

El surgimiento de la economía del hidrógeno, el uso de las energías renovables y su aportación a la economía verde

The emergence of the hydrogen based economy,
the use of renewable energy and its
contribution to the green economy

Artículo recibido 20/01/2017

Acceptado 16/06/17

Ángel Eduardo Flores Romero
José Luis Serrano Martínez

RESUMEN

Mediante un esbozo histórico y la ayuda de modelos matemáticos es posible establecer el comportamiento del ciclo tecnológico del crudo, que ha sido la principal fuente de energía durante el siglo XX. No es posible visualizar el desarrollo, el progreso tecnológico y económico de la humanidad sin la existencia del petróleo. Sin embargo, las predicciones del agotamiento de energéticos de origen fósil o la extracción de este a precios competitivos, juega un papel decisivo en la trayectoria tecnológica que seguirá el mercado de la energía en las próximas décadas, donde se vislumbra un nuevo paradigma energético que nos llevaría a la economía del hidrógeno.

Palabras clave: economía del hidrógeno, mercado energético, energías renovables.

ABSTRACT

Through a historical sketch and the help of mathematical models it is possible to establish the behavior of the technological cycle of crude oil, which has been the main source of energy during the 20th century. It is not possible to visualize the development, technological and economic progress of humanity without the existence of oil. However, predictions of the depletion of fossil fuels or the extraction of fossil fuels at competitive prices play a decisive role in the technological trajectory that the energy market will follow in the coming decades, where a new energy paradigm could be taking us to the economy of hydrogen.

Keywords: hydrogen economy, energy market, renewable energy.

Cómo referenciar este artículo

Flores, R. y Serrano, M. (2017). “El surgimiento de la economía del hidrógeno, el uso de las energías renovables y su aportación a la economía verde”, *Administración y Organizaciones*, vol.19(37), 73-92.

Introducción

Amplios y muy importantes debates se han desarrollado para tratar de responder a la interrogante ¿Cuál es la relevancia del hidrógeno para la transición energética? e inmediatamente surge una segunda pregunta ¿Qué condiciones se requieren para que emerja la economía del hidrógeno?

Los tres precursores que permitirían la emergencia de la economía del hidrógeno son:

1. El agotamiento de los recursos de origen fósil (principalmente el petróleo), que hace necesaria la penetración de fuentes alternas de energía.
2. Las tecnologías y trayectorias tecnológicas para la producción, almacenamiento, transformación y aprovechamiento del hidrógeno.
3. La creciente preocupación por el deterioro ambiental causado por la quema de combustibles de origen fósil, que pone en la mesa de debate al tema del desarrollo sustentable, donde la economía del hidrógeno puede contribuir de manera importante en la economía verde.

Este artículo tiene como objetivo presentar un estudio indicativo realizado a través de una revisión bibliográfica, en el se argumenta la factibilidad en la emergencia de la economía del hidrógeno, dados algunos de los precursores más importantes para dicho surgimiento.

Antecedentes

El inicio de la discusión se toma en consideración que actualmente nos encontramos en una economía petrolizada, por lo tanto es indispensable identificar el punto en el cual se presenta la ruptura en la inercia de dicha economía, para dar paso a la emergencia de la economía del hidrógeno. El modelo denominado: de crecimiento logístico, propuesto por el geólogo M. K. Hubbert en 1956, describe una curva en forma de campana, donde plantea el supuesto de que la producción de crudo parte de cero y poco a poco se va incrementando hasta alcanzar un ritmo acelerado, atribuible al descubrimiento de importantes yacimientos.

Posteriormente se reduce el ritmo de la producción de manera significativa debido a que a los grandes yacimientos se les habrá extraído la mitad de sus reservas totales recuperables, en este punto se localiza el máximo de la curva de Hubbert, y la tasa de extracción de crudo comienza un declive acelerado hasta llegar a una caída suave que supone el comienzo del fin en la extracción de crudo. Esta curva se puede considerar como la radiografía de la trayectoria tecnológica del petróleo. Para entender cómo se construye una trayectoria tecnológica, es necesario ayudarnos de la economía y del cambio tecnológico. Los recursos energéticos, son productos en el mercado y como tal cumplen con lo que Levitt (1965) denomina ciclo de vida del producto. Este autor identifica que

en general, existen cuatro fases fundamentales en el ciclo de vida de un producto, las cuales son: introducción, crecimiento, madurez y declinación. Si se grafican estas etapas a lo largo del tiempo, es posible comparar el ciclo de vida del producto con una campana de Gauss.

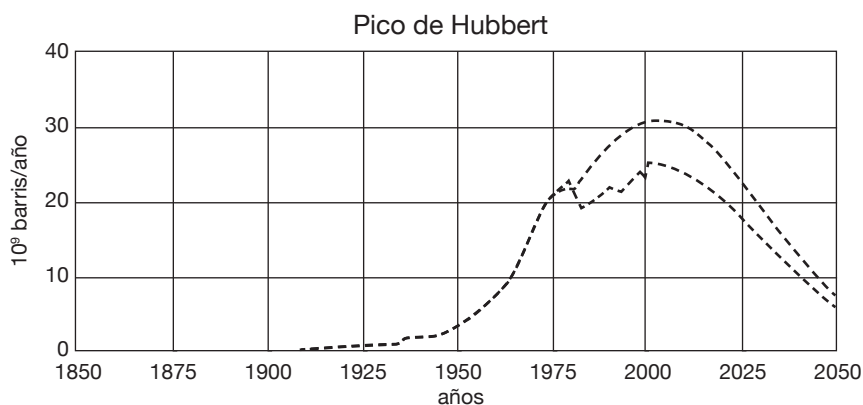
El tiempo total del ciclo de vida del producto, así como el tiempo de cada una de las fases, dependen del surgimiento de otros ciclos tecnológicos –con innovaciones incrementales– o por cambios de paradigma (innovaciones radicales), de igual forma dependen de otras trayectorias o inercias tecnológicas que pueden acelerar o retardar el tiempo que tarda el ciclo de vida del producto.

