

POR UN DEBATE SOBRE LA ECONOMÍA DEL HIDRÓGENO: CUESTIONES ABIERTAS PARA SU DESARROLLO

Jesús M^a Goiri Basterra,
Ingeniero Industrial
Ente Vasco de la Energía
F. Javier Ruiz Ruiz,
Ingeniero Industrial
Socintec - Grupo Azertia
Javier Lozano Marín,
Ingeniero Industrial
Socintec - Grupo Azertia

Resumen

Este artículo recoge los argumentos para un debate sobre la economía del hidrógeno, una energía limpia en cuanto a su uso, pero difícil de obtener y manipular. A su potencial para impulsar el uso de pilas de combustible y sistemas de almacenamiento de energías renovables y reducir emisiones de CO₂ se contraponen, para su implantación, la necesidad de desarrollar su viabilidad tecnológica y económica. Es difícil predecir en qué grado se producirá este desarrollo y a qué ritmo, pero es necesario reconocer la magnitud de sus implicaciones y prepararse para aprovechar las oportunidades que se presenten.

Palabras clave: hidrógeno, pilas de combustible, energía.

Abstract

The article showcases the arguments for a debate on the economy of hydrogen, a clean energy form in terms of its use but difficult to obtain and handle. Its potential in terms of promoting the use of fuel cells and renewable energy storage systems, as well as in reducing CO₂ emission levels, is counterbalanced by the need to make this energy form more technologically and financially viable prior to its implementation. Though it is difficult to predict the rate and extent to which this technology will be developed, its far-reaching implications should be recognised and preparations made to take full advantage of the opportunities which may arise.

Key words: Hydrogen, fuel cells, energy.

Introducción

En los últimos años, la llamada *Economía del hidrógeno* ha adquirido un alto protagonismo en los círculos energéticos, además de estar trascendiendo rápidamente por la magnitud de sus implicaciones a niveles de interés social, económico y político. El objetivo o utopía, dependiendo de quién sea quien opine, es utilizar el hidrógeno, al menos en parte, como base para un futuro sistema energético limpio que reemplace al actual, basado en los combustibles fósiles.

El apoyo de las administraciones y los esfuerzos de investigadores y empresas en la puesta a punto de las tecnologías necesarias es creciente, esperándose a corto plazo el establecimiento en el mercado de las prime-

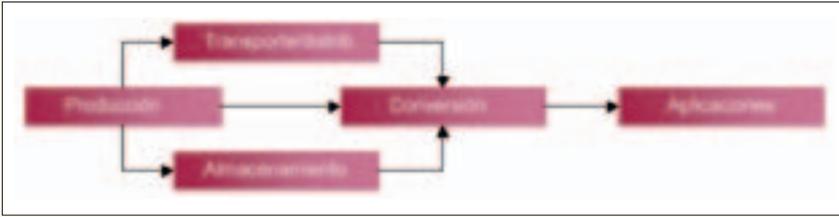
ras aplicaciones del hidrógeno utilizado en pilas de combustible, en lo que algunos piensan que puede ser el comienzo de una revolución similar a lo que en su día significaron la microelectrónica o las comunicaciones inalámbricas.

El hidrógeno tiene una serie de particularidades que impulsan o dificultan su utilización como vector energético. Los aspectos positivos y las limitaciones que se derivan de las propiedades naturales del hidrógeno resumen y ofrecen una primera perspectiva general de los pros y contras fundamentales para su uso en el ámbito energético.

El desarrollo de una verdadera economía basada en el hidrógeno lleva implícita la necesidad de desarrollar en paralelo todos y cada uno de los diferentes eslabones que la componen: producción, almacenamiento,

Características y propiedades del hidrógeno

- Es el elemento más ligero de la naturaleza, 14,4 veces más ligero que el aire (el gas natural, por ejemplo, es tan sólo 1,7 veces más ligero que el aire). Es cuatro veces más difusivo que el gas natural y 12 veces más que los vapores de gasolina, por lo que se dispersa muy rápidamente hacia arriba.
- En condiciones normales se encuentra en estado gaseoso, pasando a estado líquido a una temperatura extremadamente baja (-253 °C), lo cual es un condicionante para sus formas de almacenamiento y transporte.
- Su contenido energético por unidad de masa es alto comparado con otros combustibles. Para la misma cantidad de energía contenida, el hidrógeno es un 64% más ligero que la gasolina y un 60% menos que el gas natural. Como ejemplo, un kg de hidrógeno contiene la misma cantidad de energía que 2,75 kg de gasolina (poder calorífico inferior).
- El contenido energético por unidad de volumen es, por el contrario, menor. A la presión atmosférica y en un mismo volumen, el hidrógeno gaseoso contiene un 30% de la energía contenida en el gas natural.
- La combustión de hidrógeno no produce CO₂ sino únicamente agua y una pequeña cantidad de óxidos de nitrógeno (NOx). Por término medio, el nivel de emisiones de NOx en una pila de combustible no supera los 0,01 gramos/kWh y en un motor de combustión interna de hidrógeno se sitúa alrededor de 0,4 gramos/kWh, lo que viene a representar, respectivamente, un nivel de emisiones 120 y 3 veces menor que los de un motor de combustión interna de gas natural.
- Elemento muy inflamable (sobre todo en contacto con otros gases como flúor y cloro), tiene un alto rango de inflamabilidad (4-74% de concentración en aire) y puede arder con una aportación pequeña de energía (0,02 mJ). Sin embargo, con bajas concentraciones en aire, (menores del 10%) este nivel de energía es muy superior.
- Elemento no tóxico, insípido, incoloro e inodoro, dificultando estas dos últimas propiedades la detección de fugas
- Elemento estable y no corrosivo.



