

El hidrógeno como combustible alternativo en la producción de energía y su implementación en el transporte vehicular

Julián Rodrigo Quintero González

Ingeniero en Transporte y Vías, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Especialista en Geotecnia Vial y Pavimentos, Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja. Magíster en Ingeniería Ambiental, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Docente Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Investigador Grupo de Investigación y Desarrollo en Planeación y Operación del Transporte GIDPOT, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. jrquinterog.itv@gmail.com, julian.quintero@uptc.edu.co

Diana Carolina Nova Barón

Bióloga, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Magíster (c) en Ingeniería Ambiental, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. diana.nova@uptc.edu.co

Recibido: 30 de agosto de 2013 Aprobado: 10 de diciembre de 2013

Artículo de reflexión, como producto de la investigación elaborado por sus autores

Resumen

Este artículo presenta una descripción de las principales propiedades del hidrógeno como fuente de energía y su uso como combustible en vehículos automotores. La metodología se basó en un análisis comparativo entre indicadores (impacto económico, impacto ambiental, impacto social, impacto en la salud, riesgos, necesidades humanas y política) y aspectos (vector energético, almacenamiento del combustible, desarrollo tecnológico y el hidrógeno en el transporte) del cual se obtuvo como resultado una matriz comparativa de indicadores-aspectos, la cual permitió concluir que el hidrógeno representa una alternativa no solo sostenible, sino también versátil, en su utilización, sus procesos de obtención, almacenamiento y distribución y, su implementación como combustible en el transporte vehicular.

Palabras Claves: Hidrógeno, Combustible, Transporte Vehicular, Energía Sostenible.

Abstract

This paper presents a description of the main properties of hydrogen as an energy source and its use as fuel in vehicles. The methodology was based on a comparative analysis of indicators (economic impact, environmental impact, social impact, health impact, risk, human needs and politics) and aspects (energy carrier, fuel storage, technology development and hydrogen in transportation) which were obtained as a result of a comparative matrix of indicators and aspects, which led to the conclusion that hydrogen represents an alternative not only sustainable, but also versatile in its use, processes of acquisition, storage and distribution and its implementation as vehicular transport fuel.

Key words: Hydrogen, Fuel, Vehicle Transportation, Sustainable Energy.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las actividades comerciales e industriales, consideradas básicas para el crecimiento económico y desarrollo de los países en todo el mundo, se ha basado en la producción y consumo masivo de energía que en la mayoría de los casos es generada a través del procesamiento de recursos naturales no renovables, los cuales, al ser sometidos a diversos procesos físicos y químicos generan residuos y subproductos contaminantes que afectan y degradan el suelo, el agua y el aire. Desde este punto de vista, una de las actividades humanas que más impactos negativos tiene sobre el medio ambiente es el transporte, esto debido al uso desmedido de

combustibles fósiles para la producción de la energía necesaria para la operación de vehículos en los diferentes medios de transporte, entre estos el aéreo, el marítimo, ferroviario y carretero. Este último es considerado como la principal fuente emisora de agentes contaminantes hacia la atmósfera, los cuales degradan el recurso aire afectando la salud de las personas, animales y plantas. Esta situación ha impulsado el adelanto de nuevas investigaciones orientadas hacia el desarrollo de nuevas fuentes de energía que proporcionen la eficiencia de las fuentes convencionales y que además no generen impactos nocivos en los elementos del medio ambiente.

En lo relacionado con los combustibles para vehículos se ha avanzado en el uso de nuevas fuentes de energía como la energía solar, eléctrica y el uso de hidrógeno incorporados a la estructura de los vehículos. En el caso específico del hidrógeno, y de acuerdo con Manzini y Macías (2004), este es un elemento químico que al quemarse sólo produce energía y agua. Sin embargo, tiene multiplicidad de usos no energéticos en la industria y se emplea de esta manera en grandes cantidades, el uso no energético de hidrógeno que se consume actualmente es alrededor de la quinta parte del consumo actual de gas natural mundial y se obtiene a partir de la reformación de hidrocarburos fósiles. Esta situación demuestra que el hidrógeno cuenta con grandes ventajas desde la perspectiva medioambiental. La más importante es el hecho de que la combustión del hidrógeno no contamina y sólo produce como subproducto el agua, por tal razón, a continuación se presenta una descripción acerca de la evolución, desarrollo y situación actual del uso del hidrógeno como combustible, para vehículos de transporte terrestre y los beneficios que este tipo de energía presenta, frente a la preservación del medio ambiente.

