrógeno, las compañías de automoción han desarrollado una pila con tecnología PEM (*protón exchange membrane*) abaratando bastante el producto⁶. Volviendo a la cuestión, si se opta por diseñar todos los automóviles híbridos con este tipo de pilas, el platino disparara su precio, aumentando el coste de la pila de combustible. El platino es perecedero y estamos hablando de millones de coches y de pilas de vida útil entre 10 y 15 años en el mejor de los casos. El platino es un metal noble agotable. La pregunta a plantearse debe ser: ¿Es viable emprender la comercialización? En caso afirmativo, ¿Cuánto tiempo durará? Las compañías automovilísticas esperan poder comercializar estos vehículos en 5 o 10 años. No nos llevemos a engaño, a mayor coste, menos prestaciones y más dificultades de repostaje ¿La ciudadanía se decantará por este vehículo?

Almacenar gran cantidad de hidrógeno de manera segura, barata y posibilitar su utilización (por medio de células de combustible o por combustión directa) es otro de los retos de este producto. El hidrógeno puede almacenarse de diferentes maneras: gasificado: comprimido a altas presiones, líquido, por combinación química o nanoestructuras de carbono. (Fakioglu, Yürüm Y Veziroglu, 2004: 1373-1374). Actualmente, el hidrógeno gasificado es el más utilizado, transportándose en botellas como gas a alta presión. Esta forma de almacenamiento no es la óptima si va a usarse como energía para un vehículo, debido al elevado volumen de dichas botellas. Si el interés esta en suministrar a un grupo de viviendas (como hacen actual-

mente los depósitos de propano) se necesita un silo cuyo volumen será el tripe al utilizado en estos momentos por las cisternas de almacenamiento de propano. Esto es muy sencillo de observar, sólo debemos fijarnos en el tanque principal (donde se almacena el hidrógeno líquido) del transbordador espacial, cuyo volumen es mayor que la propia aeronave⁷. Los depósitos de hidrógeno gasificado deben ser elaborados con materiales especiales que preserven la seguridad y eviten el riesgo (Kreith-West, 2004). El hidrógeno mediante composición química implica recurrir a numerosos metales de transición, y a sus aleaciones para almacenar hidrógeno en forma de hidruros metálicos. Este proceso presenta un importante problema, el elevado peso del sistema de almacenamiento como consecuencia de los bajos niveles de retención de hidrógeno que se consiguen (Conte, Prosini Y Passerini, 2004:6). Por último, las nanoestructuras de carbono comportan introducirlo en el interior de un material sólido a una temperatura y presión determinadas para posteriormente extraerlo con otros valores de presión y temperaturas. Esta forma de almacenamiento permite acumular una mayor cantidad de hidrógeno en volúmenes de dimensiones menores a los antedichos. No es el modelo más óptimo, aunque una investigación reciente ha puesto una brizna de esperanza a las nanopartículas como sistema de almacenaje de hidrógeno (Aguey-Ares, 2008).

El hidrógeno líquido y hidrógeno gas a presión son los más extendidos en el almacenaje y transporte de hidrógeno. En el caso del hidrógeno gas a presión algunos sugieren para su transporte utilizar la red de tuberías del gas natural. Esto no es posible porque el gas natural todavía se seguirá explotando por muchos años. En el supuesto de poder hacerlo por las mismas tuberías del gas natural, estas no servirían pues la fragilidad del acero frente al hidrógeno hace que las tuberías requieran un aislamiento especial: por ejemplo fibra de carbono. Esto significa un alto coste.

La otra opción responde al hidrógeno líquido. Para transportar hidrógeno líquido es necesario exponerlo a una temperatura de -252 grados centígrados es decir, fuel criogénico. En Estados Unidos, la NASA y empresas que trabajan con hidrógeno líquido lo transportan en cisternas criogénicas bien sobre camión, vagón de ferrocarril o barcaza especialmente preparados. Bossel y Eliasson (2003) desaconsejan esta práctica como consumo doméstico por dos razones: 1) La energía consumida por un tanque de hidrógeno viene a ser una fracción importante de la energía de hidrógeno consumida del contenido. Por ejemplo para una entrega de 40 kilómetros, la energía utilizada en el recorrido de suministro equivale al 20% de la energía de hidrógeno entregada. 2) Se necesita una flota de transporte inmensa. Siendo la relación de 15 camiones de hidrógeno por un camión de gasolina de 25 toneladas. Seleccionar esta posibilidad resulta inoperante e irracional. Primero, la flota de camiones desbordaría el tráfico rodado, su aplicación conllevaría un incremento considerable de puestos de trabajo. En segundo lugar, el consumo de carburante de hidrógeno se dispararía.