Modelo de la economía del hidrógeno
Fuente: U.S. Department of Energy (DoE)

transporte/distribución, conversión y usos finales, y sólo llegará a ser una realidad cuando tenga sentido económico globalmente.

Al día de hoy, parece obvio que la transición a una economía basada en el hidrógeno (si es que finalmente llega a hacerse realidad) es un camino largo y no exento de dificultades. Así se reconoce incluso por las organizaciones que defienden su desarrollo y están trabajando para impulsarla, pero con demasiada frecuencia es un mensaje que no se transmite con la transparencia y claridad necesaria para ofrecer a la sociedad una perspectiva global y objetiva del tema.

Existen numerosos informes y estudios de organizaciones y expertos que cuestionan la viabilidad de una economía basada en el hidrógeno, identificando obstáculos, dudas y cuestiones a resolver en los diferentes aspectos o procesos que intervienen en la misma. De la misma forma, coexisten opiniones muy dispares,

cuando no contrapuestas, sostenidas por tales expertos, igualmente solventes.

En este sentido, el objetivo de este artículo es integrar y exponer de manera estructurada los diferentes aspectos en los que se centran las críticas y alertas de los detractores y escépticos de la economía del hidrógeno, junto con los beneficios y argumentos a favor de la misma.

Factores globales a debate

Plazos

El factor tiempo en el desarrollo de la economía del hidrógeno es un parámetro fundamental y en muchos casos de preocupación, especialmente a la vista de las crecientes presiones y urgencias por encontrar e implantar soluciones viables a las actuales tendencias medioambientales derivadas de las emisiones de CO₂ a la atmósfera y de la incertidumbre del mantenimiento de los sistemas energéticos ante la amenaza del agotamiento pre-

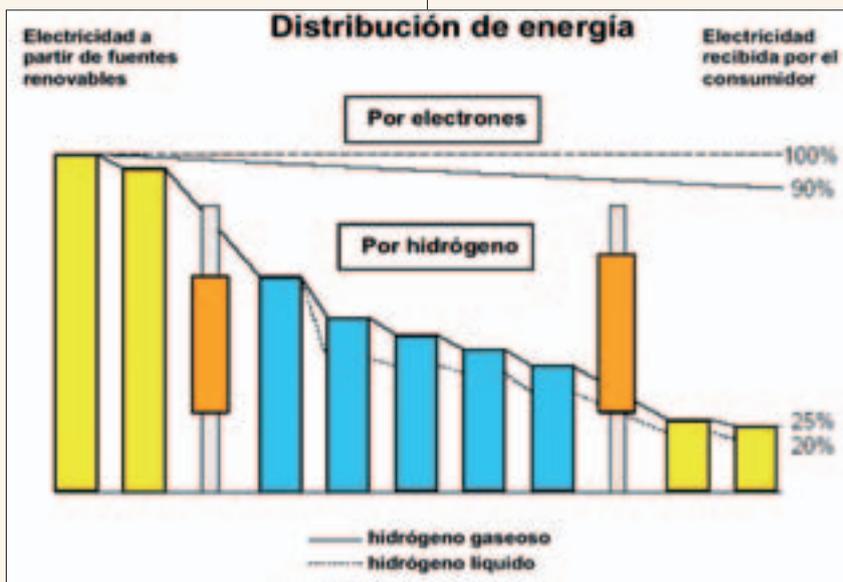
mature de los combustibles fósiles y del crecimiento de su precio (especialmente el petróleo). Las estrategias de transición tratan de planificar la progresión del avance hacia la economía del hidrógeno y las actuaciones para llevar a cabo los objetivos y escenarios de futuro definidos.

Hidrógeno puro o combustibles líquidos sintéticos

Algunos expertos han llegado a la conclusión de que la economía del hidrógeno en el sector del Transporte, basada en la utilización de hidrógeno en su estado elemental, es inviable debido a las altas pérdidas energéticas que tienen lugar a lo largo de su ciclo completo, desde la producción, pasando por el almacenamiento, transporte y distribución, hasta llegar a su uso final (la eficiencia energética well-to-tank en un sistema de producción de hidrógeno por electrólisis con electricidad obtenida a partir de carbón, no superaría el 20%). Tanto es así, que proponen centrar la atención en hidrocarburos líquidos sintéticos, como el metanol y etanol, sintetizados a partir de agua y carbón, éste último obtenido de la biosfera o reciclado de plantas energéticas (biocarbón) [1].