II. GENERALIDADES

Uno de los primeros en demostrar que el hidrógeno se trataba de un elemento inflamable fue Henry Cavendis (1766), quien demostró que este elemento tenía la propiedad de arder en la atmósfera produciendo agua (Caparrós, 2004). En este sentido una de las

primeras experiencias de generación de hidrógeno data del siglo XVIII y corresponde a uno de los padres de la química actual, Antoine Laurent de Lavoisier, quien afirmó en su Tratado Elemental de Química que el agua no era una sustancia simple sino que estaba formada por dos compuestos: el aire vital; oxígeno, y este elemento al que llamo hidrógeno; “que produce agua”. Lavoisier también desarrollo un método para producir hidrógeno en grandes cantidades mediante la disociación del agua con un hierro calentado al rojo (Cabrera, 2006). Casi cien años después Julio Verne, en su novela “La isla misteriosa” (1874), hizo una predicción en la que algún día el agua, bajo la forma de sus componentes hidrógeno y oxígeno, serviría como fuente inagotable de energía (Gutiérrez, 2005). Las propiedades físicas y químicas del hidrógeno han permitido el desarrollo de numerosas aplicaciones industriales que a lo largo del tiempo han evolucionado. Antes de que finalizara el siglo XVIII, el hidrógeno encontró su primera aplicación práctica por el ejército francés en globos de reconocimiento. Más de un siglo después, Alemania lo empleó en sus dirigibles para cruzar el océano Atlántico e incluso como combustible para la propulsión de los llamados zeppelines, empresa que concluyó después de la catástrofe de Hindenburg en 1937 (Gutiérrez, 2005). Más tarde, después de la segunda guerra mundial, el hidrógeno se empleó sin gran éxito como combustible de motores de vehículos de todo tipo, incluidos locomotoras y submarinos.

A comienzos del siglo XIX, el hidrógeno fue utilizado como fuente de energía para la iluminación de las calles de París por Philippe Lebon, formando lo que hoy se llama “gas de síntesis”, una mezcla de hidrógeno y monóxido de carbono, desplazando a las lámparas de aceite y petróleo utilizadas hasta entonces. Luego, el primer motor de hidrógeno descrito por el reverendo W. Cecil en 1820, se movía por la presión de la atmósfera sobre el vacío causado por la explosión de una mezcla de hidrógeno y aire. Entre 1860 y 1879, N. A. Otto, inventor del ciclo de su nombre, utilizó el gas de síntesis como combustible en un motor de explosión para automóviles, sin embargo, el desarrollo del carburador impuso la utilización de la gasolina que en un principio había sido considerada más peligro-



sa que el gas. El hidrógeno también se ha utilizado como materia prima para la industria química, para aumentar el rendimiento de los motores de reacción y como combustible para cohetes (Gutiérrez, 2005). El descubrimiento de la pila de combustible por William Robert Grove en 1839, abrió nuevas posibilidades de uso final para el hidrógeno.

La primera pila tenía electrodos de platino y utilizaba ácido sulfúrico como electrolito con hidrógeno y oxígeno como combustible para producir electricidad y agua, no obstante el desarrollo de las máquinas térmicas y las pilas convencionales disminuyeron el interés por esta tecnología. Ya en la segunda mitad del siglo XX, la preocupación por el ambiente y los posibles efectos sobre el clima, el comienzo de la era espacial y la inquietud sobre el agotamiento de los combustibles fósiles trajo consigo un nuevo gran impulso sobre todo de la industria automovilista por el empleo a gran escala del hidrógeno, lo que desde entonces se ha llamado “la economía del hidrógeno” (Gutiérrez, 2005).

En 1953, Francis Thomas Bacon, construyó un prototipo de pila utilizando hidrógeno y oxígeno con un electrolito alcalino, en lugar de electrolitos ácidos, y electrodos de níquel, más baratos que los de platino utilizados anteriormente, que fueron la base para los diseños utilizados en los programas Geminis y Apolo por General Electric. Actualmente, la lanzadera espacial de la NASA utiliza pilas de combustible para producir agua potable y electricidad para la tripulación. Las primeras aplicaciones en vehículos fueron realizadas en Estados Unidos con pilas alcalinas: un tractor con una pila de 15 kW y un automóvil que usaba una pila de 6 kW como complemento a un sistema de propulsión eléctrico, el combustible era hidrógeno a presión y alcanzaba una autonomía de 300 km. Recientemente, la crisis del petróleo de 1973 y la necesidad de buscar fuentes alternativas de energía y proteger el medio ambiente, impulsaron las investigaciones para conseguir mejores componentes para las pilas de combustible; electrodos y electrolitos, los sistemas periféricos y los sistemas para almacenar hidrógeno.

III. EL HIDRÓGENO EN EL TRANSPORTE VEHICULAR

A. El hidrógeno como combustible

De acuerdo con el Departamento de Industria, Comercio y Turismo del Gobierno de Aragón (Gobierno de Aragón, 2006), el sistema energético actual se basa en la utilización de combustibles fósiles, viviendo por ello en lo que se ha denominado la “sociedad de los combustibles fósiles”, razón por la cual gran parte de las actividades que lleva a cabo el ser humano son posibles gracias a la energía de estos combustibles; por ejemplo para el transporte (coches, aviones, barcos), la calefacción de edificios, el trabajo de las máquinas, en la industria, etc. No obstante, existen dos razones principales por las que es deseable sustituir los combustibles fósiles por el hidrógeno: 1. La combustión del hidrógeno no contamina, sólo produce como subproducto agua, mientras que los combustibles fósiles liberan CO₂ que se fija en la atmósfera y es uno de los mayores responsables de lo que se denomina “efecto invernadero” y 2. Las reservas de combustibles fósiles se agotarán tarde o temprano, mientras que el hidrógeno permanecerá inagotable.