La seguridad es otro agente importante en la valoración del impacto de la tecnología en la sociedad. Como anuncio en su día Beck (1998 [1986]) estamos ante la sociedad del riesgo, esto no simboliza tomar más riesgos de los necesarios, y bastantes son consecuencia de los efectos colaterales de la tecnología. Respecto a la seguridad del hidrógeno no existe un criterio común. Unos como Braun (2003:114) testimonian la gran seguridad del hidrógeno frente a otros combustibles fósiles, y apostilla que el número de accidentes derivados del hidrógeno en la actualidad aproximadamente son del 1%. En cambio, otros teóricos consideran el hidrógeno mucho más peligroso que las gasolinas (Hordeski, 2005:25).

En nuestra sociedad, la herencia del hidrógeno muestra cierto rechazo, porque

es visto como una fuente de desgracias. El ser humano por fortuna tiene memoria histórica, en ocasiones le ayuda a no cometer los mismos errores, y en otros es un recordatorio de cuestiones pasadas que suele transformar en negativas. El hidrógeno como fuel implica una reacción química sencilla donde hay una transferencia de electrones que producen corriente eléctrica. Haciendo uso de la memoria histórica recordemos el Gran Zeppelin que explotó en 1937 en Hinderburg. La deflagración fue producto de un escape de hidrógeno. Mas reciente tenemos la Bomba H, cuya prueba conocida como *Ivy Mike* se realice en el atolón de Bikini en el archipiélago de las Islas Marshall, o la explosión del transbordador Challenger (1986) y su desintegración en el espacio. Todas ellas son imágenes presentes en la memoria del ser humano, y como tal, sujetas a reflexión y observación. Junto a esta simbología se refuerza en su contra la peligrosidad, la alta ignición y toxicidad. El gran intervalo de sus mezclas con aire y la velocidad de propagación de la llama favorecen una posible explosión, mientras que la difusividad y la densidad tienden a reducir su probabilidad, especialmente en espacios abiertos. En espacios cerrados, el escape de hidrógeno tiene lugar con disminución de la temperatura lo que reduce el riesgo. En otro orden, la reacción química transcurre con reducción de volumen por lo que en vez de explosión lo que ocurre es una implosión (Gutiérrez Jodra, 2005: 59). Ante todo su capacidad de destrucción es superior a cualquier otro combustible, y ante un accidente de automóvil las consecuencias alcanzarán mayores dimensiones. (Jones - Thomas, 2008).

Los automóviles de hidrógeno son una apuesta por el futuro, determinadas compañías (Ford, Toyota, Honda, Volkswagen, Chrysler, etc.) han desarrollado coches híbridos combinando gasolina y electricidad, reduciendo el consumo de combustible y en consecuencia las emisiones de CO₂. Estos coches presentan sobremanera dos

problemas: 1) al tener que introducir dos motores en su interior, aumenta la dimensión y reducen el espacio para los pasajeros o del maletero, 2) el precio de un híbrido oscila entre 12.000 y 18.000 euros más que uno de gasolina o gasoil, dependiendo del modelo y compañía automovilística.

Otra idea reside en el empleo de hidrógeno limpio, es decir, automóviles 100% de hidrógeno, cuya impacto será de otra magnitud. Al igual que acontece con los vehículos movidos por gasolina o gasoil necesitarán un almacenaje de combustible, pero en el caso del hidrógeno como el volumen es mayor se necesitara un depósito más grande y más pesado, adicionado al problema de los motores, condicionaran el tamaño del vehículo. Para prestaciones iguales a sus homólogos de gasolina necesitarán más potencia, traducándose en mayor consumo y coste. En estado líquido, la capacidad de vaporación del hidrógeno es muy alta. Un estudio de la NASA (los Álamos) demostró que en diez días se había evaporado el hidrógeno de un depósito de un automóvil.