Utilización directa de la energía eléctrica

En el supuesto caso de que la electricidad de fuentes renovables llegue a ser la fuente principal de energía algún día (lo cual podría ser objeto de otro debate), cabe preguntarse cuál sería la mejor forma de transportar dicha energía eléctrica: utilizando hidrógeno como vector energético o la propia electricidad. Los defensores de la opción eléctrica se basan en que el hidrógeno es menos eficiente que la electricidad para el aprovechamiento de la energía procedente de energías renovables. Mientras que la eficiencia de la transmisión de electricidad puede ser superior al 90%, en el caso del hidrógeno se estima que sólo el 25% de la energía original obtenida puede ser recuperada, como resultado de las pérdidas acumuladas en las distintas fases del proceso. Esto significa que las 3/4 partes de la



Pérdidas en la transmisión y uso de energía eléctrica renovable
Fuente: "The hydrogen illusion. Why electrons are a better energy carrier", European Fuel Cell Forum

energía recogida en plantas de generación renovables se perdería [2].

Bajo esta perspectiva, se sugiere que la utilización del hidrógeno se limite a aplicaciones en las que la energía eléctrica no pueda aportar soluciones o para almacenar energía proveniente de fuentes renovables intermitentes.

Necesidad de avances científicos radicales

En algunos artículos procedentes del mundo científico [3], se alerta sobre la gran diferencia existente entre el estado del arte de la tecnología y los objetivos finales que se están marcando en los grandes programas de desarrollo de la economía del hidrógeno. Por ejemplo, en los EEUU, "The Hydrogen Initiative" pretende llegar al uso comercial de pilas de combustible en 2012, con su entrada masiva en el sector del transporte en 2020. Sin embargo, las tecnologías actuales del hidrógeno no son todavía opciones competitivas en el mercado, estimándose necesario para ello factores de mejora del orden de 4-10 para las tecnologías de producción, de 2-3 para las tecnologías de almacenamiento y de 10-100 para las tecnologías de pilas de combustible. Por ello, lo realmente crítico para muchos

es la realización de un intenso esfuerzo de I+D de carácter básico con el que encontrar respuestas a los problemas científicos fundamentales.

Obstáculo o impulso al desarrollo de las energías renovables

Algunos temen que la inversión y apoyo público necesarios para el desarrollo de la economía del hidrógeno provenga de los presupuestos destinados a las energías renovables, pudiendo llegar a frenar el desarrollo de las mismas. Por el contrario, otros defienden la importancia de mantener programas de apoyo en ambas líneas, y manifiestan la existencia de una fuerte complementariedad del hidrógeno con las energías renovables, debido a la utilización del primero como sistema de almacenamiento de excedentes de energía de fuentes renovables (como eólica o fotovoltaica) [4].

Seguridad del hidrógeno

Las dudas que se plantean en torno a la seguridad del hidrógeno se antojan como uno de los factores que pueden inhibir el avance hacia una economía basada en el hidrógeno. El desastre del Hindenburg en 1937 ha contribuido a crear una opinión negativa del hidrógeno en la sociedad que todavía perdura, aunque sea de forma injusti-

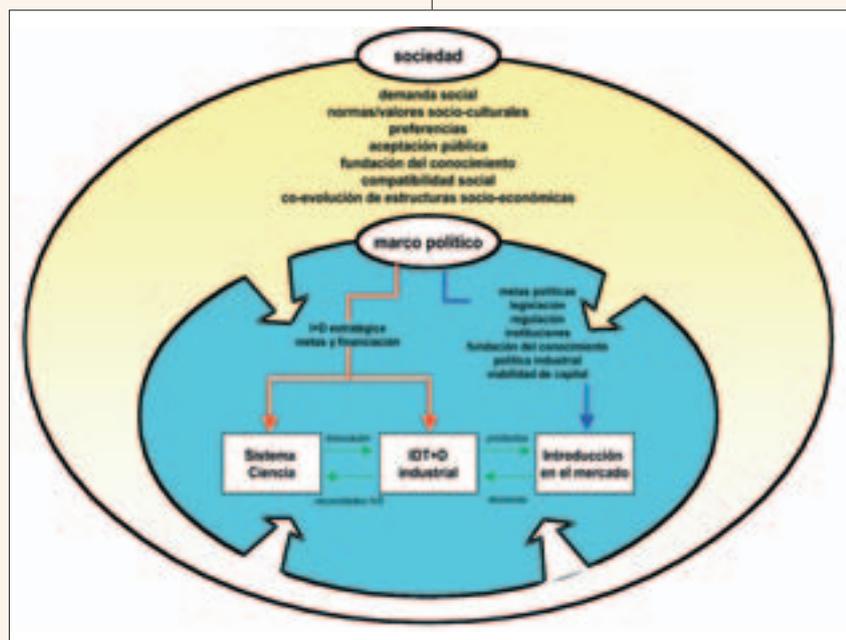
ficada como han demostrado análisis posteriores de las causas.