B. Obtención, almacenamiento, distribución y producción

1) Obtención

La obtención del hidrógeno en estado puro se puede hacer mediante la electrolisis del agua, combustibles fósiles y materia orgánica (Figura 1). El aprovechamiento energético de la biomasa es la gasificación, que permite obtener gas de síntesis (CO + H₂) que se puede utilizar como combustible directo o como materia prima química para preparar otros combustibles. La obtención de hidrógeno por gasificación de biomasa se presenta como una opción interesante pues tiene como ventaja el emplear un residuo, sin embargo, presenta inconvenientes como la emisión de CO₂, efectos corrosivos en las tuberías de transporte, pero reduce la dependencia de los carburantes fósiles. Frente a esta problemática, para obtener hidrógeno libre de carbono lo más factible es separar el hidrógeno del oxígeno en el agua por medio de electrolisis. Una de las principales desventajas de

esta técnica es el alto costo de energía para romper la molécula de agua, de manera que la solución se encamina hacia emplear energías renovables y/o energía nuclear. Actualmente compañías de automóviles ya han puesto en escena prototipos utilizando como carburante el hidrógeno, la forma de obtención más empleada es por medio del denominado reformado de vapor (steam reforming) a partir de hidrocarburos, siendo el principal proceso el reformado de gas natural por su rentabilidad.

2) Almacenamiento

El almacenamiento del hidrógeno presenta un reto en cuanto a las grandes cantidades necesarias para el desarrollo del transporte, de manera que se debe garantizar su bajo costo, seguridad y posibilitar su utilización. De esta forma, se presentan dos alternativas de almacenamiento: 1. Gasificado (comprimido a altas presiones) y 2. Líquido (combinación química o nanoestructuras de carbono). La técnica más usada es gasificado, aunque ésta no es la óptima para usarse como energía en vehículos debido al elevado volumen de los cilindros de almacenamiento.

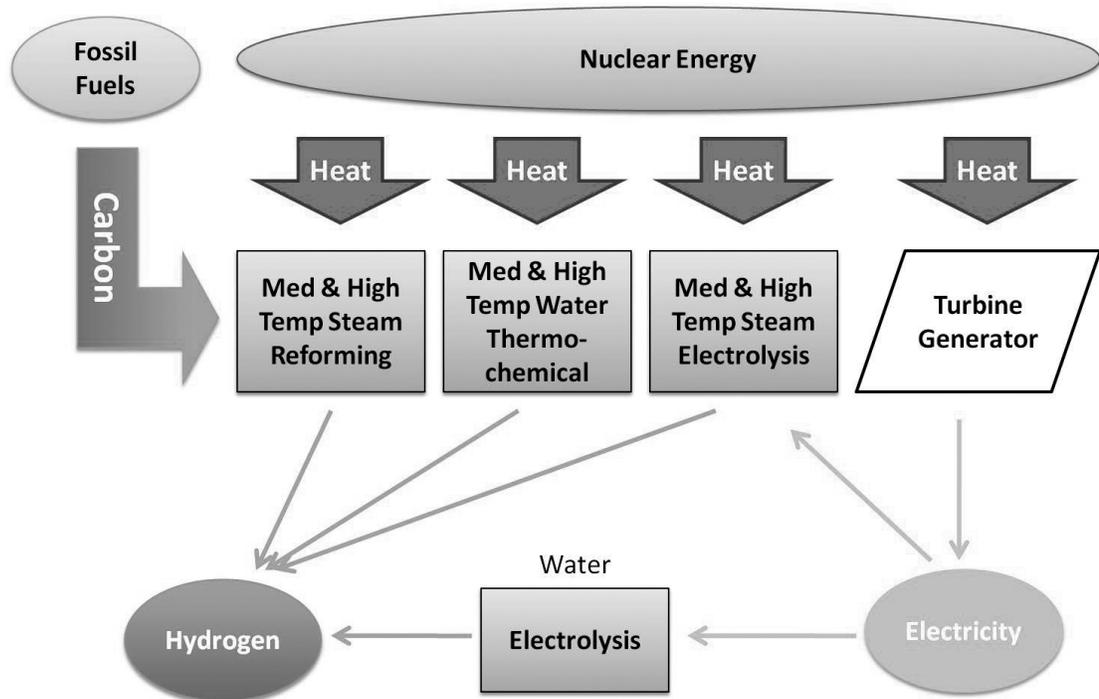


FIGURA 1. FORMAS DE OBTENCIÓN DEL HIDRÓGENO.
Fuente: <http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/chen2/images/f3big.jpg>

3) Distribución

La red de distribución de combustible presenta problemas ya que la implementación de legislación no ha sido uniforme a nivel mundial, sin embargo, en casos especiales como en el Estado de California (Estados Unidos) y en países de la Unión Europea como Alemania ya se cuenta con la normativa y la implementación técnica de las hidrogeneras (Figura 2), priorizando en automóviles híbridos debido a la baja cobertura de la red de distribución.



