

En la actual civilización la energía se ha convertido en un elemento imprescindible para la sociedad. La energía es necesaria prácticamente para todas las actividades que realiza el hombre. Cada vez se hace más importante en el uso doméstico, donde la electrificación de los hogares es uno de los indicadores del modernismo y de la evolución, la industria ha sido el primer dinamizador de la energía y el transporte requiere un consumo energético no solo para garantizar la logística actual sino para satisfacer uno de los principales indicadores de la calidad de vida actual como es la movilidad.

El hidrógeno: vector energético del futuro

Fúnez Guerra, C.

Ingeniero de Minas, Ingeniero Técnico de Minas, Ingeniero del Centro Nacional del Hidrógeno y Profesor de la Escuela Universitaria Politécnica de Almadén.

Almansa Rodríguez, E. y Fuentes Ferrera, D.

Ingenieros Técnicos de Minas y Profesores de la Escuela Universitaria Politécnica de Almadén.



SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL

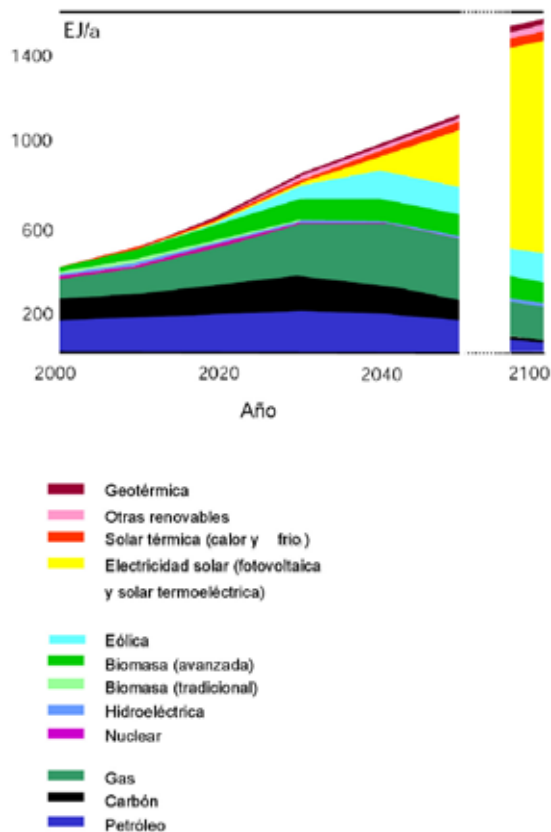
A principios del siglo XXI los recursos energéticos se centran fundamentalmente en un 80% en los conocidos como combustibles fósiles. Estos combustibles, que proceden del almacenamiento histórico de la biomasa producida durante siglos y almacenada en la corteza terrestre, fueron creados por la energía solar que es la impulsora de todo el sistema energético del planeta.

La minería del carbón fue la precursora de la era industrial y al mismo tiempo de uno de los cambios sociales más importantes que esta era industrial ha provocado como es la emigración desde los pueblos para concentrarse en las proximidades de los yacimientos mineros. Con el carbón surgieron otras industrias como la industria siderúrgica y metalúrgica, la industria cerámica y otras muchas industrias. El carbón llegó a utilizarse a escala doméstica hasta la última mitad del siglo pasado.

A la minería del carbón le siguió la producción petrolífera, en este caso más localizada en algunos lugares concretos, diferencia fundamental con el carbón que tiene una mayor distribución geográfica. El petróleo impulsó otras industrias como el sector del automóvil, o el sector de la petroquímica con el mundo de los plásticos. Los derivados del petróleo son los máximos responsables del abastecimiento energético al transporte.

El gas natural ha tenido una entrada en escena más tenue, entrando por el uso doméstico y metiéndose poco a poco en el sector energético como consecuencia de los avances tecnológicos para su manipulación y debido a su menor contenido en carbono total.