Hoy en día, si bien parece claro que el hidrógeno no está exento de ciertos riesgos que han de ser considerados y analizados, teniendo en cuenta la larga trayectoria del hidrógeno en aplicaciones industriales con niveles de seguridad similares a los de otras sustancias potencialmente peligrosas, parece lógico pensar que si se definen adecuadamente y se respetan las normas y regulaciones futuras sobre el hidrógeno será posible su manipulación dentro de unos límites de seguridad aceptables.

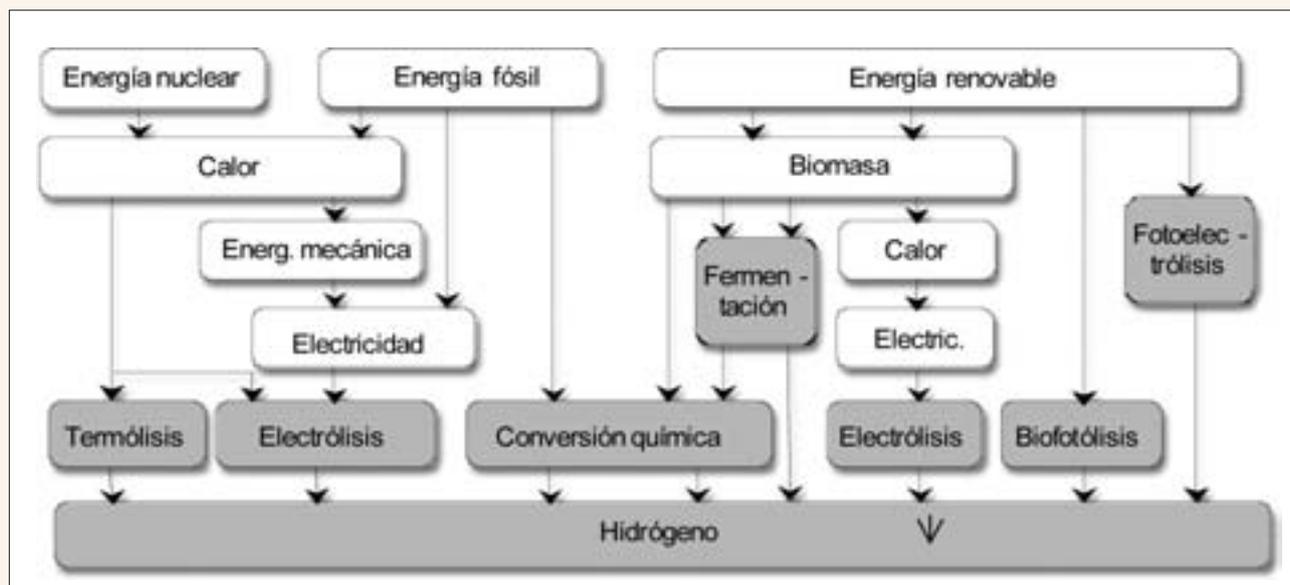
Implicaciones en el medio ambiente y la salud

El efecto medioambiental de un sistema energético basado en el hidrógeno depende de múltiples factores, como la cantidad de hidrógeno utilizado o los procesos necesarios para su producción. Estas consideraciones se pueden resumir en los siguientes aspectos:

- Emisiones de CO₂. Estas emisiones se reducirían si la generación de hidrógeno fuese a partir de fuentes renovables (con un sistema de transporte por superficie basado en hidrógeno limpio se conseguirían disminuir las emisiones globales de CO₂ en un 20%) [5]. Si, por el contrario, el hidrógeno se genera a partir de combustibles fósiles, la cantidad de emisiones sería comparable a la actual, a no ser que se empleasen técnicas de secuestro de carbono asociadas a sistemas de producción de hidrógeno centralizados.
- Calidad del aire. A través del uso del hidrógeno en el transporte se conseguiría un descenso importante de las emisiones de compuestos contaminantes como NOx, benceno y VOCs.
- Efectos en la capa de ozono. Según un estudio teórico de científicos del MIT [6], las fugas (entre un 10-20%) que se producirían en un trasiego masivo del hidrógeno podrían tener efectos más destructivos para la capa de ozono que los producidos en la actual economía basada en los combustibles fósiles, aunque otros consideran dichos niveles de fugas



Impacto de los parámetros socioeconómicos en el desarrollo tecnológico y de mercado Fuente: The European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform, Strategic Research Agenda



Procesos de producción de hidrógeno

Fuente: European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform.

muy sobredimensionados (los estiman entre 1-2%) [4].