El uso dominante de un recurso energético, en este caso el petróleo, ha permitido el desarrollo de una economía petrolizada; sin embargo, el surgimiento de un nuevo ciclo de vida de producto marcará una nueva economía, que de acuerdo al análisis realizado, ese producto podría ser el hidrógeno, por lo cual estaríamos ante el surgimiento de la denominada economía del hidrógeno. Donde se tendrán las ventajas y comodidades que brinda la tecnología, el surgimiento de modelos de desarrollo sustentable y la aportación al desarrollo de la economía verde.

Declive de la economía petrolizada

De acuerdo con Pérez (2001), en general, el ciclo de vida del producto se reduce con el paso de los años y la declinación se puede dar ante los cambios rápidos de la tecnología. Cuando las tecnologías maduran, existen fuerzas que las impulsan más y más hacia la periferia donde, presumiblemente, existen fuerzas complementarias que las absorben para poner en marcha procesos de desarrollo de nuevos productos. El comienzo de la nueva curva, descrita por este naciente producto, generalmente se traslapa con la última fase de la curva del producto que ya se encuentra en decadencia.

En el caso del petróleo, no es casualidad que la curva de Hubbert conserve la misma forma que la curva de ciclo de vida del producto, lo cual indica que el petróleo ya ha pasado por la fase de introducción, de crecimiento y nos encontramos en su etapa de madurez, justo antes de comenzar la última de sus fases que es la declinación. Este modelo fue aplicado primeramente a la producción de crudo de Estados Unidos, donde Hubbert (1956) señala que la producción doméstica alcanzaría su máximo entre 1965 y 1970 con un subsecuente descenso. En el momento en que se publica el artículo, la producción de los Estados Unidos se encontraba en franco incremento por lo que las predicciones del autor no fueron tomadas con la atención debida, hasta el año de 1970 en que comenzó la declinación de la producción de los yacimientos estadounidenses.



Fuente: "Hubbert's Peak: The Impending World Oil Shortage". Kenneth S. Deffeyes, Princeton University Press, 2001, pag.8.

Posteriormente, un estudio realizado por Campbell y Laherrère (1998), el cual se apoya en una base de datos de Petroconsultants que contenía información de 18,000 yacimientos petrolíferos en el mundo, arrojó que en 1996 existían 850,000 millones de barriles de petróleo convencional en todo el globo terrestre, en reservas probadas, adicionalmente realizan un pronóstico de 150,000 millones más de barriles en yacimientos que aún se podrán descubrir, por lo que estiman que a la industria petrolera mundial le quedaban en suma un total de un billón de barriles por extraer.

Del estudio realizado por estos dos autores, también se desprende que el crecimiento no restringido (primera sección de la curva de Hubbert) se ha podido observar en todas las regiones del mundo productoras de petróleo, a excepción de la región del Golfo Pérsico, donde la producción de crudo fue restringida deliberadamente por decisiones políticas. Con base en la información analizada por estos autores, estimaron que la producción de petróleo en el mundo tocaría techo (agotaría la mitad de sus reservas probadas) hacia el año 2010.

El debate actualmente identifica a estudiosos del tema que coinciden con las predicciones de Campbell y Laherrère ya sea partiendo de las mismas bases en que fue realizado este estudio o bien a partir de proyecciones en el incremento en las tasas de consumo mundial de petróleo y las decisiones restrictivas de los países productores de petróleo pertenecientes a la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) (Youngquist, 1997; Hatfield, 1997; Deffeyes, 2001).

Se han realizado proyecciones sobre las reservas de crudo, clasificadas como optimistas, las cuales se basan en las probabilidades de descubrir nuevos yacimientos de gran importancia, o bien confían en que el desarrollo de

tecnologías de extracción permitan extraer petróleo de yacimientos a grandes profundidades, pero a precios competitivos, lo cual incrementaría el porcentaje de reservas probadas y daría un mayor margen en la disponibilidad de crudo, por algunos años más de lo que pronostican los autores menos optimistas (Anderson, 1984; Bartlett, 2000; Fisher, 1987).

En este mismo sentido, se han realizado análisis considerando a las regiones de acuerdo a sus reservas y producción de petróleo, así Youngquist (1997) pone en la mesa del debate la importancia que tiene la zona del Golfo Pérsico al poseer 26 de los 40 yacimientos gigantes de petróleo (superiores a 5,000 millones de barriles) donde se localiza más de la mitad de las reservas recuperables del mundo y cuya posición en la curva de Hubert aún se localiza en la fase ascendente de la campana.