La propia evolución tecnológica, el incremento del nivel de vida y el aumento continuo de población han conducido a un continuo aumento del consumo energético. Los recursos energéticos fósiles se han acompañado de otros recursos como son: La energía hidráulica, la biomasa en especial en los lugares menos desarrollados, la energía nuclear y en los últimos años las demás energías renovables. Con independencia de la entrada de estos recursos energéticos distintos de los combustibles fósiles, la Agencia Internacional de la Energía en sus previsiones de la evolución del consumo de recursos energéticos, predice que para el año 2030 el consumo de energía se podría duplicar con respecto al que había a principios de siglo y además de toda esa energía se prevé que el 86% será de combustibles fósiles (Figura 1). Lo que viene a decir que cada vez se consumirán más com-



Fuente: German Advisory Council on Global Change, 2003, www.wbgu.de

Figura 1. Evolución de la demanda energética mundial bajo escenarios de impulso de políticas medioambientales propuesta por los paneles de cambio climático (WBGU-Alemania).

bustibles fósiles a pesar de la campaña actual tan fuerte en su contra y a pesar del Protocolo de Kyoto que de alguna forma culpa directamente del calentamiento global del planeta a las emisiones de dióxido de carbono producido con el consumo de los combustibles fósiles.

Este consumo energético por término medio se reparte a partes iguales entre el consumo doméstico, la industria y el transporte. Una de las primeras recomendaciones actuales se centra en la mejora de la eficiencia energética en todos los usos de la energía. Otro aspecto importante del uso de la energía es que una proporción muy importante de ella no se consume de forma directa. La electricidad es uno de los principales portadores energéticos utilizados y que es de los que tienen una mejor aceptación social. Otros de los portadores energéticos importantes son los combustibles líquidos derivados del petróleo con un uso intensivo en el transporte. Estos dos portadores junto con el gas natural son los vectores energéticos utilizados en la actualidad de forma intensiva.

El mayor problema existente en el mundo de la energía es el carácter limitado que tienen los combustibles fósiles.

El aumento de consumo energético y la gran dependencia de los combustibles fósiles deben reconducirse mediante un cambio importante en la gestión energética

Estos combustibles fósiles han sido formados durante siglos y se puede decir que en un siglo se han consumido en una alta proporción. Prescindiendo de las diferencias existentes en las predicciones de las reservas existentes de petróleo, gas natural y carbón, lo que es cierto es que estas reservas son limitadas y es casi seguro que el petróleo y el gas natural no podrán sobrepasar el presente siglo, llegando con dificultad a mediados de siglo. El carbón es seguro que tendrá una vida que podrá sobrepasar un par de siglos. No obstante, con independencia de la vida remanente de los combustibles fósiles, es más valioso su valor químico que su valor energético, o dicho con otras palabras, es más fácil encontrar recursos energéticos sustitutos de los combustibles fósiles y sin embargo va a resultar complicado encontrar sustitutos químicos a estos recursos naturales.

Por este motivo es conveniente encontrar alternativas energéticas en el sistema actual y de momento las dos alternativas son la energía nuclear y las energías renovables. Este cambio tiene una influencia importante en la producción de electricidad, pero el cambio más importante se encuentra en el transporte que tiene que ir abandonando los derivados del petróleo para empezar a utilizar otro portador energético.

Se puede concluir que la problemática del sistema energético actual es su fuerte dependencia de los combustibles fósiles debido a su efecto negativo sobre el medio ambiente por ser el causante de una parte importante del calentamiento global, pero, por otro lado, el problema importante es el carácter limitado que tienen los combustibles fósiles y la obligada búsqueda de alternativas.

El actual sistema energético en los países industrializados ha conducido a un sistema de generación centralizado que se concentra en grandes centrales eléctri-

cas de producción a partir de los distintos combustibles fósiles y de la energía nuclear, con algunas excepciones que usan las centrales electrohidráulicas. Acompañando a estos sistemas se encuentran las refinerías como sistemas de conversión del petróleo en los distintos combustibles líquidos que se usan tanto en transporte como en los diferentes usos energéticos y químicos.

Esta situación es mucho más grave en España ya que en estos momentos se importa el 83% de los recursos energéticos que se consumen lo que hace de esta dependencia energética una preocupante dependencia económica que únicamente se pueden reducir a base de usar recursos autóctonos.