La red de distribución de combustible de hidrógeno es otro de los problemas. La Ley en California (USA) afectada por la fiebre de lo ecológico, ha priorizado los automóviles híbridos, no cumpliéndose lo mismo en todos los Estados de la Unión (Norskov – Christensen, 2006). Cuando un vehículo viaja fuera del estado de California repostara combustible porque su auto puede funcionar con gasolina o gasoil. En cambio, un vehículo 100% de hidrógeno no podrá al no disponer el país de una red de hidrogeneras (término asociado de gasolineras).

En el caso europeo, la incompatibilidad de infraestructuras puede ser un importante impedimento por dos asuntos. Uno, la oferta de un solo tipo de combustible de hidrógeno, es decir, procedente de metanol o gas natural. Esto es una realidad, porque en Europa muchos automóviles consumen biodiesel, y algunos países europeos no

ofertan en sus gasolineras este carburante. Por ende, es un problema a solucionar antes de emprender una campaña de proliferación de vehículos de hidrógeno puro. La cuestión no es baladí. Los automóviles con carburante de hidrógeno puro tienen menor autonomía y necesitarán repostar con mayor frecuencia. Esto obliga a poner hidrogeneras cada menos kilómetros.

El impacto medioambiental con una economía del hidrógeno sería el ideal de sostenibilidad, pero siempre y cuando se dieran las condiciones adecuadas. Y este no es el caso. Dejar de emitir entre un 70% y 80% de CO₂ a la atmósfera significaría la posibilidad de su regeneración en un espacio de tiempo relativamente pequeño, así como, mejorar la calidad del aire de las ciudades, especialmente las más contaminadas como México. Incluso, con la única puesta en escena de automóviles por hidrógeno veríamos reducida la emisor de gases de efecto invernadero en un 20%. Estos valores se refieren a combustible de hidrógeno con ausencia de carbono. Si su aplicación se diera en condiciones óptimas, el hidrógeno sería un vector energético de sostenibilidad.

No se deben olvidar las recomendaciones realizadas en 2002 por la *European Wind Energy Association* quien afirmó que el hidrógeno y pilas de combustible no resultaban ventajosas sino iban acompañadas de una producción a gran escala. Además arguyeron que el hidrógeno y las pilas de combustible no son muy limpios porque se efectúan a partir de productos fósiles contaminantes y el resultado, por lo tanto, también lo será.

Una acción política de esta envergadura en un mundo globalizado donde el petróleo es moneda de cambio, y las grandes multinacionales del crudo y países productores de petróleo están estrangulando las economías mundiales, pasaría a ser historia. La decisión no evitaría los diferentes problemas anunciados por Rifkin (2002). Algunos de ellos se agudizarían más. Rif-

kin declara que con la economía del hidrógeno se llegará a una justicia social, prosperidad e igualdad. Esto no será así, la economía del hidrógeno requiere un nivel tecnológico muy alto del cual carecen los países más desfavorecidos y los países productores de petróleo. La formación de los ciudadanos de estos países es muy escasa. Por lo tanto, seguirán dependiendo de los países industrializados (primer mundo). En segundo lugar, si sus niveles productivos y tecnológicos dependen de los países del primer mundo, ¿Cómo van a poder producir tales materiales, aerogeneradores, plantas fotovoltaicas, electrolisis del agua, pilas de fuel, etc.? Máxime cuando algunos viven en los umbrales de la subsistencia y otros incluso por debajo. ¿Cómo se les puede prometer la energía de la libertad?

Las decisiones científicas. Cuando se abre la veda de lo nuevo y con ello proyectos con suculentos fondos, algunos científicos ven la manera de sacar excelentes beneficios, aun sabiendo que dicha investigación no va a ningún sitio. Y en ocasiones cocinan el propio experimento con el objeto de seguir recibiendo fondos. Como dice Resnik (2007:88) lo correcto, es que los científicos deben ser los primeros en salir en defensa contra los experimentos diseñados. Las normas de objetividad, la honestidad y el cuidado todo implican que uno debería huir de los experimentos donde se cocinan los datos. Es más, cocinar los datos deliberada e intencionalmente podría ser considerado un fraude científico, pero el fraude no es el gran problema aquí. Lo preocupante es cuando uno sucumbe a la auto decepción en la ciencia, especialmente cuando un científico se ha sometido a obtener unos resultados de la investigación con acuerdo a los intereses de quién financia la investigación.