Cualquiera que sea la postura que adopten los especialistas (pesimista u optimista), lo cierto es que ambos grupos llegan a la misma conclusión: la producción mundial de petróleo recuperable ha de tocar techo en los próximos años (entre 2020 y 2030 según la regla de cálculo empleada) y a partir de esa fecha, el mundo tendrá que adaptarse a las nuevas condiciones que habrán de adoptarse ante la reducción en las tasas de producción de crudo, esperando el inminente incremento en los precios de los combustibles de origen fósil, mismos que se pueden proyectar con modelos econométricos en el corto y mediano plazo, pero es más complicado asegurar algo contundente sobre los precios en el largo plazo. Aunado a ello se debe considerar la situación de tensión derivada de la geopolítica donde se localizan las reservas probadas más importantes de petróleo en el mundo.

Presencia de las fuentes alternas de energía

Considerando los debates realizados por los estudiosos del tema de ciclo de vida del producto y observando al petróleo dentro de un esquema de tal naturaleza, se ha desarrollado un interesante debate en torno a las interrogantes ¿Qué producto o productos satisfacerán las necesidades y usos que cubre actualmente el petróleo? ¿A cuál de las opciones, que se ponen en la mesa de discusión, favorecerá el grado de desarrollo y cambio tecnológico mencionado en el ciclo de vida del producto?

Sería conveniente voltear la vista a las fuentes alternas de energía, donde se localizan tanto las fuentes no renovables de origen diferente a las fósiles (como la energía nuclear) y las fuentes renovables (como la solar, la eólica, la hidráulica y la generada por la biomasa). De la mano de este debate va asociada la problemática de la contaminación generada por la quema de combustibles fósiles, así como las consecuencias sociales y económicas derivadas de ello.

Actualmente se encuentra en la mesa de discusión el tema de la energía nuclear como una de las alternativas para cubrir el déficit energético que se

presentará en las próximas décadas. De acuerdo a Schoijet (2002) la perspectiva de la utilización de la energía nuclear para fines pacíficos, allá por 1940 fincó premisas que no necesariamente son válidas en la actualidad, sobre todo aquellas que hacen referencia al bajo costo de su empleo y utilización. También argumenta que las razones por las cuales Estados Unidos –donde se construyó el mayor número de centrales nucleares de reducido tamaño– acabó en muy pocos años el auge efímero de la energía nuclear, fueron los altos costos de construcción de centrales nucleoeeléctricas y el aún no resuelto problema del depósito final para los desechos radiactivos.

Las fuentes renovables como la mejor alternativa

Estrada y Álvarez (1998) y Smil (2005) consideran que la solución para cubrir los faltantes de energético, ante la declinación de las reservas de energéticos de origen fósil, podría encontrarse en las fuentes renovables de energía, que podrán contribuir, aunque en el corto plazo quizá en bajo grado, a suplir el energético primario en muchos sectores de la actividad económica.

De igual forma, el impacto atribuible a la contaminación ambiental asociada a la quema de los energéticos convencionales, ha puesto en alerta a diversos organismos internacionales que claman por mejorar las condiciones ambientales para evitar o mitigar dichos impactos. Así por ejemplo, el Departamento de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), hace énfasis en que las mejores prácticas de uso de la energía, constituyen un elemento fundamental para alcanzar la seguridad alimentaria y mejorar las condiciones de vida de las poblaciones. Asimismo, indica que la ruptura del actual atasco energético debe ser también sostenible: ambientalmente racional, socialmente aceptable y económicamente viable. Dichas características son cubiertas de forma más amplia por las fuentes renovables de energía en comparación con otras fuentes alternas.

Posso (2003) asegura que las fuentes renovables de energía poseen una mayor calidad, desde el punto de vista ambiental y de la perdurabilidad, en comparación con las fuentes de origen fósil. Sin embargo, sus dificultades de transporte y almacenamiento hacen imprescindible la utilización de un vector energético que conecte a los centros de producción con los de consumo debido a su producción intermitente y alejamiento de los centros de consumo.

La electricidad en mancuerna con el hidrógeno

Un vector energético es un medio por el cual es posible almacenar energía en un punto determinado de transformación y utilizarla en otro punto, previa conversión de energía a una forma convenientemente útil. El vector energético empleado en

la economía petrolizada es la electricidad, en torno a la cual se ha generado toda una cultura tecnológica, donde es posible convertir electricidad en energía luminosa, térmica, mecánica, y prácticamente cualquier otra forma de energía.

Es el mismo Posso (2003) quien indica que la electricidad es un vector energético eficiente y versátil. Además, teóricamente puede satisfacer los servicios de energía más comunes. Sin embargo, no es totalmente adecuado para el almacenamiento en gran escala o transmisión a grandes distancias, por lo que la electricidad por sí sola no podría ser el vector energético del futuro.

Así, se puede colocar en la mesa de debate a varios candidatos para complementar el papel que juega la electricidad, ejemplo de ello son: la gasolina sintética, gas natural sintético, metanol, etanol e hidrógeno, entre otros. En todo caso el aspirante a ello debe ser apropiado para su transporte, altamente eficiente, compatible con el ambiente, económico (léase a precios competitivos), económicamente rentable, seguro y fácil de convertirse en otro tipo de energía o electricidad.

Es importante resaltar que el hidrógeno por sí sólo no es un energético sino un vector o transportador de energía y este puede aprovechar la cultura tecnológica generada alrededor de la electricidad (infraestructura, tecnología, leyes, principios), para que en conjunto ambos vectores energéticos se complementen en lugar de competir entre ellos.