PERSPECTIVAS DE LA GENERACIÓN ENERGÉTICA DEL FUTURO

El aumento de consumo energético y la gran dependencia de los combustibles fósiles deben reconducirse mediante un cambio importante en la gestión energética. Este cambio debe producirse de una forma progresiva para no provocar una crisis mundial. Lógicamente hay que analizar cuáles son las vías más adecuadas para dar solución a las diferentes demandas energéticas de todos los sectores. En el sector doméstico cada vez tiene un mayor grado de penetración la energía eléctrica. En el sector industrial aún el grado de dependencia de los combustibles fósiles es muy importante lo mismo que en sector del transporte. Las únicas alternativas de futuro como recursos energéticos primarios son las energías renovables y la energía nuclear. Por tanto las perspectivas de gestión energética para el futuro deben fundamentarse en ellas, aunque cada una de ellas tendrá un planteamiento diferente.

La energía nuclear debe tener una gestión básica idéntica a los actuales combustibles fósiles, es decir, producción centralizada y distribución pasiva. Cualquiera de sus dos formas distintas actuales, fisión y fusión, tienen problemas superables como la radioactividad y la gestión de sus residuos. En ambos casos se trata de tecnologías complejas de momento controladas por muy pocos países y con el agravante de su proximidad como recurso bélico. Se desconoce cómo puede evolucionar la percepción social sobre estas tecnologías, aunque de momento existe una cierta oposición social más basada en su desconocimiento que en sus riesgos potenciales.

La otra alternativa, conocida como las energías renovables, fue históricamente desechada debido a la fácil implan-



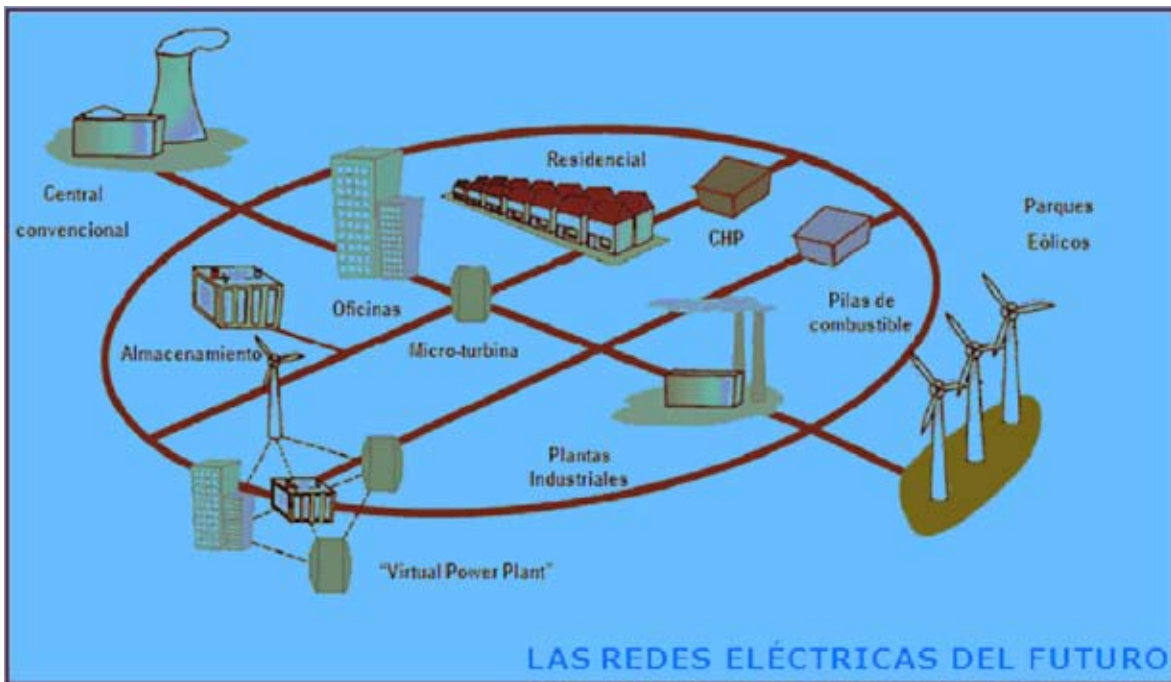


Figura 2. Recursos energéticos distribuidos con una gestión integrada de toda la red eléctrica.

