

## Hydrogen Economy in Ecuador: opportunities and barriers La Economía del Hidrógeno en el Ecuador: oportunidades y barreras

Fausto Posso Rivera<sup>1,2\*</sup>, Johanna Sánchez Quezada<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Investigador Prometeo, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias, Universidad de Los Andes, Núcleo-Táchira, Sede Paramillo, Venezuela.

<sup>3</sup>Centro de Energía, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril s/n, Cuenca, Ecuador.

\*Autor principal/Corresponding author, e-mail: fausto.posso@ucuenca.edu.ec

Editado por/Edited by: F. Javier Torres, Ph.D.

Recibido/Received: 07/07/2014. Aceptado/Accepted: 09/09/2014.

Publicado en línea/Published on Web: 19/12/2014. Impreso/Printed: 19/12/2014.

### Abstract

The hydrogen economy, H<sub>2</sub>, is an emerging energy paradigm proposed to H<sub>2</sub> as the vector that drives the development of human society in this century, and as embodied in the energy system Solar Hydrogen SESH where primary sources are renewable, and it is the secondary source H<sub>2</sub>. A large number of countries are undertaking plans to incorporate the SESH in their energy structure. In this context, this paper argues whose purpose is to identify and analyze the factors involved in the development of SESH in Ecuador, through research supported methodologically on a literature review and a survey of a group of experts involved, from different fields, renewable energy and the H<sub>2</sub> as a vector. It is obtained that the country has sufficient potential exploitable renewable energy to ensure the operability of SESH, with hydropower and biomass are the most appropriate sources. Furthermore, the vision of development of the Ecuadorian state, driving the transformation of the energy matrix by the massive incorporation of renewable energy, would favor the gradual penetration SESH, especially in two niche opportunities, rural electrification and urban transport. Barriers are also reported: scarce and scattered research activity; minimum formation of human talent necessary for the operation and innovation in the technologies of H<sub>2</sub>; absence of a legal and regulatory framework that encourages penetration SESH and the incipient formation of collaborative networks in research and advocacy, in the balance predominate advantages over the barriers. It is concluded that only by agreed action academia, research centers and private companies, under the tutelage of the state will allow this new energy system contributes to sustainable development and conductive Ecuador joining hydrogen economy.

**Keywords.** Energy systems, hydrogen energy, renewable energy, Ecuador.

### Resumen

La economía del hidrógeno, H<sub>2</sub>, es un paradigma energético emergente que propone al H<sub>2</sub> como el vector que conduzca el desarrollo de la sociedad humana en este siglo, y que se concreta en el sistema energético Solar Hidrógeno, SESH, en el cual las fuentes primarias son renovables y la fuente secundaria es el H<sub>2</sub>. Una amplia cantidad de países están emprendiendo planes para la incorporación del SESH en su estructura energética. En este contexto se plantea este artículo cuyo propósito es identificar y analizar los factores intervinientes en el desarrollo del SESH en el Ecuador, mediante una investigación soportada metodológicamente en una encuesta aplicada a un conjunto de expertos involucrados, desde diferentes ámbitos, con las energías renovables y con el H<sub>2</sub> como vector, y en una revisión documental. Se obtiene que el país dispone de suficientes potenciales aprovechables de energías renovables para garantizar la operatividad del SESH, siendo la hidroenergía y la biomasa las fuentes más adecuadas. Además, la visión del desarrollo del Estado ecuatoriano, impulsando la transformación de la matriz energética mediante la incorporación masiva de las energías renovables, favorecería la penetración paulatina del SESH, especialmente en dos nichos de oportunidad, energización rural y transporte urbano. También se reportan barreras: escasa y dispersa actividad de investigación; mínima oferta formativa del talento humano necesario para la operación e innovación en las tecnologías del H<sub>2</sub>; inexistencia de un marco legal y regulatorio que incentive la penetración del SESH y la incipiente conformación de redes colaborativas en investigación y promoción, en el balance final predominan las ventajas sobre las barreras. Se concluye que sólo mediante la acción consensuada de la academia, centros de investigación y empresa privada, bajo la tutela del Estado será posible que este novedoso sistema energético contribuya al desarrollo sostenible del Ecuador y propicie su incorporación a la Economía del H<sub>2</sub>.