La emergencia de la economía del hidrógeno

En las últimas décadas, han surgido voces como las de Contreras *et al* (1999), Rifkin (2002), Botas, *et al* (2006) que indican que el hidrógeno podría jugar el papel de vector energético dominante debido a su eficiencia, compatibilidad ambiental, versatilidad y gran sinergia con la electricidad. Además podría contribuir de forma importante para reducir la dependencia actual sobre los combustibles fósiles aprovechando las ventajas de las fuentes renovables de energía en el largo plazo o quizá a partir de la energía nuclear en el corto plazo.

De acuerdo a Winter y Fushs (1991) en la década de los años ochenta del siglo XX se intensificaron las investigaciones y desarrollos tecnológicos sobre la energía asociada al hidrógeno, de entre los que destaca el proyecto *HySolar* realizado entre Arabia Saudita y Alemania para la producción de hidrógeno por electrólisis, con electricidad generada por celdas fotovoltaicas, llama la atención, que uno de los principales productores de petróleo y con las mayores reservas probadas, aspire a ser un exportador permanente de energía mediante la producción de hidrógeno a partir de energía solar.

Otro de los proyectos realizados en materia de hidrógeno es el *Euro-Quebec Hydro-Hydrogen Pilot Project*, que con base a lo que describen Gretz *et al* (1994), tenía por objetivo producir hidrógeno líquido, a partir de energía hidroeléctrica barata en Canadá, para poder ser enviado en barco a

Alemania para emplearse en diversos sectores y para diferentes usuarios, dicho programa contemplaba una inversión de cuatro billones de dólares. De igual forma, menciona que el Departamento de Energía de los Estados Unidos lanzó un *Programa de Hidrógeno* en 1995, que comprendería la realización de 440 proyectos por un monto anual de 140 millones de dólares encaminados a desarrollar las tecnologías para la producción de hidrógeno potencialmente económico a partir de las fuentes alternas de energía.

De acuerdo con lo descrito por Arnason (2000), Islandia sorprendió al mundo cuando anunció su intención de ser la primera sociedad del hidrógeno en el planeta, reuniendo los esfuerzos de *Shell hydrogen*, *Daimler Chrysler* y *NorskHydro* en una iniciativa multimillonaria para convertir los autobuses, carros y barcos a hidrógeno y celdas de combustible dentro de las primeras cuatro décadas del siglo XXI.

Se creó el *Centro Internacional de Desarrollo de las Tecnologías de la Energía del Hidrógeno*, como lo describe Schriber (1996) auspiciado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y cuyo centro de operación se localiza en Turquía. Existe una veintena de naciones industrializadas que han desarrollado proyectos importantes, relacionados con el hidrógeno, bajo el auspicio de la *Agencia Internacional de Energía*. Mitsugi, *et al* (1998) aseguran que el programa más ambicioso e integral en materia de hidrógeno, es el realizado por Japón denominado *World Energy Network* que propone la utilización de la electrólisis y el reformado de gas en el corto plazo y las fuentes alternas de energía, en el mediano y largo plazo, para la producción de hidrógeno.

Estos y otros proyectos más, dan cuenta de la apertura de un sendero conformado por proyectos y programas encaminados a la investigación y desarrollo en materia de producción y uso de hidrógeno, dejando abierta la posibilidad de entrar a lo que se puede definir como la economía del hidrógeno. Conforme lo planteado por Shinnar (2003) el concepto de economía del hidrógeno fue introducido por el Instituto de Energía Nuclear en Viena, Austria, donde la idea central de este concepto descansaba sobre la idea de producir hidrógeno empleando reactores nucleares de alta temperatura y el uso masivo del mismo para sustituir los combustibles de origen fósil, principalmente el crudo, para todos los requerimientos de carácter estacionario.

La trayectoria tecnológica de la economía del hidrógeno

Fue en la década de los años noventa del siglo XX cuando Jeremy Rifkin trabajó ampliamente el concepto de economía del hidrógeno, visualizando aspectos no sólo desde la teoría energética, sino también desde el punto de vista del cambio tecnológico. Rifkin (2002) concibe a la economía del hidrógeno como el surgimiento de un paradigma económico completamente nuevo a partir de la

fusión de nuevas tecnologías de comunicación y un régimen energético emergente. Pone como ejemplo el caso en el cual la introducción de la imprenta, en el siglo XV estableció una nueva forma de comunicación que, cuando se combinó con las tecnologías del carbón y del vapor, dio origen a la revolución industrial. La imprenta hacía posible una forma de comunicación bastante rápida y ágil como para coordinar un mundo que se movía con la energía del vapor.

De igual forma existe una relación entre el telégrafo (y un poco después el teléfono) con el uso del petróleo. Las comunicaciones fueron lo bastante rápidas como para adaptarse al nuevo paradigma en cuanto al ritmo, flujo, densidad e interactividad que se produjo cuando la producción de carbón tocó techo y este fue sustituido por el crudo. Según lo planteado por Rifkin, en esta economía se conjuntará el acceso a Internet, las tecnologías digitales y el sofisticado software informático que permitirán conectar a las celdas de combustible (que son la base de la generación distribuida para producir electricidad en pequeña escala, a partir de hidrógeno), de tal forma que se tendrán los principios de toda una red eléctrica, cuyas consecuencias serán tan amplias y profundas como las que en su momento tuvo el desarrollo de la *World Wide Web* en los años noventa. La concepción de Hughes (1983) contempla un retorno a los sistemas de generación eléctrica en las condiciones que guardaba en su origen, allá por 1831, donde los generadores se localizaban muy cerca de los usuarios.