Si bien una de las fuerzas impulsoras de la utilización del hidrógeno como vector energético es precisamente su capacidad para contribuir al desarrollo sostenible, a través de la reducción de las emisiones de CO₂ y de otras sustancias contaminantes, es preciso prever y estudiar en detalle cualquier otro tipo de efecto medioambiental que pueda derivarse de su utilización.

Aspectos socioeconómicos

Aunque los aspectos tecnológicos concentran la mayor parte del esfuerzo y del debate, para gestionar adecuadamente el proceso de transición hacia la economía del hidrógeno es preciso tener en cuenta los factores sociales y económicos, situados en un plano diferente, desde el que tendrán una influencia en los anteriores.

Son tantas y tan diferentes las clases que hay que desarrollar para poner en marcha los mercados del hidrógeno, que las condiciones del entorno político que les rodea resultan críticas, pudiendo éste inhibir o apoyar su crecimiento a través de medidas y actuaciones en diferentes campos como la legislación, la regulación, los incentivos, la financiación a la I+D, etc. El entorno político, a su vez, forma parte del contexto social y éste tiene influencia, en última instan-

cia, tanto en los planos tecnológicos como económicos, a través de factores como la demanda social, las preferencias y hábitos socio-culturales o los valores sociales.

Producción

Producción limpia de hidrógeno

Un condicionante clave, en ocasiones soslayado, es el hecho de que el hidrógeno no es necesariamente limpio sino que puede serlo dependiendo de las fuentes utilizadas en su producción. Los métodos actuales de producción son inadecuados para sustentar la generalización del hidrógeno como vector energético de una forma económica y medioambientalmente viable, por lo que el cumplimiento de este objetivo depende de la eclosión de métodos de producción completamente nuevos a más bajo coste y sin emisiones de CO₂: métodos biológicos, fotoquímicos y separación termoquímica y termofísica de agua (conversión directa de calor solar concentrado y reactores nucleares a alta temperatura) [7].

Por lo tanto, hasta que estos nuevos métodos sean tecnológicamente viables y económicamente competitivos, los hidrocarburos van a seguir siendo la fuente primaria de energía en las primeras etapas de la transición hacia la economía del hidrógeno.

Papel de la energía nuclear

La relación potencial entre la economía del hidrógeno y el resurgimiento de la energía nuclear es uno de los temas más controvertidos. Algunos expertos consideran que la energía primaria necesaria para generar toda la demanda de hidrógeno sería demasiado elevada para poder cubrirse con energías renovables y ven en la energía nuclear la alternativa más viable para la producción limpia y a gran escala de hidrógeno a largo plazo. También existen opiniones divergentes que proclaman la inviabilidad económica de la alternativa nuclear, apoyándose en que sus costes son entre dos y tres veces superiores a los de la energía eólica y entre cinco y 10 veces los de las centrales de cogeneración de gas natural [4].

Capacidad de producción

Algunas perspectivas optimistas opinan que la trayectoria hasta hoy en cuanto a la capacidad de producción actual ofrece garantías para conseguir los niveles de producción necesarios en el futuro. Por ejemplo, si toda la producción mundial actual de hidrógeno (unos 50 millones de toneladas/año) se utilizara como fuente de energía para el sector Transporte, conseguiría reemplazar dos terceras partes del consumo mundial de gasolina. Considerando además que la producción anual de hidrógeno en el

Estimación coste infraestructuras de hidrógeno para distintas alternativas					
Escenarios	Coches de H ₂ en circulación en Europa	Estaciones de suministro necesarias	Coste de infraestructura de H ₂ (millones de €)		
			Alternativa 1 Producción centralizada en instalaciones de reformado de gas natural y transporte en depósitos	Alternativa 2 50% producción centralizada según AII.1 50% producción en pequeños reformadores de gas natural en estaciones de repostaje	Alternativa 3 50% producción centralizada según AII.1 50% electrólisis en estaciones de repostaje
2020	6,1 millones	2.800	3.500	5.000	5.000
2030	41,2 millones	18.600	18.000	25.000	30.000

Fuente: "The Economics of a European Hydrogen Automotive Infrastructure", 2004. E4tech

mundo crece a un ritmo del 6%, en principio parece razonable pensar que sería posible disponer de la capacidad de producción necesaria para realizar esta sustitución [4].

Sin embargo, hay que tener en cuenta que la producción actual de hidrógeno está basada mayoritariamente en el reformado de vapor de gas natural y oxidación parcial de hidrocarburos, procesos eficientes pero contaminantes, por lo que es conveniente analizar las implicaciones de la producción a partir de fuentes limpias como la electrólisis, en cuyo caso el panorama es más complicado debido a la menor eficiencia del proceso.