**Palabras Clave.** Sistemas energéticos, energía del hidrógeno, energías renovables, Ecuador.

## Introducción

En la actualidad estamos en presencia de un desarrollo inusitado de las energías renovables, ER, cuyas aplicaciones cubren prácticamente todos los sectores de la economía y contribuyendo con el 19 % de la generación mundial de electricidad para el año 2013 [1]. Sin embargo, su posicionamiento en el mercado mundial de la energía y su popularización, enfrentan retos importantes: la intermitencia en su captación, la distancia entre producción y consumo, las dificultades de almacenamiento y la imposibilidad de utilizarse directamente en el transporte automotor; tal que es necesaria la participación de un vector energético que complementa a la electricidad y permita una conexión más eficiente entre los centros de producción y de consumo [2].

De las diversas alternativas estudiadas, el Hidrógeno,  $H_2$ , está constituyéndose en el vector más adecuado para superar en gran parte las dificultades mencionadas, por sus propiedades únicas, complementa perfectamente a la electricidad al producirse por electrólisis, y a su vez ser transformado en electricidad en celdas de combustible. Al igual que los combustibles fósiles, puede ser transportado y almacenado, es relativamente seguro y menos contaminante. Es compatible con los actuales sistemas de suministro de energía y con la producción de calor; y algo sumamente ventajoso: cuando se obtiene por electrólisis, con la electricidad requerida de origen renovable, su sistema energético es cerrado, de manera que el  $H_2$  constituye una ruta excelente entre la fuente primaria renovable y los usuarios finales [3]. Estas características del  $H_2$  han motivado la propuesta de la Economía del  $H_2$ , innovadora estructura energética conducida por los paradigmas energéticos emergentes de equidad, sustentabilidad y cooperación. En esta estructura, el  $H_2$ , en sinergia con la electricidad, sería el vector que suministre la energía requerida por todos los sectores de la economía para sus actividades. La Economía del  $H_2$  se concreta en el sistema energético Solar-Hidrógeno, SESH, cuyas características y perspectivas de desarrollo han despertado el interés de investigadores independientes, centros de I&D y los propios Estados, al visualizarlo como una vía adecuada hacia el desarrollo sustentable; así, en una amplia cantidad de países en diversas regiones del mundo, se están llevando adelante ambiciosos programas de I&D del SESH con vista a su utilización masiva en un plazo no mayor a 30 años [4].

En este sentido, América Latina, AL, al ser una región que dispone de grandes potenciales de ER, punto de inicio del SESH, resulta atractivo estudiar su participación en la matriz energética de los países de la región con vista a la satisfacción de sus necesidades energéticas de diferente índole, en especial en el sector rural, cuyas carencias de servicios energéticos no han sido totalmente satisfechas por la vía tradicional, ni probablemente lo sean. Sin embargo, en muy pocos países de AL existe el desarrollo científico y tecnológico, políticas de Estado y acciones formativas, para avanzar en la incorporación

del SESH en su matriz energética [5], siendo Brasil el líder en investigación y en innovación tecnológica, con la puesta en marcha de proyectos orientados a la utilización del SESH, especialmente en dos nichos de oportunidad: la energización rural y el transporte automotor urbano, aprovechando los altos potenciales de energía hidroeléctrica y de biomasa como fuentes primarias para la obtención del  $H_2$  [6].

En la República del Ecuador, el Ecuador en adelante, se replica la situación señalada para la región: existencia de potenciales aprovechables de ER y sectores de la economía susceptibles de aprovechar las ventajas del SESH. Sobre ello, según cifras oficiales, alrededor de cien mil hogares rurales, el 11 % del total, no disponen de servicios de energía; además, este porcentaje no está homogéneamente distribuido en el país, ya que hay provincias con hasta un 35 % de hogares rurales en situación de deprivación energética [7]. Por otra parte, el Estado ecuatoriano ha emprendido la transformación de la matriz energética del país basada en la incorporación de las ER, estableciendo políticas y planes de desarrollo de las mismas para que tales fuentes sean amplia mayoría en la oferta energética en el corto plazo, en especial en la generación eléctrica [8]. En resumen, la perspectiva del SESH como mecanismo para el desarrollo sustentable en el marco de la Economía del  $H_2$ ; la existencia de potenciales aprovechables de ER en el Ecuador, al igual que sectores de población y de la economía susceptibles beneficiarios del SESH; y finalmente, la posición y acción del Estado ecuatoriano hacia las ER, constituyen un escenario en el cual el estudio del desarrollo del SESH en el Ecuador, es no sólo conveniente sino necesario.