Rifkin (2002) asegura que, a diferencia de los albores de la industria eléctrica, que se vio obligada a desarrollar las grandes centrales de generación en lugares distantes de las zonas de consumo, pero cerca del suministro del combustible y el agua, ahora se tendría la oportunidad de aprovechar las ventajas tecnológicas que se tienen en el uso de las fuentes renovables de energía.

Quizá un elemento del entorno relacionado con la economía del hidrógeno se localiza en la sociedad del conocimiento que Drucker (1994) define como un concepto de sociedad ideal, que surgirá después de la actual era de la información, por lo que después, el mismo autor la llama sociedad post capitalista. Destaca que esta sociedad del conocimiento se alcanzará mediante las oportunidades de los medios y la humanización de la sociedad. Es decir, destaca la necesidad de construir una teoría económica donde el conocimiento se encuentre en el centro de la producción de la riqueza. Del mismo modo, este autor afirma que la información por sí misma no pasa de ser una masa de datos indiferenciados (sociedad de la información), por lo que es requisito que la información sea transformada en conocimiento, para dar ese salto que nos lleve a la sociedad del conocimiento donde lo importante no sea la cantidad de conocimiento, sino su productividad.

Con lo descrito por Drucker (1994) y por Rifkin (2002), es posible imaginar una amalgama de elementos que podrían dar origen al surgimiento de la eco-

nomía del hidrógeno, en el entorno de la sociedad del conocimiento y un nuevo paradigma energético.

¿La economía del hidrógeno genera un balance negativo de energía?

También existe el debate de los que no comparten la opinión de aquellos que ven factible el surgimiento de la economía del hidrógeno. Entre ellos se encuentra Kreith (2004) quien asegura que la economía del hidrógeno es una falacia, ya que el emplear combustible de origen fósil para generar la electricidad requerida para disociar la molécula del agua para la producción de hidrógeno, es mucho más ineficiente que si se quemara directamente el combustible fósil para generar calor y electricidad. Además argumenta que, para emplear el hidrógeno en vehículos a partir de tecnologías como las celdas de combustible, se requiere construir infraestructura nueva y costosa, que no justificaría la relación costo beneficio.

Por su parte Bossel, *et al* (2003) aseguran que se requeriría de mucho más energía para operar una economía del hidrógeno, de la que se requiere para el almacenamiento y distribución de energéticos de origen fósil en la economía actual. Argumentan que la cantidad de energía que se necesita para la producción (vía electrólisis), almacenamiento y transporte del hidrógeno podría ser mayor de la que este mismo hidrógeno entregue a los usuarios finales. De forma similar Zyga (2006) opina que esta economía, de darse, sería altamente ineficiente y derrochadora de energía. La mayoría de los autores que no comparten la idea de la emergencia de la economía del hidrógeno, lo que argumentan principalmente es el aspecto del balance energético negativo, que da como resultado convertir las fuentes de energía primaria en electricidad para producir hidrógeno, y posteriormente transformarlo en electricidad o calor.

De igual forma aseguran que, dejar al hidrógeno en las condiciones necesarias para ser transportado y almacenado (nivel de presión y medio físico), requiere invertir cantidades importantes de energía. Desde el punto de vista económico, se requiere de grandes inversiones para modificar o crear nueva infraestructura para la emergencia y posterior funcionamiento de la economía del hidrógeno (Kreith, 2004; Bossel, 2003; Zyga, 2004; Schwartz and Rondall, 2003; Zubrin, 2007; Morris, 2006; Georgia, 2003). Estos autores analizan sólo una parte de lo que podría ser la economía del hidrógeno, sin contemplar el contexto en el cual emergería y operaría dicha economía. Dejan de lado elementos importantes que aparentan ser precursores para el uso y aplicación del hidrógeno en el largo plazo, como es el uso de fuentes renovables de energía para producir la electricidad para disociar la molécula del agua, lo cual podría reducir el grado de ineficiencia que se argumenta en los párrafos anteriores.

El esquema inferido por una buena parte de los estudiosos en materia energética, apunta a la emergencia de la economía del hidrógeno, donde se espera la conjunción de sistemas de comunicación y la informática, con fuentes alternas de energía, para la producción de hidrógeno que posteriormente, podrá ser transformado nuevamente en electricidad, mediante los sistemas de generación distribuida. Y justamente ésta última parte es la que puede quitar la ineficiencia o balance negativo de los escenarios pesimistas que aluden algunos autores, además de contribuir de manera sustancial al desarrollo de la economía verde.

Kouyialis (2004) plantea que la generación distribuida se define como un conjunto de tecnologías de producción integradas con el sistema de distribución de electricidad. Las tecnologías de generación distribuida pueden ser de carácter renovable, mediante el aprovechamiento de éstas para la producción del hidrógeno en el lugar donde existe el recurso renovable y alimentar a las celdas de combustible para generar electricidad en otro lugar o momento que se necesite. En cambio, Hansen (2005) escribe que la generación distribuida hace referencia a un periodo de emergencia dentro de la evolución de los sistemas de generación eléctrica, en el cual todas las tecnologías disponibles se encuentran integradas en sistemas, de acuerdo a los respectivos recursos disponibles en cada región.