Disponibilidad de recursos de gas natural

La utilización de gas natural como fuente primaria fundamental para la producción de hidrógeno a corto-medio plazo plantea la duda de un posible agotamiento acelerado de este recurso. En la actualidad, se estima que un 8% del gas natural consumido en EEUU se utiliza para producir hidrógeno y que se necesitaría alrededor de un 20% de la producción anual de gas natural para alimentar de hidrógeno el parque automovilístico de EEUU. Algunos expertos manifiestan que a través de la mejora de la eficiencia energética en los sectores residencial e industrial podría ahorrarse el gas natural suficiente para compensar el incremento anterior. Incluso sin este ahorro, la transición al hidrógeno puede conducir a una disminu-

nución del consumo de gasolina y gas natural simultáneamente (el consumo neto de gas natural podría disminuir ya que el consumo de gas natural en los procesos de producción de gasolina podría ser mayor que el originado en la producción de hidrógeno para reemplazar a ésta) [4].

Producción centralizada o distribuida

Cuando se analiza la producción de hidrógeno como parte de un sistema global en el que es preciso también considerar su transporte y distribución hasta los usuarios, surge la disyuntiva entre la producción a gran escala de hidrógeno de forma centralizada o su producción distribuida en múltiples instalaciones de menor capacidad pero más cercanas al punto de uso.

Para muchos, la opción más adecuada a corto plazo es comenzar con puntos de producción distribuidos y cercanos al cliente que se aprovecharían de la infraestructura ya existente de gas natural o electricidad para la obtención de la energía necesaria para producir hidrógeno por reformado o electrólisis respectivamente, y evitando todos los costes asociados a una infraestructura de transporte y distribución de hidrógeno [4].

Sin embargo, existen opiniones y estudios que defienden lo contrario. Según un estudio de la empresa gasista **Linde** dirigido a evaluar los costes de diferentes alternativas para el establecimiento de una infraestructura de hidrógeno para el sector transporte en Europa, la mejor opción es

la producción centralizada en grandes plantas de reformado de gas natural y con transporte en depósitos del hidrógeno líquido a la red de estaciones de suministro.

El análisis concluye que "distribuir hidrógeno es más barato que su producción distribuida". Para un escenario en 2030 en el que circulen más de 40 millones de vehículos de hidrógeno en Europa, una infraestructura centralizada puede resultar de un 28% a un 40% más económica que alternativas basadas parcialmente en producción distribuida.

Almacenamiento, transporte y distribución

El desafío del almacenamiento

El almacenamiento de hidrógeno es un aspecto crítico para el desarrollo de sus aplicaciones en el Transporte y, según algunas fuentes, requiere un salto tecnológico radical. Es preciso el descubrimiento de un nuevo material que permita disponer de un depósito de hidrógeno en los automóviles que cumpla las expectativas de rendimiento de los usuarios. Considerando que un conductor espera recorrer 450 km sin repostar y poder llenar su depósito en un período de tres a cinco minutos, estas fuentes estiman que, según la tecnología que existe actualmente, es necesaria una mejora en un factor de 2 a 3 para que el almacenamiento de hidrógeno sea competitivo [3].

Para otros, si bien es conveniente la optimización y búsqueda de nuevos sistemas para el almacenamiento, no se considera algo esencial. Con la tecnología actual de almacenamiento de hidrógeno gaseoso comprimido aplicada a vehículos más eficientes (diseñados para menor consumo energético) se puede llegar a soluciones comercialmente viables [4].

Aprovechamiento de la infraestructura existente de gas natural

Una opción barajada para aliviar los costes de una infraestructura específica de transporte y distribución de hidrógeno reside en la posibilidad de utilizar la infraestructura ya existente para el gas natural. Dependiendo del

material de la tubería, de su presión y de la tecnología de los usuarios finales, se puede transportar hidrógeno mezclado con gas natural en concentraciones de hidrógeno no superiores al 15% en volumen, ya que, por encima de esta proporción, aparecen problemas de fugas, corrosión y degradación de los materiales de la tubería [5]. En función de las aplicaciones y su tecnología, la mezcla de gas natural e hidrógeno puede ser utilizada directamente o ha de ser separada.

Pérdidas de energía en almacenaje, transporte y distribución

Uno de los argumentos fundamentales de los detractores de la economía del hidrógeno son los altos costes e ineficiencias energéticas asociados a los sistemas de almacenamiento, transporte y distribución. En todas las etapas y alternativas se producen notables pérdidas energéticas como, por ejemplo, [1]:

- En la compresión del hidrógeno a 200 atmósferas se pierde alrededor de un 8% de la energía del hidrógeno (sobre su PCS).

- En el proceso de licuefacción el nivel de pérdidas se estima en un 40% y además se producen pérdidas diarias por ebullición de un 3-4% en los sistemas de almacenamiento de hidrógeno líquido.