FIGURA 2. ESTACIÓN DE HIDROGENO EN BERLÍN, ALEMANIA
Fuente: http://www.cleanenergypartnership.de/cep_gallery/var/albums/CEP-Tankstellen/PIAD_051109_06.JPG?m=1295356337

4) Producción

Frente a la producción de vehículos, y como ya se ha visto en algunos países de Europa, la incompatibilidad de infraestructuras puede ser un importante impedimento debido principalmente a la oferta de un solo tipo de combustible de hidrógeno (procedente de metanol o gas natural). Esta situación representa un problema a solucionar antes de emprender una campaña de proliferación de vehículos de hidrógeno puro (Figura 3). De otra parte, los automóviles con carburante de hidrógeno puro tienen menor autonomía y necesitarán repostar con mayor frecuencia, lo cual obliga a disponer de hidrogenas espaciadas entre sí a menores distancias.

C. Sector energético y medio ambiente

El impacto medioambiental con una economía del hidrógeno sería el ideal de sostenibilidad en el sector energético ya que habría una reducción significativa de emisiones de CO₂ y por ende de gases de efecto invernadero, lo cual se traduciría en la posibilidad de regeneración de la atmósfera en un tiempo relativamente pequeño mejorando así la calidad del aire de las ciudades. Estas condiciones están dadas debido a la ausencia de carbono en un combustible como el hidrógeno, sin embargo, esto sólo sería posible si se dieran condiciones adicionales adecuadas para su implementación, convirtiendo a este combustible en un vector energético de sostenibilidad.

IV. RESULTADOS: CONTRASTE INDICADORES - ASPECTOS

Poner en juicio una alternativa como es el caso del hidrógeno en la industria automovilística implica hacer una valoración del ciclo de vida, su repercusión tecnológica y rentabilidad económica y social. En respuesta a esto, se hace necesaria la evaluación mediante una matriz informativa donde se consideran aspectos de gran trascendencia; impacto económico, medioambiental, social, salud, riesgo, necesidades humanas e impactos políticos, que permita la realización de la evaluación a través del planteamiento de indicadores respecto al desarrollo del hidrógeno como fuente de producción de energía frente a criterios de posibilidades reales y que pueden resultar benéficos en los aspectos anteriormente planteados. Conforme a lo anterior, y basado en lo expuesto por autores como Gene y Aceves (2006), Bolívar et ál. (2006), García et ál. (2006), Mendoza (2006) y recientemente Gutiérrez et ál. (2007) y Valero y Coca (2009), en relación con el hidrógeno y sus propiedades, a continuación se presenta una evaluación comparativa de indicadores y aspectos referentes al uso del hidrógeno y su aplicabilidad en la incorporación como combustible en el transporte vehicular (Tabla I).

FIGURA 3. VEHÍCULO ALIMENTADO CON HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE

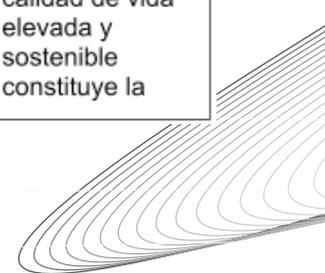
Fuente: <http://www.hydrogenlink.net/news/pics/hyundai-kia-hydrogen-fuel-cell-electric-vehicle-crossing-denmark.JPG>



TABLA I.
MATRIZ INDICADORES-ASPECTOS USO DE HIDRÓGENO
EN EL TRANSPORTE VEHICULAR

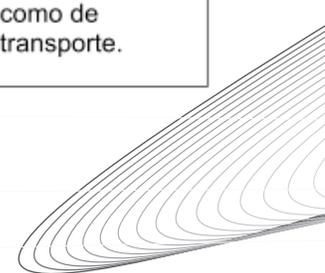
INDICADOR/ ASPECTOS	VALORACIÓN DEL CICLO DE VIDA		REPERCUSIÓN TECNOLÓGICA	
	VECTOR ENERGÉTICO	ALMACENAMIENTO DEL COMBUSTIBLE	DESARROLLO TECNOLÓGICO	ÉXITO DEL HIDRÓGENO EN EL TRANSPORTE
IMPACTO ECONÓMICO	<ul style="list-style-type: none"> •Eficiencia energética: conversión directa de la energía, reducción de la dependencia energética. Pilas de combustible tiene elevada eficiencia. •La electrolisis necesita consumir bastante energía para romper la molécula de agua, por tanto se hace necesario el uso de energías renovables o energía nuclear. •El kg de hidrógeno producido por gas natural tiene un costo de 5 euros (\$11998,15). •El kg de hidrógeno producido por electrolisis costaría 5 euros (\$11998,15), mientras que con otras técnicas se aprecia un costo de obtención de 3,5 euros (\$8398,71) - 8 euros (\$19197,04). •La cantidad de agua 	<ul style="list-style-type: none"> •Se necesita un depósito más grande y más pesado condicionando el tamaño de los vehículos. •Se necesita más potencia, y por tanto mayor consumo y costo. •Los automóviles con carburante de hidrógeno puro tienen menor autonomía y necesitarán repostar con mayor frecuencia. •Implementar mayor número de hidrogeneras respecto a los combustibles convencionales. •Las pilas de combustible se producen a gran escala. •Hay diferentes tipos de pilas de combustible adecuadas a diferentes demandas y necesidades diversas. 	<ul style="list-style-type: none"> •Las pilas de combustible alcalinas (AFCs) presenta mejor rendimiento pero un alto precio debido a sus componentes catalizadores (platino/rutenio). •La disminución del precio de las pilas alcalinas es poco probable ya que la demanda de materia prima se incrementaría por escasez y necesidad de su uso. •Las pilas con tecnología PEM (Protón Exchange Membrane) constituyen una alternativa eficaz en cuanto al bajo costo. Sin embargo, la durabilidad está dada entre 10 y 15 años, siendo el uso de platino necesario y así limitando la 	<ul style="list-style-type: none"> •Las compañías Ford, Toyota, Honda, Volkswagen, Chrysler han desarrollado coches híbridos combinando gasolina y electricidad reduciendo consumo de combustible. •La introducción de los motores en su interior implica un aumento dimensional y reducción del espacio para los pasajeros. •El precio de un híbrido oscila entre 12000 (\$28'795.560) y 18000 euros (\$43'193.340) más que uno de gasolina o gasoil.