En las condiciones actuales en que se encuentra la investigación del hidrógeno como combustible parecen insostenibles, y si añadimos la situación económica, especialmente de las empresas de automóviles,

su desarrollo tardará, y no podrán producirse en cadena como pretendían para el año 2010. Pero es evidente, que la puesta en escena del hidrógeno como energía implicará un profundo cambio en la estrategia mundial. Desconozco si llegará a ser de la magnitud defendida por Rifkin, no obstante, las transformaciones sociales en el mundo serán una magnitud y ser considerada la tercera revolución industrial.

A MODO DE REFLEXIÓN

La producción del hidrógeno no es nueva, cerca de 500.000 millones de metros cúbicos se producen al año en el mundo para la industria química principalmente. Y la mayoría de ellos proceden de combustibles fósiles

La implantación de una economía del hidrógeno en Islandia, responde a una necesidad económica, sin embargo, su aplicación tiene corto recorrido, es decir, su uso es para la vida doméstica. La mayor flota pesquera del mundo (Islandia) seguirá utilizando combustibles fósiles, por la escasa autonomía del hidrógeno, lo que impide realizar grandes viajes. La experiencia de Islandia será un claro ejemplo para el resto de países y analizar donde están las potencialidades y los defectos.

El desarrollo de una verdadera economía basada en el hidrógeno lleva implícita la necesidad de desarrollar en el mismo intervalo de tiempo cada uno de los eslabones que afectan al hidrógeno como fuente secundaria de energía: producción, almacenamiento, distribución y uso final. Esto únicamente tendrá sentido, cuando desde una perspectiva de conjunto tenga viabilidad económica.

El hidrógeno no podrá ser la energía sustitutiva de los carburantes fósiles por una la cantidad ingente de inconvenientes e imposibilidades que lo hacen poco viable. La economía del hidrógeno ha sido de nuevo una falsa alarma, ante la necesidad a solucionar los problemas energé-

ticos mundiales. Podemos estar ante otro caso como el de la fusión fría, donde se habían puesto muchísimas esperanzas, no producía impacto ambiental, los residuos nucleares no resultaban peligrosos y generaba grandes cantidades de energía.

En el fondo existe otra realidad, los intereses político comerciales, porque la importancia potencial de hidrógeno como portador de energía puede parecer exagerada, aunque significativa, pues el valor energético del hidrógeno como sustituto del petróleo es el principal objetivo de las políticas de los países de la OCDE, pasando a ocupar un interés secundario las ventajas medioambientales (Andrews, 2005:24). En el momento de inexistencia de rentabilidad económica el proyecto sufrirá un abandono, independientemente de que su contaminación sea del 0%. Actualmente, las posibilidades de continuar en la carrera energética se van estrechando, y en breve puede pasar a la cuerda floja.

Con esto de fondo, las diferentes administraciones de los países de la OCDE han comenzado un viaje a nunca jama. Es evidente que no se puede negar el potencial del hidrógeno, pero debemos ser realistas, el hidrógeno según las leyes de la física y la química no podrá ser el trasmisor universal de energía a un precio razonable y en los mismos términos que sus competidores. Esto no significa abandonar su estudio e investigación sino proceder como una energías renovables más.

El hidrógeno es una energía renovable más y como tal será otro factor para completar nuestro puzzle energético y solventar las carencias habidas por el crecimiento económico y la demanda mundial. Los esfuerzos económicos y humanos deben destinarse a todos los potenciales energético: geotérmica, eólica mareomotriz biomasa, fotovoltaica, etc., no olvidemos que en la suma esta la razón y no en sus partes. Con el hidrógeno no se está descubriendo nada nuevo, los alquimistas propusieron el hidrógeno como energía,

más tarde pasó con la energía solar, y en 1799 con la mareomotriz. Por lo tanto, existe una obligación de mejorar estas propuestas con la alta tecnología disponible. Tampoco cerremos puertas a ninguna fuente de energía atendiendo a criterios de políticamente correcto, porque la energía nuclear de fusión puede ser el *dorado* energético.