En este contexto, el principal propósito de este artículo es identificar y analizar los factores desencadenantes e inhibidores del desarrollo del SESH en el Ecuador, con vista a su inclusión paulatina en la matriz energética del país, propiciando además la incorporación del Ecuador a la Economía del  $H_2$ . Los resultados obtenidos constituyen un conocimiento base para estudios más detallados de la integración del SESH al sector de energía del país, y para la formulación de proyectos que valoren su utilización en contextos y requerimientos específicos, todo lo cual constituye el aporte de este trabajo.

## Los fundamentos del SESH

Conceptualmente, el SESH es un sistema energético cuya fuente primaria es la energía solar, directa o indirecta, y cuya fuente secundaria es el  $H_2$ . Estructuralmente, el SESH comporta los mismos componentes de todo sistema energético: transformación, almacenamiento, transporte y distribución, y usos finales, con una estructura genérica mostrada en la Figura 1 [9]; mientras que su arquitectura dependerá del tipo de energía solar utilizada para la obtención del  $H_2$  y del proceso seleccionado para ello. En esta figura se distingue la situación de la utilización del  $H_2$  *in situ*, o luego de su almacenamiento (línea punteada), del caso más general de su transporte



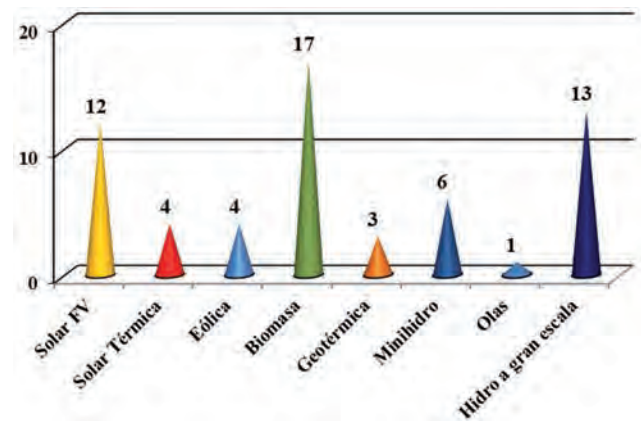
Figura 1: Estructura genérica del SESH.

hasta el usuario final (línea continua). Si bien en cada uno de los componentes se ha avanzado en conocimiento científico y desarrollo tecnológico, aún quedan escollos importantes por superar en todos ellos, como una mejor y mayor comprensión de los fenómenos de diferente naturaleza involucrados en las etapas de Transformación y Usos Finales, o la necesidad de lograr sistemas de almacenamiento más eficientes y seguros.

En la etapa de Transformación se convierte la energía contenida en la fuente renovable en energía química acumulada en el  $H_2$ . Sus procesos de obtención a partir de ER se han comparado, técnica y económicamente, con los procesos tradicionales de obtención a partir de fuentes fósiles, en especial el reformado de gas natural, obteniendo que el  $H_2$  renovable todavía no es competitivo, a excepción del proceso de producción por gasificación de biomasa [10, 11]. Pero también se señala que en el mediano plazo se pueden lograr costos comparables debido a los avances tecnológicos y la economía de escala, más aún si las externalidades del sistema energético basado en las fuentes fósiles se cuantifican y monetizan, con el fin de tener una comparación más justa entre ambos sistemas [12, 13].

Una vez producido, el  $H_2$  se almacena y transporta, con el fin de garantizar, en tiempo y espacio, su disponibilidad para su conversión en energía útil mediante dos procesos: combustión directa o reacción electroquímica. La energía útil, en la forma de calor, potencia mecánica y eléctrica, se destina a la satisfacción de un amplio abanico de requerimientos energéticos de diferente naturaleza: móviles, estacionarias y portátiles, ubicados en todos los sectores de la economía [14]. De todos ellos, hacia los sectores Transporte y Residencial se han dirigido los mayores esfuerzos, técnicos y económicos, para lograr la utilización masiva de las tecnologías de uso final del  $H_2$  y la aceptación social de las mismas [15]. Así, en el primer sector, las grandes corporaciones automotrices han creado sus divisiones del  $H_2$  con programas de I&D que han derivado en proyectos demostrativos de la utilización del  $H_2$  en vehículos propulsados por motores de combustión interna, o por celdas de combustible, tal que las proyecciones optimistas señalan que la comercialización de vehículos de pasajeros puede darse en el año 2015 [16, 17].