	que se necesita para producir hidrógeno como carburante, se estima para EEUU cerca de 150 millones de toneladas de agua al año para cubrir necesidades de transporte.		producción por ser un metal noble agotable. •Desarrollo económico de las empresas automovilísticas tardará décadas en ser sostenible.	
INDICADOR/A SPECTOS	VALORACIÓN DEL CICLO DE VIDA		REPERCUSIÓN TECNOLÓGICA	
	VECTOR ENERGÉTICO	ALMACENAMIENTO DEL COMBUSTIBLE	DESARROLLO TECNOLÓGICO	ÉXITO DEL HIDRÓGENO EN EL TRANSPORTE
IMPACTO AMBIENTAL	<ul style="list-style-type: none"> •Ausencia de emisiones de CO₂. •Reducir entre 70-80% de CO₂ a la atmósfera significaría la posibilidad de su regeneración en un tiempo relativamente corto y mejorar la calidad del aire. •Reducción de gases de efecto invernadero en un 20%. 	<ul style="list-style-type: none"> •Las pilas de combustible y el hidrógeno no son muy limpios si se fabrican a partir de productos fósiles contaminantes. •Existen diversos tipos de almacenamiento del hidrógeno como el gasificado donde los materiales de elaboración deben ser especiales preservando la seguridad y eviten riesgos (hidruros metálicos y nanoestructuras de carbono), sin embargo estos materiales presentan un elevado peso del sistema de almacenamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> •Las celdas de combustible podrían reducir de manera muy favorable la contaminación del aire urbano, reducir importaciones en los países que así obtienen este recurso energético, reducir el déficit comercial y generar empleos. 	<ul style="list-style-type: none"> •El Departamento de Energía de los EEUU proyecta que si tan sólo un 10% de los autos de este país fueran movidos por celdas de combustibles, los contaminantes (bajo regulación) del aire serían reducidos un millón de toneladas al año y que 60 millones de toneladas de CO₂ serían completamente eliminados.
IMPACTO SOCIAL	<ul style="list-style-type: none"> •Para garantizar un marco económico competitivo, los sistemas energéticos han de satisfacer a precios asequibles las siguientes necesidades sociales: - Mitigar los efectos del cambio climático. 	<ul style="list-style-type: none"> •Actualmente, el hidrógeno y las pilas de combustible no ofrecen al usuario final suficientes ventajas a corto plazo como para compensar unos costos superiores a los de las tecnologías convencionales. • Teniendo en cuenta 	<ul style="list-style-type: none"> •La economía del hidrógeno requiere un nivel tecnológico muy alto del cual carecen los países más desfavorecidos y los países productores de petróleo. 	<ul style="list-style-type: none"> •El hidrógeno como energía implicará un profundo cambio en la estrategia mundial. •Conseguir una calidad de vida elevada y sostenible constituye la