tación de los recursos fósiles. La principal ventaja de estos recursos está en su abundancia y por supuesto en su carácter renovable. Con estos recursos se puede garantizar el suministro para todo el planeta de forma eterna. Por otro lado frente a estas grandes ventajas existen inconvenientes de consideración, como son su producción dispersa y alterante. Estos inconvenientes son los que las llevó a su abandono y los que les está suponiendo una gran dificultad para su introducción en el sistema energético actual.

Su generación dispersa obliga a cambiar la cultura de producción energética, dejando las grandes centrales y sustituyéndolas por infinidad de centros pequeños de producción dispersos en el terreno y aprovechando en cada lugar la más adecuada por su intensidad o por la disponibilidad del recurso. Este cambio básico en el sistema de generación puede conducir a un cambio en la sociedad en lo que respecta a estructuras urbanísticas y a estructuras industriales.

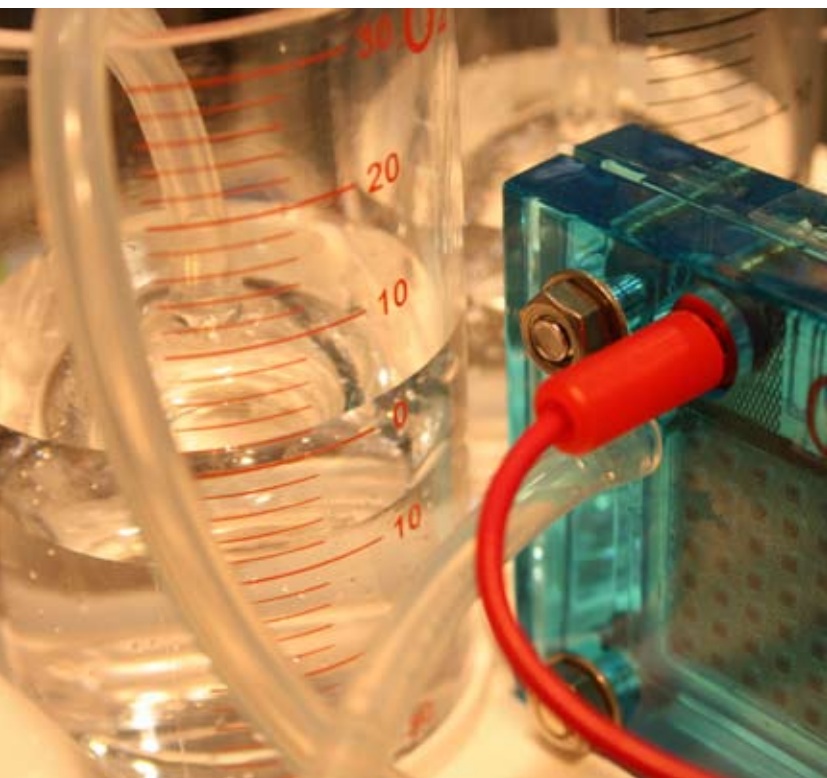
La generación alternante exige la aparición de sistemas de almacenamiento energético que permitan adecuar la curva alternante de producción a las curvas aleatorias de consumo. Hasta el presente el almacenamiento energético se acomodaba a cada uno de los usos finales de la energía. Los combustibles líquidos actuaban como almacenamien-

to para el sector transporte y los productos derivados del petróleo. El gas natural actuaba el mismo como sistema de almacenamiento o el propio carbón. Por el contrario la electricidad exigía una gestión adecuada de la producción para acomodarla a la gestión de la demanda.

En el caso de las energías renovables se tienen que conseguir nuevos sistemas de almacenamiento y al mismo tiempo se tienen que conseguir nuevos portadores energéticos que permitan llevar la energía producida en los sistemas de aprovechamiento energético a los diferentes usuarios energéticos y en especial al transporte.