La instalación de pequeños generadores conectados a las redes de distribución, es una opción que está siendo acogida con creciente interés tanto por los consumidores como por las compañías distribuidoras de acuerdo con Cardel (1997). Los primeros ven en ella una fuente de energía que puede ser más barata que la que obtienen a través de las grandes centrales eléctricas y que además, puede aumentar la confiabilidad de su suministro, por la cercanía y reducido tamaño de la central generadora, que puede implicar menos complejidad. Por su parte, las compañías suministradoras de electricidad ven a la generación distribuida como una herramienta importante en la planificación de la oferta futura de electricidad, que podría ser de utilidad para aumentar la calidad de suministro y retrasar las inversiones para acrecentar las redes eléctricas.

El debate que se maneja actualmente en torno a esta temática, carece de una visión completa, que vislumbre la dinámica de cambio con una perspectiva temporal lo suficientemente amplia, que contemple todos los elementos involucrados y que tenga un panorama más contundente del futuro energético. Es decir, para determinar del grado de influencia y repercusión que pudiera tener la economía del hidrógeno sobre el sistema energético, es necesario tener en mente que este proceso tiene un carácter temporal de largo plazo, como suelen darse los procesos de cambio de tipo tecnológico (Dosi 1982, Pérez 1985, Orsenigo y Silverberg 1988).

Aún cuando la evolución de los procesos contempla a la variable tecnológica como la base fundamental de análisis, pueden considerarse elementos que por su importancia pudieran contribuir a dicho proceso como por ejemplo, cuestiones económicas, de disponibilidad de recursos, situaciones relaciona-

das con el cuidado al medio ambiente, organizacionales, institucionales, entre otras (Rosenberg 1994). Análisis enfocados de esta manera podrían llevarnos a conclusiones más completas de lo que hasta ahora se ha venido exponiendo.

El hidrógeno como vector energético dominante

Está en puerta un nuevo paradigma energético (Rifkin 2002), donde si bien es cierto que ya se han identificado los aspectos causantes que podrían generar dicho cambio, aún se tiene la problemática de la inferencia de posibles escenarios a largo plazo, analizando la dinámica de cambio que también se presentaría en los componentes y formas del propio sistema energético.

Actualmente la electricidad es el vector energético por excelencia; sin embargo, el poderío de reinado de este, podría quedar relegado ante la introducción de uno nuevo, que puede ser el hidrógeno. Este vector posee características que lo pueden llegar a convertir en el vector dominante frente a la electricidad, puesto que tiene la capacidad de almacenar energía para ser empleada donde y cuando se necesite, situación que no es posible con la electricidad dada su naturaleza, ya que esta última requiere ser ofrecida en la cantidad y en el momento que se demanda. Situación que podría poner en franca ventaja al hidrógeno, aún cuando la electricidad seguiría ocupando un papel importante, pero las reglas del juego podrían estar determinadas por el vector dominante.

Actualmente existen eventos inherentes a la economía petrolizada, que pudieran conducir a la emergencia de la economía del hidrógeno. Dichos eventos se encuentran relacionados con los precios de los combustibles de origen fósil, poca precisión en la proyección de los precios del gas natural –muy utilizado en las grandes centrales eléctricas–, alta dependencia de los combustibles fósiles en el sector eléctrico, predicciones de mercados insatisfechos en cuanto a oferta de combustibles fósiles y preocupación por el impacto social y económico, derivado de enfermedades atribuibles a la contaminación ambiental generada por la quema de combustibles convencionales.

La combinación de dichos factores y su cambiante situación, hacen pensar que al interior del sistema eléctrico también se deberá presentar una dinámica de cambios, que reestructuren sus componentes, teniendo como consecuencia un sistema eléctrico, donde la combinación de las tecnologías de la informática y la comunicación, podían conjugarse con la generación distribuida a fin de ofrecer electricidad producida a partir de hidrógeno, generado mediante fuentes renovables de energía; de tal forma que se tendrían redes eléctricas diferentes a las que conocemos actualmente y donde el vector dominante ya no sería la electricidad, sino el hidrógeno.

El cambio de paradigma energético abriría una etapa de transición donde se definirán las posibilidades técnicamente factibles y económicamente viables,

la nueva configuración del sistema. El hidrógeno jugará el papel de vector energético dominante a partir de fuentes renovables de energía. Las tecnologías de la comunicación e informática servirán como herramienta para lograr que emerja la economía del hidrógeno, con la que es posible imaginar un balance energético positivo, siempre y cuando se haga uso asertivo de la canasta de fuentes energéticas disponibles en los entornos donde se localiza la demanda de electricidad.

Este cambio de paradigma que fomentaría la emergencia de la economía del hidrógeno, podría impactar de manera significativa en el logro de los objetivos del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en el contexto de lo que se denomina la economía verde, cuyo propósito es mejorar el bienestar humano y la igualdad social, mientras se reducen los riesgos en el medio ambiente y ecológicos, como se plantea en la Conferencia Río+20, celebrada en 2012.