La ilusión al igual que la economía del hidrógeno desempeñan una importante función psicológica en nuestra sociedad, y muchos en la comunidad técnica lo manipula. Los ingenieros y científicos deben jugar un papel importante en la sociedad, educar al público y a los políticos sobre las verdaderas opciones. Debemos recordar una vieja caricatura en la serie de Pogo titulada "hemos encontrado al enemigo y él está con nosotros" (Shinnar, 2005:480)

Las oportunidades y sectores afectados serán muchos, a pesar de que el hidrógeno solamente alcance una proporción muy pequeña de sus posibilidades. Los estados deben platearse las consecuencias y saber si la población está madura social, económica y políticamente para hacer frente al fenómeno del hidrógeno.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUER HORTAL M Y MIRANDA BARRE-RAS A., (2005): *El hidrógeno : fundamento de un futuro equilibrado, una introducción al estudio del hidrógeno como vector energético*, Madrid: Díaz de Santos.
- AGUEY-ZINSOU, K.F - ARES-FERNÁNDEZ, J.R (2008): "Synthesis of Colloidal Magnesium: A Near Room Temperature Store for Hydrogen", *Chemistry of Materials*, 20 (2): 376-378.
- ASHLEY, S. (2005): "On the road to Fuel Cell cars", *Scientific American*, 292 (3), march: 52-55.
- BECK, Ulrich (1998): *La sociedad del riesgo: hacia una nueva modernidad*. Barcelona: Paidós.
- BEHAR, M (2005): "Warning: the hydrogen economy may be more distant than it appears", *Popular science*, 266 (1), January: 65-68.
- BORRONI BIRA, C.H (2001): "Fuel Cells". En: Zumerchik, John (Ed.) *Macmillan Encyclopedia of Energy*, New York: Macmillan.
- BOSSEL, U (2006): "Does a Hydrogen Economy Make Sense?", *Proceedings of the IEEE*, 94 (10).
- BOSSEL, U (2007): "Why a hydrogen economy doesn't make sense in" www.physorg.com/news85074285.html - 37k.
- BRAUN, H (2003): "Safety of Hydrogen". En: Middleton, P., Larson, R. Nicklas, M., and Collins, B., (eds), *Renewable Hydrogen Forum*, Washington. D.C.: American Solar Energy Society.
- CAMMACK, R – FREY, M ROBSON, R (ed) (2001): *Hydrogen as a fuel. Learning for nature*. London: Taylor & Francis.
- CONTE, M., IACOBAZZI, A. RONCHETTI M, VELLONE, R (2002): "Hydrogen economy for a sustainable development: state-of-the-art and technological perspectives", *Journal of Power Sources*, 100 (1-2): 171-187.
- CONTE, M.. PROSINI P.P Y. PASSERINI. S (2004): "Overview of energy/hydrogen storage: state-of-the-art of the technologies and prospects for nanomaterials", *Materials science and Engineering B*, 108 (april): 2-8
- COTHRAN, H (2003): *Global resources: opposing viewpoints*, San Diego: Greenhaven Press.
- DICKSON, E – RUYAN, J – SMULYAN, M (1977): *Hydrogen energy economy; a realist appraisal of prospects and impacts*. New York: Praeger.
- DUNN, S (2001): *Hydrogen futures: towards a sustainable energy system*, Washington: D.C. Worldwach Institute
- GOMEZ ROMERO, P, (2002): "Pilas de combustible: energía sin humos", *Mundo científico*, 233: 66-71
- GUTIÉRREZ JODRA, L. (2005): "El hidrógeno, combustible del futuro",

- Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fis.Nat.*, 99 (1): 49-67.
- HELGI, H.T –INGOLFSSONB, H.P – JENSSONA, T, (2008): "Optimizing site selection for hydrogen production in Iceland", *International Journal of Hydrogen Energy*, 33 (14): 3632-3643.
- HORDESKI, M.F., (2006): *Alternative fuels: the future of hydrogen*. Boca Raton: CRC.
- JOHANSSON, T.B (ed) (1993): *Renewable energy: sources for fuels and electricity*, Washington: Island Press.
- JONES, R.H THOMAS, G.J. (2008): *Material for the hydrogen economy*. Boca Raton: CRC Press.
- KASTING, J.F (2004): "When Methane Made Climate", *Scientific American*, 291 (5): 71-75.
- KREITH, F, WEST, R, (2004): "Fallacies of the hydrogen economy: A critical analysis of hydrogen production and utilization", *Journal of Energy Resources Technology*, 126: 249-257.
- LINARES HURTADO, J. I Y MORATILLA SORIA, B (2007): *El hidrógeno y la energía*, Madrid: Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI.
- LOVINS, A - LOVINS H, (2005): "A new age of resource productivity". En: Olson, Robert and Rejeski, David, *Environmentalism and the technologies of tomorrow: shaping the next industrial revolution*, Island Press: Washington, D.C.
- MAACKA, M.H – SKULASONB, J. B (2006): "Implementing the hydrogen economy", *Journal of Cleaner Production*, 14 (1): 52-64.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, (2004): *The hydrogen economy: opportunities, costs barriers and r&d, needs*. Washington: National Academy Press.
- NAZRI, G.A- ZAZRI, H- JOUNG, R- CHEN P (ed) (2004): *Materials and technology*, Warrendale: MRS.
- NIEUWENHUIS, P – WELLS, P (2003): *The automotive industry and the environment*, Boca Raton: CRC.
- NORSKOV, J.K – CHRISTENSEN, C.H (2006): "Toward Efficient Hydrogen Production at Surfaces", *Science*, 312: 1131-1326.
- OGDEN, J (2002): "Hydrogen: The Fuel of the future?", *Physics Today*, 55: 69-74.
- RESNIK, D (2007): *The price of truth*, London: Oxford University Press.
- RIFKIN, J (2002): *The hydrogen economy; the creation of the worldwide energy and the redistribution of power on earth*, New York: Putnam.
- ROMM, J.J (2004): *The Hype about hydrogen, fact and fiction in the race to save the climate*. Washington: Island Press.
- RUSSEL M, (2003): "Liability and the hydrogen economy", *Science* 301 (4): 47.
- SHINNAR, R (2005) "The mirage of the H2 economy". En: J.Lehr and J Keeley (ed): *Water Encyclopedia*, vol 4, New York: Hoboken.
- SMITH, W.N – SANTANGELO. J.D (ed) (1980): *Hydrogen production and marketing*, Washington D.C.: American Chemical Society.
- SORENSEN, B, (2005): *Hydrogen and fuel cells*. Burlington: Elsevier Academic Press.
- SPERLING, D CANNON, J.S (2004): *The Hydrogen energy transition. Morning toward the post petroleum age in transportation*. Burlington: Elsevier Academic Press.
- SPERLING, D., - OGDEN, J (2004): "The Hope for Hydrogen", *Issues in Science and Technology*: 82-86.
- TROMP, T.K (2003): "Potential environmental impact of the hydrogen economy on the stratosphere", *Science*, 300: 1470-1472.
- TURNER, J (2004): "Sustainable Hydrogen Production", *Science*, 305, August: 972-974.

NOTAS

1 Este artículo ha sido escrito gracias a la ayuda concedida por la Consejería de Educación de la Junta de Castilla y León, Orden EDU/1163/2007 para movilidad de profesores, en Colorado School of Mines. Debo agradecer a Carl Mitcham su apoyo y comentarios sobre la

economía del hidrógeno y todo cuanto desde la perspectiva social ha requerido dicho artículo.

2 Información del proyecto, www.te.doe.gov/programs/powersystems/futuregen.

3 Verner, J (2001) *La isla misteriosa*, Madrid, Gaviota, p.87.

4 Jornadas de Ciencia y Tecnología para la Economía del Hidrógeno, Madrid, 17 de octubre de 2007. Universidad Politécnica de Madrid.

5 En julio de 2008, investigadores de la Politécnica de Cataluña (UPC) y del CSIC idearon un catalizador que transforma el etanol en hidrógeno, y que puede ser la solución para la fabricación de coches impulsados por hidrógeno. La temperatura de funcionamiento del catalizador es de 310 grados, lo que permite que una

mezcla de etanol y agua, en forma de gas, pase por sus canales interiores y salga en forma de hidrógeno y CO₂, reduciendo considerablemente el CO₂ frente a otros. El carburante de hidrógeno no es puro, ya que contiene carbono.

6 Winther-Jensen y colaboradores de la Universidad de Monash (Australia) han desarrollado un nuevo electrodo hecho de polímero conductor flexible con la misma función que el de platino, pero mucho más barato. De momento está en proceso de experimentación.

7 La NASA para reducir el peso y no el volumen, utiliza aleaciones especiales que encarecen demasiado el producto. La aleación actual es de aluminio y litio, cuyo precio aproximado del tanque de hidrógeno ronda los 6 millones de dólares.