Se tiene que evolucionar hacia una generación distribuida, cada vez más próxima al consumidor, de manera que se pueda llegar a un sistema de distribución activo en el que el propio consumidor pudiese llegar a ser su productor o al menos el productor de una gran parte de la energía que consuma. De esta manera se genera un sistema nuevo de funcionamiento constituido por múltiples redes eléctricas pequeñas. Pero estas redes deben tener un sistema de almacenamiento que permita llevar la energía producida en horas de bajo consumo a horas de alto consumo y baja producción (Figura 2).

Ante esta necesidad de almacenamiento energético y de nuevos portadores aparece el hidrógeno como un vector



energético que se ha venido utilizando siempre de forma ligada al carbono y que para el futuro pueda utilizarse de forma independiente. La utilidad del hidrógeno como portador energético estriba en la aparición de las pilas de combustible como sistemas de transformación de la energía almacenada en el hidrógeno en electricidad y calor. Con el hidrógeno y las pilas de combustibles se abre un nuevo futuro energético que puede acompañar tanto a las energías renovables como a la energía nuclear, con funciones similares pero a distintas escalas.

En la última década del siglo pasado se impulsó la investigación de sistemas de generación centralizada a altas temperaturas de pilas de combustible. Esa tendencia evolucionó a una intensa investigación en pilas de baja temperatura que en esta primera década del siglo XXI ha sido impulsada por el sector del automóvil en pleno a escala mundial. Efectivamente las distintas tecnologías de pilas de combustible permiten su utilización en transporte, en uso doméstico, en sistemas de cogeneración o en sistemas centralizados. Lo que en la última década del siglo pasado se orientaba para actuar como acompañantes de los combustibles fósiles, en el presente se orienta para su utilización con las energías renovables.

Por tanto la filosofía de gestión de la energía en el futuro puede ser construir numerosas redes de pequeña potencia aprovechando los recursos renovables más apropiados y

disponibles en cada caso. Con estos recursos se puede aprovechar directamente la energía en forma eléctrica y los excedentes se pueden transformar en hidrógeno. Con el hidrógeno almacenado se pueden abastecer los depósitos de los vehículos propios que lleven pilas de combustible o alimentar a las pilas de combustible domésticas que proporcionarán la electricidad de uso doméstico y el calor necesario o en su momento el frío en épocas estivales. Puede darse la circunstancia que se produzcan excesos de energía eléctrica, en cuyo se podría verter una red centralizada para abastecer a todos aquellos clientes que tuviesen en un momento deficiencias de suministro energético. Esta red centralizada podría estar conectada a grandes centros de producción como podrían ser centrales nucleares en el futuro o las actuales centrales termoeléctricas o saltos de agua. Este sistema sería el proceso de evolución desde la actual cultura de generación centralizada a la cultura futura de generación distribuida y lo que se tiene que conseguir es disponer de una red eléctrica que cada vez sea más permisiva con las conexiones de los pequeños productores.

HIDRÓGENO. ALTERNATIVA ENERGÉTICA DE FUTURO

Aunque todavía hay factores pendientes por resolver para una utilización rentable del hidrógeno, la tendencia parece indicar que este combustible es uno de los más convenientes para mejorar la eficiencia energética y mejorar la conservación del medio ambiente. El hidrógeno ayudará a resolver los problemas de almacenamiento y transporte de energía que en el futuro tendrá el uso masivo de renovables, pero además durante un periodo de transición permitirá un uso más eficiente y menos contaminante de los combustibles fósiles. Los estudios además, sugieren que el uso del hidrógeno puede reducir las emisiones, mejorando la calidad del aire y reduciendo la contaminación global del medio ambiente.