El proceso de cambio en el sistema energético, es de naturaleza dinámica; es decir, no es posible que se dé un cambio súbito debido a la inercia o trayectoria tecnológica que tiene detrás (Usher 1954, Rosenberg 1994). El sistema energético actual tiene antecedentes de tipo cultural, tecnológico, económico, entre otros (Hughes, 1983) que lo convierten en un ente tecnológicamente maduro y por ello posee un alto grado de rigidez que impide cambios drásticos de la noche a la mañana.

La variable fundamental del sistema energético es el componente tecnológico, puesto que se trata de sistemas con tecnologías maduras, de altos costos de inversión y bajo grado de flexibilidad (Marschoff, 2000; Mohedano, 2003; Ramírez, 2000; Schoijet, 2002). Características que restringen y limitan, por ahora, el proceso de cambio, sin que esto quiera decir que no sea posible que se presente dicho proceso, pero este será influenciado por factores externos al propio sistema, mismos que pudieran tardar varias décadas en manifestarse.

Conclusiones

Mucho se ha dicho que la era de piedra no terminó porque se hayan terminado las piedras, sino porque surgieron nuevas tecnologías que permitieron emplear materiales, técnicas y culturas tecnológicas diferentes a las aplicadas en la época de piedra. De igual forma, la economía petrolizada tendrá que sucumbir en algún momento, para dar paso a un ciclo económico donde domine otra u otras formas de energía diferentes a las convencionalmente empleadas. Muchas podrían ser las posibilidades para abastecer el mercado futuro de energía; sin embargo la tendencia es que se regrese al uso de las energías renovables, que se emplearon desde los inicios de la humanidad, pero con las ventajas tecnológicas que el progreso científico y tecnológico ofrecen.

La emergencia de la economía del hidrógeno surgiría por el cambio de paradigma energético, pasando de una economía petrolizada a una economía del hidrógeno; sin embargo como éste último no es una fuente de energía, sino

un vector o transportador energético, es necesario compararlo y hacer que se complemente con el vector energético convencional, que es la electricidad. En torno a la cual se ha generado toda una inercia y trayectoria tecnológica que debe ser aprovechada por el vector dominante en la economía del hidrógeno.

La economía del hidrógeno es la mejor de las alternativas que hace uso de un vector energético más “bondadoso” que la electricidad, pero sin contraponerse a ésta, respetando la inercia tecnológica de los sistemas actuales de energía (incluido el sistema eléctrico), haciendo uso asertivo del actual vector energético (electricidad) y la cultura e inercia tecnológica construida a su alrededor, así como hacer frente a los futuros patrones mundiales de consumo y demanda de energía. La emergencia de la economía del hidrógeno con un vector energético renovable; es decir a partir de fuentes renovables de energía, permitirá reducir los impactos ambientales, al evitar la quema de combustibles de origen fósil, causantes de la mayoría de los gases de efecto invernadero y todo lo que conlleva. Ha sido ampliamente demostrado que las fuentes renovables de energía son mucho más limpias y amigables con el medio ambiente, lo cual puede contribuir de manera importante al desarrollo de la economía verde.

Bibliografía

- Anderson, R. (1984). *Fundamentals of petroleum industry*, Norman, University of Oklahoma Press, Estados Unidos de América.
- Arnason, B. (2000). "Iceland a future hydrogen economy"; *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 25, pp 389-394.
- Bartlett, A. (2000). "An analysis of U.S. and world oil production patterns using Hubbert-style curves", vol. 32; No.1; pp 1-18.
- Bossel, Ulf, Eliasson, Baldur, Taylor and Gordon (2003). "The future of the hydrogen economy: bright or bleak?", *Fuel Cell Seminar*; pp 1-39.
- Botas, J. et al. (2006). "La economía del hidrógeno - una visión global sobre la revolución energética del siglo XXI", *Revista de la Asociación Española de Científicos*; No. 9; pp 1-12.
- Campbell, J. and Laherrère, H. (1998). "The end of cheap oil", *Scientific American*, pp78-84.
- Carpí, A. (2003). "El método científico"; *Visionlearning*, Vol. SCI-1 (1).
- Contreras, A., Carpio, J., Molero, M., Versiroglu, T. (1999). "Solar hydrogen: an energy system for sustainable development in Spain", *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 24; pp 1041-1052.
- Deffeyes, K. (2001). *Hubbert's peak: The impending world oil shortage*, NJ Princeton University Press, Princeton.
- Dosi, G. (1982). "Technological Paradigms and Technological Trajectories"; *Research Policy*, No. 11, pp 147-162.
- Douglas R., Bohi, W. and Montgomery, D. (1982). "Resources for the Future Petroleum Industry And Trade", *Energy Policy*; pp 17-18.
- Drucker, P. (1994). *La sociedad poscapitalista*, Editorial Sudamericana, Harper Business, Nueva York.