- El transporte por tubería de hidrógeno gaseoso requiere también un alto gasto energético creciente con la distancia (en 3.000 km se consume una tercera parte de la energía del hidrógeno original).

- En el transporte por carretera, el consumo de combustible de los camiones representa, para una distancia de 100 km, el 6% de la energía del hidrógeno transportado en caso de ser gas comprimido (a 200 atmósferas) y el 1% en caso de ser hidrógeno líquido.

- En las estaciones de servicio se producen pérdidas, por la transferencia de hidrógeno entre recipientes a diferente presión, estimadas en un 3% (para el paso de un tanque a 100 atmósferas a otro a 350).

La pregunta obvia que resulta es si el conjunto de las pérdidas mencionadas tienen solución y si suponen una barrera insalvable.

Aplicaciones energéticas

Círculo vicioso para el uso del hidrógeno en el Transporte

De igual manera que la creación de una infraestructura de suministro de hidrógeno depende de una demanda suficiente de vehículos usuarios, la existencia de esta demanda no se producirá hasta paliar la falta de dicha infraestructura. Este es el dilema que gira actualmente en torno a la falta de incentivos que faciliten el establecimiento de una infraestructura de hidrógeno adecuada.

En este sentido, los fabricantes de automóviles utilizan como argumento la imposibilidad de desarrollar un mayor número de vehículos de hidrógeno, ante la falta de estaciones de suministro que los abastezcan y, por otro lado, los suministradores de energía reclaman una demanda de vehículos suficiente como para comenzar a construir la infraestructura de distribución y suministro de hidrógeno apropiada.

Justificación e interés de utilizar hidrógeno

Algunos expertos defienden que el uso de hidrógeno está justificado únicamente cuando existe alguna razón para no usar directamente la fuente de energía primaria de la cual se obtiene éste. El sector Transporte es uno de estos casos ya que no es posible generar a bordo la energía, salvo excepciones como el sector naval en el que se genera en ocasiones energía nuclear a bordo. Sin embargo, en todas las aplicaciones estacionarias resulta más eficiente energéticamente la utilización de energía eléctrica que la utilización de hidrógeno.

Existe un amplio consenso en la viabilidad del hidrógeno en ciertas aplicaciones de nicho, ligadas fundamentalmente a su capacidad de almacenamiento de energía de fuentes renovables discontinuas. Por el contrario, la utilización masiva del hidrógeno como base del sistema energético es para muchos una utopía ya

que las pérdidas energéticas y costes que implica su ciclo completo, desde su producción hasta su uso final, lo hacen inviable frente a otras alternativas.

El vehículo de hidrógeno frente a sus competidores

El vehículo de hidrógeno tiene una característica principal que le hace enormemente atractivo: podría eliminar las emisiones de CO₂ del sector Transporte dado que, tanto su utilización en motores de combustión interna como en pilas de combustible, son procesos limpios. Sus defensores aseguran que la mayor eficiencia de las pilas de combustible frente a motores de combustión interna (2-3 veces superior, con lo que el consumo energético por km recorrido se reduce en la misma proporción) puede compensar los costes y pérdidas asociados a la producción y transporte de hidrógeno.

Desde el punto de vista exclusivamente técnico, el almacenamiento de hidrógeno a bordo es el principal obstáculo en el desarrollo del coche de hidrógeno aunque algunos prototipos ya están alcanzando una autonomía que puede cumplir con las expectativas mínimas de los futuros usuarios (el prototipo *Sequel* de **General Motors** tiene una autonomía de 482 km con un sistema de almacenamiento de gas comprimido).

Existen numerosos estudios que comparan el coche de hidrógeno con los motores de combustión interna tradicionales y otras alternativas como los híbridos (motor de gasolina o diesel combinado con motor eléctrico). Algunos de ellos concluyen que el coche de hidrógeno no presenta a corto plazo ventajas relevantes con el coche híbrido diesel, tanto en términos de consumo total de energía como de emisiones de CO₂.

Conclusión

Aunque se ha hecho menos énfasis en ellos, existen consensos sobre cuestiones que afectan al desarrollo del hidrógeno como vector energético. Entre éstos estaría la importancia inicial del gas natural para cualquier atisbo de desarrollo de la economía

del hidrógeno, la consolidación paulatina de las pilas de combustible portátiles como primera aplicación que se desarrolle en el mercado o la utilización del hidrógeno como fuente de almacenamiento de fuentes renovables discontinuas.

Pero, al día de hoy, son más y más complejas las cuestiones sobre las que hay opiniones contrapuestas que sobre las que existe consenso. La mera mención al término de economía del hidrógeno ya ofrece una idea del número y de la magnitud de sus implicaciones en múltiples ámbitos de la Sociedad. Es necesario ser consciente de dicha magnitud, es decir, de lo que supone el conjunto de eslabones y elementos que la integran para llegar a comprender la importancia de los problemas, barreras e intereses que se interponen para que algún día sea una realidad.