	<ul style="list-style-type: none"> - Reducir la producción de contaminantes tóxicos y - Hacer frente a la disminución de las reservas de petróleo. 	<p>lo anterior la estrategia de despliegue debería tratar de definir formas de aumentar la infraestructura y la producción y, así reducir costos creando oportunidades de mercado, lo cual a su vez generaría empleo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los países en vía de desarrollo no pueden producir materiales como aerogeneradores, plantas fotovoltaicas, electrolisis del agua o pilas de fuel. 	<p>justificación básica para desear un suministro de energía limpio, seguro, fiable y estable en el sector transporte.</p>
INDICADOR/A SPECTOS	VALORACIÓN DEL CICLO DE VIDA		REPERCUSIÓN TECNOLÓGICA	
	VECTOR ENERGÉTICO	ALMACENAMIENTO DEL COMBUSTIBLE	DESARROLLO TECNOLÓGICO	ÉXITO DEL HIDRÓGENO EN EL TRANSPORTE
IMPACTO EN LA SALUD	<ul style="list-style-type: none"> •El hidrógeno es extremadamente inflamable y por ende puede causar fuego o explosión. •La mezcla del gas con el aire es explosiva y ser absorbida por el cuerpo por inhalación. •Altas concentraciones de este gas pueden causar un ambiente deficiente de oxígeno. 	<ul style="list-style-type: none"> •Los individuos que respiran esta atmósfera pueden experimentar síntomas que incluyen dolores de cabeza, pitidos en los oídos, mareos, somnolencia, inconsciencia, náuseas, vómitos y deterioro de todos los sentidos. •El hidrógeno no causa mutagénesis, embriotoxicidad, teratogenicidad o toxicidad reproductiva. •En los casos más graves y bajo algunas circunstancias se puede producir la muerte. 	<ul style="list-style-type: none"> •El hidrógeno no produce residuos contaminantes ni consume recursos naturales, el método de hidrólisis usa como materia prima el agua. •Los sistemas de seguridad del hidrógeno tienen una amplia trayectoria. Además en caso de una fuga, el hidrógeno, en contraste con los otros combustibles, no es tóxico en absoluto. •Las celdas de combustible en funcionamiento normal son silenciosas. 	<ul style="list-style-type: none"> •Distintos estudios sostienen que si se utilizara el viento en la generación de la electricidad necesaria para extraer el hidrógeno del agua sería un proceso sin contaminación. •La conversión del agua en energía podría evitar anualmente millones de casos de enfermedades respiratorias. •La conversión de los vehículos actuales podría hacerse a un costo menor considerando los efectos de la gasolina en la salud.
RIESGOS	<ul style="list-style-type: none"> •No detona al aire libre. •No se descompone. 	<ul style="list-style-type: none"> •No es corrosivo ni radiactivo. •No emana mal olor. 	<ul style="list-style-type: none"> •Las mezclas con aire y la velocidad de propagación 	<ul style="list-style-type: none"> •La capacidad de destrucción del hidrógeno es

	<ul style="list-style-type: none"> •No entra en combustión espontánea. •No oxida. •No es tóxico, a menos que contenga impurezas (CO, As H3, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> •No compromete o pone en peligro el agua. •El hidrógeno líquido presenta aún muchos inconvenientes en cuanto al transporte y almacenamiento. 	<p>de la llama favorecen una posible explosión, mientras que la difusividad y la densidad tienden a reducir esta probabilidad.</p>	<p>superior a cualquier otro combustible y en un accidente automovilístico las consecuencias alcanzarían mayores dimensiones.</p>
INDICADOR/A SPECTOS	VALORACIÓN DEL CICLO DE VIDA		REPERCUSIÓN TECNOLÓGICA	
	VECTOR ENERGÉTICO	ALMACENAMIENTO DEL COMBUSTIBLE Y PILAS DE COMBUSTIBLE	DESARROLLO TECNOLÓGICO	ÉXITO DEL HIDRÓGENO EN EL TRANSPORTE
NECESIDADES HUMANAS	<ul style="list-style-type: none"> •La forma de obtención no es directa ya que no existe libre en la naturaleza. •Los esquemas tradicionales de obtención arrojan un balance energético negativo a lo largo del ciclo de vida. Elevado costo de producción. •Escasa densidad energética por unidad de volumen, que dificulta y encarece su manipulación. 	<ul style="list-style-type: none"> •La red de distribución de combustible de hidrógeno representan un problema dado que no hay igualdad en las leyes para todos los estados. •Incompatibilidad de estructuras. 	<ul style="list-style-type: none"> •Resolver los retos tecnológicos que plantea la producción, distribución, almacenamiento, infraestructura y seguridad del hidrógeno al tiempo que mejoran los materiales, los componentes y el diseño de sistemas. •Resolver los retos tecnológicos frente a las prestaciones, la duración y los costos del ensamblado de pilas de combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> •Reservas prácticamente ilimitadas. •Facilidad de combustión completa. •Bajo nivel de contaminantes atmosféricos. En estos momentos, con especial atención a la ausencia de CO₂ entre los productos de combustión.
ASPECTO POLÍTICO	<ul style="list-style-type: none"> •Evaluación de la posibilidad y de la eficacia de combinaciones alternativas de medidas políticas, incluidas las de fijación de precios, el impulso del mercado y la utilización activa de los regímenes de 	<ul style="list-style-type: none"> •Examen y elaboración de códigos y normas en apoyo del desarrollo comercial. Apoyo al diseño, la planificación y la evaluación de la viabilidad de las infraestructuras. •Examen y supresión 	<ul style="list-style-type: none"> •Apoyo (fiscal, financiero y regulador) a los proyectos piloto y de demostración mediante acciones directas o indirectas, incluidos descuentos en los impuestos sobre 	<ul style="list-style-type: none"> •Promoción de medidas de eficiencia energética para estimular la demanda de aplicaciones limpias, tanto estacionarias como de transporte.