La característica fundamental del hidrógeno es que, aunque no es en sí una fuente energética, es un portador de energía como la electricidad, puesto que toda la energía que puede convertirse en electricidad también puede convertirse en hidrógeno. De este modo el hidrógeno es un vector energético que complementa perfectamente a la electricidad para almacenar y transportar la energía. Además puede almacenar energía sin que se produzca descarga, mediante el uso de las pilas de combustible alimentadas por hidrógeno, con las que se consigue una alta eficiencia



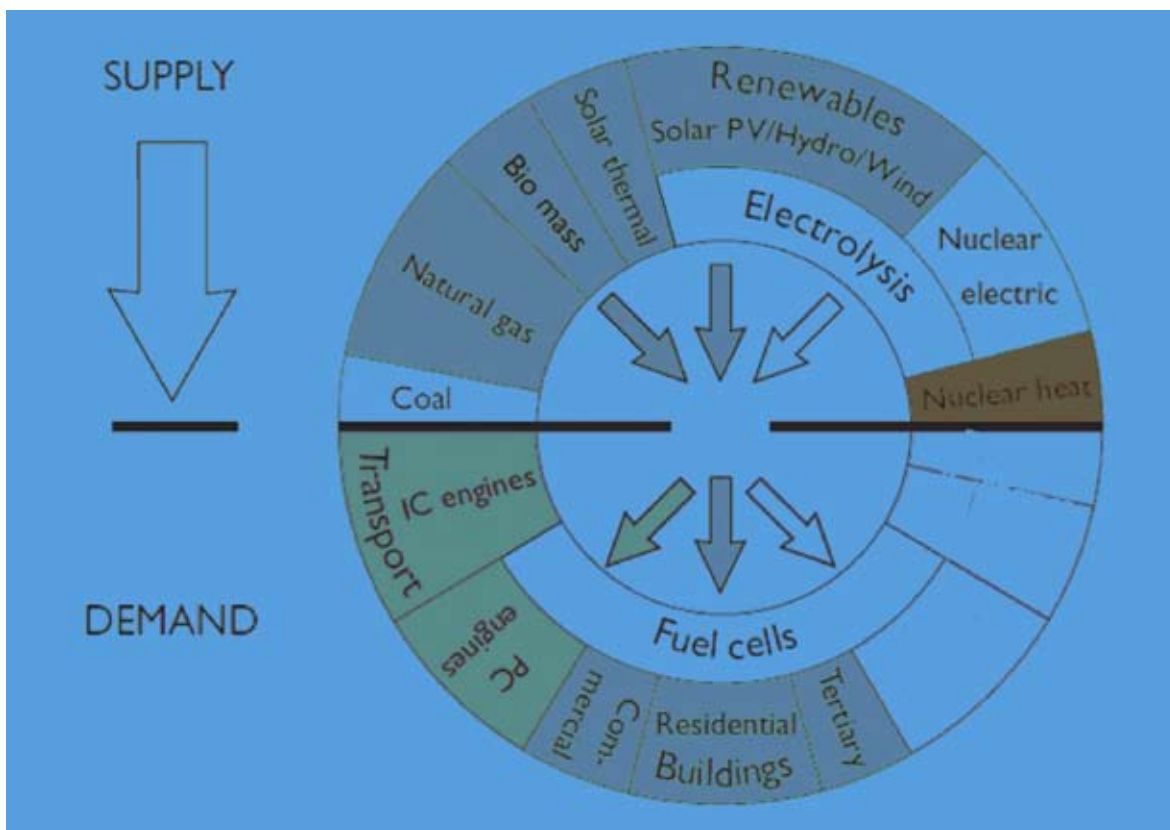


Figura 3: El vector hidrógeno visto desde el lado de la producción y las aplicaciones.

en la generación de electricidad.

Las propiedades más destacables del hidrógeno, a lo largo de considerarlo un buen combustible alternativo de cara al futuro, se pueden resumir en las siguientes:

- Más eficiente que los otros combustibles.
- Es inagotable y seguro.
- Es fácilmente almacenable y transportable.
- No altera el estado de la atmósfera, no contamina.
- Es económico de producir.

La producción del hidrógeno es muy diversa porque puede producirse a partir de una amplia variedad de fuentes de energía tanto tradicionales como renovables. Mayoritariamente en su obtención a escala mundial se ha extraído a partir de combustibles fósiles como el carbón, el gas natural y el petróleo. También aunque en pequeña escala se obtiene hidrógeno de alta pureza por electrólisis del agua, que se considera la principal fuente de hidrógeno, también existen otros métodos para la separación del agua como la descomposición termocatalítica.