- Estrada, C. y Álvarez, G. (1998). "Las energías renovables en el contexto de las energías primarias", *Memoria Técnica Seminario Nacional Sobre el Uso Racional de la Energía*, ATPAE, México, pp 623-628.
- Fisher, L. (1987). "U.S. Energy - No decline in reserve potential"; *Houston Geological Society Bulletin*, vol. 30.
- Geels, F. (2002). "Technological transitions as evolutionary reconfiguration process: A multi-level perspective and a case-study", *Research Policy*, No. 31, pp 1257-1274.
- Geels, F. (2004). "From sectoral system of innovation to socio-technical systems insights about dynamics and change from sociology and institutional theory", *Research Policy*, No. 33; pp 897-920.
- Geels, F. (2005). "Processes and patterns in transition and system innovations: Refining the co-evolutionary multi-level perspective", *Technological Forecasting and Social change*, No. 72, pp 681-696.
- Georgia, P. (2003). "The false promise of hydrogen", *National Review on Line*.
- Gretz, J., Drolet, B., Kluskens, D., Sandmann, F., Ullman, O. (1994). "The Euro-Quebec Hydro-Hydrogen Pilot Project (EQHHPP)", *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 19; pp 767-771.
- Hansen, J. (2005). *Distributed generation*, Risoe National Laboratory; Dinamarca.
- Hatfield, C. (1997). "How Long Can Oil Supply Grow?" Publicado en: *Oilfield.com*.
- Hubbert, K. (1956). "Nuclear energy and the fossil fuels", *American Petroleum Institute, Publication No. 95*, Houston, Shell Development Company, Exploration and Production Research Division.
- Hughes, T. (1983). *Networks of power. Electrification in western society, 1880-1930*, John Hopkins Press, Estados Unidos de América.
- Kouyamalis, N. (2004). *Distributed generation*; Institute of Electrical & Electronics Engineers, Estados Unidos de América.

- Kreith, F. (2004). "Fallacies of a hydrogen economy: a critical analysis of hydrogen production and utilization", *Journal of Energy Resources Technology*, pp 249-257 .
- Levitt, T. (1965). "Explote product life cycle", *Harvard Business Review*, vol. 43.
- Marschoff, C. (2000). "Innovación tecnológica, investigación y desarrollo en el sector energético. Una visión prospectiva", *Ciencia e investigación*, No. 69.
- Mitsugui, Ch. (1998). Harumi, A.; Kenso, F.; "WE NET: Japanese hydrogen program", *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 24, pp 159-165.
- Mohedano, J. (2003). "Energía e historia: pocos recursos y muchos residuos", *Revista Red Científica*, Madrid, España.
- Morris, D. (2006). *A hydrogen economy is a bad idea*, alernet.org.
- Nye, D. (1990). *Electrifying America: Social meanings of a new technology*, The MIT Press, Cambridge.
- Perez, C. (1985). "Microelectronics, long waves and world structural change: new perspectives for developing countries", *World development*, pp 441-463.
- Pérez, C. (2001). "El Cambio Tecnológico y las oportunidades de desarrollo como blanco móvil"; *Revista de la CEPAL*, No. 75, pp 115-136.
- PNUMA (2011). "Hacia una economía verde: Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza. Síntesis para los encargados de la formulación de políticas". New York: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Recuperado de: www.unep.org/greeneconomy
- PNUMA (2011). "Green Economy Developing Countries Success Stories". New York: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Recuperado de: www.unep.org/greeneconomy
- PNUMA. (2011). *Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*. Nueva York: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Recuperado de: www.unep.org/greeneconomy
- Posso, F. (2003). "Energía y ambiente: pasado presente y futuro. Parte tres: sistema energético basado en el hidrógeno", *Geoenseñanza*, Vol. 8, pp 49-66.

- Ramírez, R. (2000). "La evolución del servicio público de electricidad"; *Política y pensamiento conciencia*, No. 13.
- Rifkin, J.(2002). *La economía del hidrógeno. La creación de la red energética mundial y la redistribución del poder en la tierra*, 4a edición, Editorial Paidós, España.
- Rifkin, J. (2002). "Los albores de la economía del hidrógeno", *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación*.
- Rosenberg, N. (1976). *Perspectives on Technology*, Cambridge University Press, Estados Unidos de América.
- Rosenberg, N. (1994). *Exploring the black box: Technology, economics and history. Path-dependent aspects of technological change*, Cambridge University Press, Estados Unidos de América.
- Schoijet, M. (2002). "Historia de la Energía", *Revista Elementos*, No. 44; pp 51-57.
- Schriber, G. (1996). "The hydrogen research programme of the International Energy Agency (IEA)", *Proceedings XI World Hydrogen Economy Conference*, Pekín.
- Schwartz, P. and Randall, D. (2003). *How hydrogen can save America*, The Conde Nast Publications Inc., Estados Unidos de América.
- Shinnar, R. (2003). "The hydrogen economy, fuel cells and electric cars", *Technology in Society*, No. 25, pp 455-476.
- Smil, V. (2005). "Energy at the Crossroads: Global perspectives and uncertainties", *Technological Forecasting and Social Change*, No. 72.
- Timilsina, G. and Shrestha, A. (2009). "Transport sector CO2 emissions growth in Asia: Underlying factors and policy options", *Energy Policy*, No. 37, pp 4523-4539.
- Usher, A. (1954). *A history of mechanical inventions*, Harvard University Press, Estados Unidos de América.
- Winter and Fushs (1991). "Hydrogen and fossil fuel"; *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 16, pp 723-734.

Youngquist, W. (1997). *Geo Destinies: the inevitable control of earth resources over nations and individuals*, Portland, National Book Company.

Zyga, L. (2006). *Why hydrogen economy doesn't make sense*; Physory.com.

Zubrin, R. (2007). "The hydrogen Hoax; The New Atlantis", a *Journal of Technology and Society*, vol. 15; pp 9-20.