	<p>contratación pública, incluidas posibles aplicaciones en la defensa.</p> <p>•Coordinación internacional de la elaboración de políticas y estrategias de despliegue.</p>	<p>de los obstáculos reguladores a la comercialización del hidrógeno y las pilas de combustible.</p> <p>•Simplificación y de las necesidades de planificación y certificación.</p>	<p>los combustibles y menores gravámenes bienes de capital.</p>	
--	--	--	---	--

Fuente: Los autores

V. DISCUSIÓN

El uso del hidrógeno presenta una serie de antecedentes que se remontan a más de tres siglos atrás, sin embargo, el estudio de sus propiedades como combustible alternativo sólo se inició hacia la segunda parte del siglo XIX, situación que explica el atraso en el desarrollo de nuevas investigaciones que busquen el desarrollo de tecnologías que permitan hacer un aprovechamiento del hidrógeno como combustible en forma coherente con las actuales necesidades de las comunidades a nivel mundial, en referencia con la contaminación atmosférica ocasionada por las emisiones de gases contaminantes producidos por los vehículos automotores. Los actuales proyectos desarrollados por diferentes casas automotrices como Ford, Toyota, Honda, Volkswagen y Chrysler brindan un panorama positivo frente a los retos que debe afrontar la comunidad mundial en relación con el desarrollo de nuevas y mejores tecnologías tendientes al diseño de procesos de producción eficientes que impulsen el aprovechamiento del hidrógeno. Este aspecto está directamente relacionado con la necesidad de inversión económica y técnica que deben realizar los países para implementar al hidrógeno como una energía alternativa, sin embargo, no se puede desestimar los beneficios, también económicos que podría generar el hidrógeno en la economía de las naciones basada en uso de energías sostenibles.

Aunque algunos autores mencionan que el hidrógeno no podrá ser la energía sustitutiva de los carburantes fósiles ante los inconvenientes e implementaciones que lo hacen poco viable. La ventaja más significativa del hidrógeno como combustible frente a las fuentes de energía fósil es el impacto medioambiental positivo que se genera, sin embargo, la importancia potencial del hidrógeno como portador de energía y sustituto del petróleo es el principal objetivo de las políticas de los países industrializados, lo

cual se puede evidenciar en la inversión en tecnología para la obtención, almacenamiento y transporte, que se ha acrecentado en los últimos años con la fabricación de prototipos y recientemente la comercialización de automóviles por casas automovilísticas como Honda. En la actualidad, en países de la Unión Europea ya se han venido implementando este tipo de mecanismos de desarrollo limpio a través de la disposición de las plantas de producción de hidrógeno, el desarrollo de mecanismos cada vez más eficientes para la distribución y las hidrogenas como infraestructuras seguras y eficaces que permiten articular todo un sistema de producción de energía limpia con los sistemas de transporte utilizados en estos países, lo cual muestra las bondades de la introducción de este tipo de tecnologías en el desarrollo de las actividades económicas de las regiones. En Colombia, a pesar de contar con una amplia red vial y de distribución de combustible fósil, el escaso número de investigaciones en el área de producción y tecnologías limpias se presenta como el principal obstáculo en la implementación de la producción de energía a partir de hidrógeno, lo cual exhibe un gran déficit en el desarrollo de la economía y la tecnología en el país considerando la riqueza hídrica en gran parte de su territorio.

VI. CONCLUSIONES

El hecho que el hidrógeno no contamine y en su proceso de combustión el único subproducto de éste sea el agua, sumado a las estimaciones hechas en todo el mundo en relación con el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles, son los dos aspectos fundamentales que ponen en manifiesto las bondades no solo del aprovechamiento de este elemento como mecanismo para la producción de combustible, sino también los

beneficios de realizar más y mejores proyectos enfocados hacia la planeación, diseño y desarrollo de la infraestructura necesaria para optimizar los procesos de explotación y producción de este recurso. Aunque existen diversas formas para realizar la obtención del hidrógeno, la producción a partir de combustibles fósiles y la producción mediante el uso de biomasa, aun presentan inconvenientes derivados de la generación de emisiones de gases contaminantes como el monóxido de carbono y dióxido de carbono y el manejo de residuos en los procesos de producción. En respuesta a esta situación, la producción de hidrógeno mediante electrólisis es el mecanismo más eficiente en términos de aprovechamiento de la energía para la producción, sin embargo, este proceso presenta otros aspectos a considerar como los costos del consumo de energía eléctrica.

Una gran ventaja del hidrógeno como producto es la facilidad para su transporte dado que presenta gran versatilidad para ser almacenado en casi cualquier forma y mediante el empleo de cualquier mecanismo de acopio. Aunque al ser transportado se deben tener en cuenta todas las precauciones de seguridad como en cualquier otro combustible, éste puede ser transportado en diferentes formas como tuberías, camiones, barcos, trenes a presión y en los mismos vehículos automotores para los cuales servirá de combustible. Desde el punto de vista de su distribución, tanto el almacenamiento como el transporte representan el principal componente de un sistema de distribución eficaz que facilite el suministro de hidrógeno al consumidor. Dentro de las principales desventajas del uso de hidrógeno se encuentra la necesidad de utilizar energías primarias en sus procesos de producción como en el caso de la electrólisis que genera altos costos en los procesos productivos, para el caso del empleo de uso de combustible fósil, además de costos elevados adicionalmente presenta la desventaja de generación de emisiones de gases en su proceso de producción.