Pero parece indiscutible que el hidrógeno producido a partir de energías renovables será la base energética del futuro, tales sistemas de producción de hidrógeno pueden basarse en energía solar, energía del océano, energía eólica,

energía geotérmica y energía de la biomasa. La forma de obtenerlo consiste en procesar los combustibles fósiles o la biomasa con átomos de hidrógeno mediante reformado, oxidación parcial, gasificación, etc. Por último cabe indicar que otros sistemas de producción de hidrógeno se basan en energía nuclear y en métodos biológicos usando algas, compuestos orgánicos y diversas bacterias, son los llamados procesos de bioproducción y de fotoproducción.

Debido a que el hidrógeno puede obtenerse de una diversa gama de fuentes de energía renovables, podría reducir los costos económicos, políticos y ambientales de los sistemas de energía. Por otra parte, a causa de la contaminación del aire, los costos relacionados con la preservación de la salud son un problema creciente y el hidrógeno también contribuiría a reducir estos costos porque no contamina, ya que al hidrógeno se le considera un vector energético respetuoso con el medio ambiente porque se convierte en vapor de agua en la combustión.

A largo plazo, el hidrógeno obtenido de fuentes renovables ofrece un potencial de energía que sería sostenible en todos sentidos.

En cuanto a las aplicaciones del hidrógeno de la figura 3 pueden extraerse las más habituales como es el

El hidrógeno se dispersa fácilmente; en caso de accidente se mezcla con el aire

uso en motores alternativos de combustión interna, aplicación en diferentes pilas de combustibles y aplicación en microturbinas de hidrógeno para obtener calor y electricidad que posteriormente serán aplicadas en diversas industrias, hogares, etc.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL HIDRÓGENO

Las ventajas y desventajas del hidrógeno derivan de sus propiedades físicas básicas. A continuación se citan algunas de las ventajas y desventajas más importantes.

Ventajas:

- El hidrógeno tiene el más alto valor calorífico y el más alto contenido de energía por unidad de peso que cualquier otro combustible. Esta es la principal ventaja del hidrógeno, que lo convierte en un combustible reconocido en aplicaciones en las que el peso es más importante que el volumen, tales como en los transbordadores espaciales. El hidrógeno tiene una alta densidad de energía contenida, prueba de ello es que 1kg de hidrógeno contiene la misma cantidad de energía que la contenida en 3.5 litros de petróleo, en 1kg de gas natural o en 8kg de gasolina. La densidad del hidrógeno es muy pequeña, del orden de unas 14.4 veces menor que la del aire en condiciones normales de presión y temperatura.
- La molécula de hidrógeno es la más ligera, la más pequeña y está entre las moléculas más simples, además, es relativamente estable.
- Cuando se le combina con el oxígeno, el hidrógeno puede producir electricidad directamente en procesos electroquímicos, rebasando los límites de eficiencia del ciclo de Carnot que afecta a los ciclos termodinámicos utilizados actualmente en la

mayoría de las plantas generadoras de potencia.

- Permite la combustión a altas relaciones de compresión y altas eficiencias en máquinas de combustión interna.
- Es un vector energético respetuoso con el medio ambiente que trae consigo reducción de la contaminación. Puesto que su uso disminuiría los daños medioambientales por su naturaleza libre de carbono y ya que lo único que produce el hidrógeno al quemarse con oxígeno es vapor de agua, no conlleva emisiones de hidrocarburos, ni CO₂, compuestos de azufre ni otros contaminantes. Sin embargo, los sistemas energéticos actuales emiten oxidantes (O₃, HO₂, PAH), aerosoles (SO₄) y otros gases (aldehídos y olefinas).
- Los márgenes de explosión para el hidrógeno en aire son más amplios que los del metano, por lo que el hidrógeno es explosivo a concentraciones más altas. El coeficiente de difusión para el hidrógeno es 4 veces más alto que el del metano. Por tanto, el hidrógeno se dispersa fácilmente en caso de accidente porque se mezcla con el aire considerablemente más rápido que el metano, lo cual en principio es una ventaja si los ambientes están bien ventilados, pero el hidrógeno se difunde en el aire tan rápido que en ocasiones puede ser superior de lo que se aconseja para la seguridad. La densidad del hidrógeno, menor que la del aire, hace que éste se eleve rápidamente y en caso de accidente se reduce la posibilidad de una explosión.