Puede parecer que es abrumador el número de cuestiones todavía abiertas, e igualmente abrumadores los datos y opiniones que se centran en cada una de ellas en uno u otro sentido, o las implicaciones que cada una de tales cuestiones suponen a su vez para el resto. No debe extrañar que, en este contexto, no resulte fácil, ni para el experto y menos para el recién llegado, obtener una visión nítida de si la economía del hidrógeno va a ser una realidad, en qué medida, en qué plazos, por qué caminos o con qué actores.

De cualquier forma, esta situación debiera incitar a que en todos aquellos ámbitos en los que existen responsabilidades sobre política energética se promueva un verdadero debate sobre cómo debemos abordar y cómo nos tenemos que preparar para la llegada del hidrógeno. En una Sociedad aparentemente madura social, económica y políticamente como la nuestra (aunque probablemente menos madura en el plano tecnológico), este debate es de una absoluta necesidad, al tiempo que, objetivamente, también suponga una herramienta de ayuda para, de una vez por todas, incorporarnos al tren que pasa a nuestro lado. Las oportunidades y los sectores afectados serán muchos (aún cuando el hidrógeno no llegue a al-

canzar la penetración que algunos auguran), en lo que concierne al suministro de equipos, componentes y materiales, en la operación de cualquiera de los eslabones de la cadena del hidrógeno, en el suministro de tecnología y de servicios avanzados, o incluso como facilitadores del conjunto. El debate estimularía en primer lugar la concienciación y la percepción de la magnitud del fenómeno, pasos previos imprescindibles para participar del mismo. Desarrollar una estrategia específica e integral debería ser el paso siguiente.

Referencias

1 "The future of the hydrogen economy: bright or bleak?", abril 2003. **Ulf Bossel, Baldur Eliasson, Gordon Taylor**, European Fuel Cell Forum.

2 "The Hydrogen Illusion, why electrons are a better energy carrier". Cogeneration and On site Power Production, marzo-abril 2004. **Ulf Bossel**. European Fuel Cell Forum.

3 "The Hydrogen Initiative", marzo 2004. **Francis Slakey**. Panel on Public Affairs. American Physical Society.

4 "Twenty hydrogen myths", junio 2003. **Amory B. Lovins**, CEO. Rocky Mountain Institute.

5 "Hydrogen and its competitors. Riso Energy Report 3", noviembre 2004. Riso National Laboratory.

6 "Potential Environmental Impact of a Hydrogen Economy on the Stratosphere". Revista Science, Vol 300, junio, 2003. **Tracey K. Tromp, Run-Lie Shia, Mark Allen, John M. Eiler, Y.L. Yung**.

7 "Hydrogen... and old love story", **Carlo Rubbia**. ENEA and University of Pavia.

8 "The European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform. Steering Panel. Strategic Research Agenda", diciembre 2004. Comisión Europea.

9 "The European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform. Steering Panel. Deployment Strategy", diciembre 2004. Comisión Europea.

10 "In pursuit of the future IEA research towards H₂ energy", junio 2004. **Andreas Luzzi, Luigi Bonadio**. International Energy Agency (IEA).

11 "Hydrogen Posture Plan", febrero 2004. U.S. Department of Energy (DoE).

12 "The hydrogen energy economy: its long term role in greenhouse gas reduction", enero 2005. **Geoff Dutton, Abigail Bristow, Matthew Page, Charlotte Kelly, Jim Watson, Alison Tetteh**. Tyndall Centre for Climate Change Research.

13 "National Hydrogen Energy Roadmap", noviembre 2002. U.S. Department of Energy (DoE).

14 "A National vision of America's Transition to a Hydrogen Economy - To 2030 and beyond", febrero 2002. U.S. Department of Energy (DoE).

15 "Moving to a Hydrogen Economy: Dreams and Realities", Enero 2003. Standing Group on long-term-cooperation. International Energy Agency.

16 "Towards a European Hydrogen Energy Roadmap", mayo 2004. Preface to Hyways- the European Hydrogen Energy Roadmap Integrated Project, Executive Report. HyNet Partners.

17 "The hydrogen economy: opportunities, costs, barriers and R&D needs". 2004. National Research Council (NRC).

18 "I Congreso Nacional de Pilas de Combustible - CONAPPICE". Ponencias del Congreso CONAPPICE 2004 celebrado los días 13, 14 y 15 de octubre de 2004 en el Parque Tecnológico de Miramón (San Sebastián). Asociación Española de Pilas de Combustible (APPICE).

19 "Hype about Hydrogen", marzo 2004. **Joseph J. Romm**. Assistant secretary of energy for efficiency and renewable energy (Clinton Administration).

20 "Comparative Assessment of Fuel Cell Cars", febrero 2003. **Malcom A. Weiss, John B. Heywood, Andreas Schafer, Vinod K. Natarajan**. MIT Laboratory for Energy and the Environment. ■