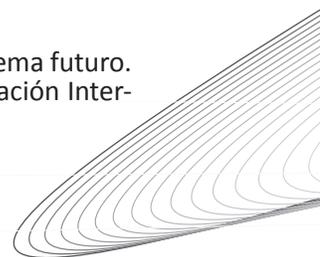
En relación con su uso en automóviles, su principal desventaja es la necesidad de mayor espacio para su almacenamiento, lo cual puede llegar a condicionar el tamaño y capacidad de pasajeros de los vehículos. Desde el punto de vista de su almacenamiento y transporte para la distribución al consumidor, el escaso número de estaciones de suministro y redes definidas entre estaciones son el principal inconveniente para el desarrollo de un sistema de distribución eficiente y adecuado. La principal ventaja del empleo del hidrógeno como combustible está definida por su impacto positivo en el medio ambiente y la salud de las persona, esto se explica en los altos porcentajes de reducción de emisiones de gases contaminantes como el dióxido de carbono; entre el 70% y el 80%, que podrían alcanzarse al utilizar hidrógeno en vehículos que emplean motores de combustión interna. En referencia a la salud pública, se puede deducir que cualquier porcentaje o tasa de reducción de emisiones de gases es beneficiosa para la preservación de la salud y el entorno ambiental urbano y rural de las personas.

El hidrógeno es un elemento que muestra múltiples beneficios desde el punto de vista de la producción eficiente de energía y que como principal ventaja presenta una significativa reducción en la producción de emisiones de gases contaminantes en relación con otras formas de producción de energía, específicamente el uso de combustibles fósiles en vehículos de combustión interna. El aspecto tal vez más favorable del empleo de hidrógeno en vehículos de transporte es la facilidad que presenta éste para poder ser incorporado no solamente a los nuevos procesos en la producción de automóviles, sino también a las tecnologías convencionales desarrolladas hasta ahora en el diseño, construcción y operación de vehículos automotores.

REFERENCIAS

Biblioteca Instituto Química-Física "Rocasolano" CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, España [En Línea] Disponible en: <http://biqfr.blogspot.com/2011/02/como-obtener-hidrogeno-para-producir.html>, 2013.

Bolívar, R.; Mostany, J. y García, M.C. (2006). Petróleo versus energías alternas. Dilema futuro. En Rev. de Ciencias y Tecnología de América, Vol. 31, No. 010, pp. 704-711, Asociación Inter-ciencia, Caracas, Venezuela.



Cabrera, J.A. (2006). Hidrógeno y pilas de combustible: estudio de prospectiva. Fundación OPTI. Madrid, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Madrid, España.

Caparrós, M.J. (2004). Tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible. En II Jornadas Técnicas de Ciencias Ambientales, Madrid, España.

García, J.M.; Arrieta, A.A. & Burbano, H.J. (2006). Análisis comparativo de las propiedades de combustión de las mezclas Metano-Hidrógeno con respecto al metano. En Revista de Ingeniería y Desarrollo, 020, pp. 19-34. Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.

Gene D., B. & Aceves, S.M. (2006). La economía del hidrógeno como solución al problema de la estabilización del clima mundial. En Rev. Acta Universitaria, Vol. 16, No. 1, pp. 5-14, Universidad de Guanajuato. Guanajuato, México.

Gobierno de Aragón (2006). El hidrógeno y las pilas de combustible: el recorrido de la energía. Departamento de Industria, Comercio y Turismo, Dirección General de Energía y Minas, Madrid, España, 16 p.

Gutiérrez, J.L. (2005). El Hidrógeno, combustible del futuro. En Rev. R. Acad. Cien. Exact. Fís. Nat., Vol. 99, No. 1, pp. 49-67, Colombia.

Gutiérrez, D.; de Oca, M.; Zeifert, B. & Salmones, J. (2007). Sistema aleado para almacenamiento de H₂. En Rev. Conciencia Tecnológica, 034, pp. 58-59, Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Aguascalientes, México.

Manzini P., L. Fabio y Macías, P. (2004). Nuevas energías renovables: una alternativa energética sustentable para México. Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República, Centro de Investigación en Energía-UNAM, Ciudad de México, México.

Mendoza, A. (2006). El hidrógeno y la energía. En Rev Ciencia Ergo Sum, Vol. 13, No. 001, pp. 99-104, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.

Valero, J.A. y Coca, J.R. (2009). Políticas científicas en materia de renovables: el caso del hidrógeno como fuente básica energética. En Rev. de Investigaciones Políticas y Sociológicas, Vol. 8, No. 1, pp. 23-35, Universidad de Santiago de Compostela, España.