Desventajas:

- El hidrógeno tiene una energía muy baja por unidad de volumen como gas o como líquido, más o menos una tercera parte de la del gas natural o la gasolina y una cuarta parte del equivalente en volumen del metano. Esta es la principal desventaja del hidrógeno, su baja densidad incluso como líquido.
- La obtención del hidrógeno líquido requiere de un proceso altamente consumidor de energía y técnicamente complejo.
- Los contenedores para su almacenaje son grandes y el almacenamiento de cantidades adecuadas de hidrógeno a bordo de un vehículo todavía representa un problema significativo.



- El transporte de hidrógeno gaseoso por gaseoductos es menos eficiente que para otros gases.
- La proporción de pérdidas o escapes de hidrógeno gas a través de orificios y la de fugas es de 5 a 3 veces mayor que en el metano o el gas natural, pero la proporción de energía perdida es la misma que para el gas natural.
- El hidrógeno no es tóxico y no es contaminante, pero es difícil de detectar sin sensores adecuados ya que es incoloro, inodoro y en el aire su llama es casi invisible por lo que resulta más difícil de detectar y de extinguir en un fuego o explosión. El problema de la no visibilidad de su llama puede solucionarse añadiendo un colorante para hacerla visible y se recomienda el uso de compuestos de azufre para darle olor y que las fugas se detecten, añadir materiales extraños podría suponer problemas.
- El límite de inflamabilidad del hidrógeno podría causar problemas ya que el hidrógeno arde en concentraciones entre 4 y 75% en aire en volumen, mientras que el rango de inflamabilidad del metano está entre 5.3% y 15% y el del propano entre 1 y 9.5%.

CONCLUSIONES

Como conclusión se puede deducir que el hidrógeno por sí solo no es la solución al problema energético, precisamente porque no es una fuente de energía, sino un portador de la misma. Por tanto, aunque el sistema de conversión final sea muy eficiente (pila de combustible) es preciso considerar todo el ciclo de vida, siendo consciente de que los consumos energéticos tanto en la propia obtención como en el acondicionamiento para el almacenamiento y transporte pueden ser muy elevados.

Si el hidrógeno se produce de forma racional, a partir de energías renovables, carbón con captura de CO₂ o energía nuclear puede constituir una buena contribución a la solución del problema energético, pero dejando claro que no sería cierto que la economía se basaría en el hidrógeno, sino que lo haría en las fuentes primarias (renovables, carbón o nuclear), dando nuevamente como solución al problema energético una mezcla razonable de varias fuentes energéticas.

Con el precio del crudo en máximos históricos y los efectos del calentamiento global mostrándose de forma



BIBLIOGRAFÍA

– La economía del hidrógeno. Jeremy Rifkin. Barcelona, Paidós, 2002.

– La economía del hidrógeno – una visión sobre la revolución energética del siglo XXI. J. A. Botas, J. A. Calles, J. Dufour, G. San Miguel.

– Asociación Española del Hidrógeno. “Guía inventario sectorial del hidrógeno y las pilas de combustible en España” 2004.

– Appenzeller, Tim. El fin del petróleo barato. National Geographic. Junio 2004

– Bordons y otros. Curso de Extensión Universitaria: Hidrógeno y pilas de Combustible. Universidad de Sevilla, 2005

cada vez más palpable en el planeta, la necesidad de una alternativa al consumo masivo de combustibles fósiles se hace cada vez más necesaria, en definitiva, la implantación de la llamada economía del hidrógeno se perfila como una realidad ineludible en los próximos años. ■