Sin embargo, la ausencia de una infraestructura de abastecimiento de  $H_2$  suficientemente distribuida y las difi-

Figura 2: Las ER como fuente para la producción de  $H_2$  en Ecuador.

cultades técnicas del almacenamiento de  $H_2$  a bordo, son obstáculos que amenazan con retardar en forma importante tales proyecciones. Ante esta situación, los esfuerzos se han orientado en detectar nichos de oportunidad en este mismo sector que no requieran de una infraestructura compleja, estos son los mercados emergentes o *early markets*, que tienen que ver con los procesos logísticos de transporte y manejo de personas, bienes y materiales. Así, la utilización del  $H_2$  en vehículos de soporte en tierra en aeropuertos, y en montacargas en grandes almacenes y centros de distribución de bienes y materiales, han tenido una gran aceptación y experimentado un gran crecimiento [18]. El propósito es sustituir las baterías y combustibles fósiles por celdas de combustible en la operación de tales vehículos, mejorando la eficiencia operativa y disminuyendo la emisión de contaminantes [19].

En el sector residencial, las aplicaciones del SESH van desde su uso compartido con los sistemas energéticos tradicionales en ambientes urbanos, hasta sistemas energéticos autónomos ubicados en zonas remotas y aisladas, tales como poblaciones rurales, puestos fronterizos o islas. En este sentido, en las regiones rurales de los países en vías de desarrollo, el SESH, sólo o conformando sistemas energéticos híbridos, está teniendo cada vez mayor presencia, contribuyendo a elevar la calidad de vida y al desarrollo sustentable de vastas regiones de América, Asia y África [20].

Respecto a las acciones para desarrollar el SESH en regiones y países, se pueden reportar, el European Integrated Hydrogen Project, EIHP; el Programa del Hidrógeno de la Agencia Internacional de Energía, el Hy-Ways, Hydrogen Energy in Europe, los cuales han dado un gran impulso a la implantación del SESH en su ámbito de influencia, mientras que AL adolece de algún programa regional con un propósito similar, [6]. En cuanto a los países que están llevando a cabo importantes programas para el desarrollo del SESH, están Canadá, Alemania, EE.UU., Japón e Islandia [21].

En la región latinoamericana, Brasil es el líder en I&D y con mayor trayectoria, su Programa Nacional del Hidrógeno data de hace 28 años, y en él se establecen las

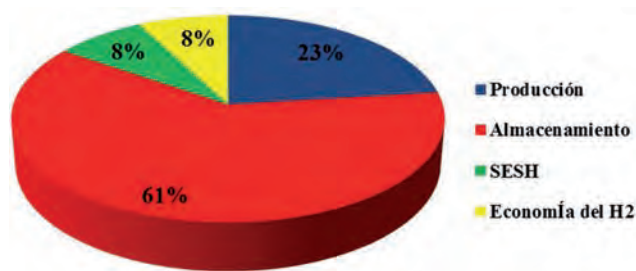


Figura 3: Distribución porcentual de los artículos científicos sobre el H<sub>2</sub> en Ecuador.

líneas directoras para la incorporación del H<sub>2</sub> en la matriz energética brasileña [22]; también está el Programa de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Economía del Hidrógeno, que abarca todos los componentes del SESH, aunque la prioridad está los Usos Finales [5]. Argentina es el segundo país, en orden de importancia, en adelantar acciones para la incorporación del SESH a su matriz energética, trabajando sobre ello desde 1986, proponiendo además la utilización de las celdas de combustible como nichos de oportunidad en la Antártida [23, 24]. El proyecto bandera argentino, único en AL, es la Planta Experimental de Pico Truncado, en el extremo sur del país, en el cual el H<sub>2</sub> se obtiene a partir de energía eólica, manteniendo además un amplio programa de financiamiento de proyectos de investigación sobre la producción, purificación y aplicaciones del H<sub>2</sub> [5].

Otro país en emprender acciones sistemáticas y continuadas es México, su programa de I&D contempla todos los componentes del SESH, pero enfatiza en la utilización del H<sub>2</sub> en el sector del transporte masivo de cara a mitigar los altos niveles de contaminación ambiental en las grandes ciudades del país [25], lo cual se plantea en detalle en un mapa de ruta hacia una economía sustentable basada en el H<sub>2</sub> y en un estudio prospectivo hasta el año 2025, sobre la reducción de gases de efecto invernadero y precursores de la lluvia ácida mediante el uso del SESH [26]. En los demás países de AL se reportan iniciativas personales aisladas y para situaciones muy específicas.

En cuanto al desarrollo de la energía del H<sub>2</sub> y del SESH en el Ecuador, no ha sido posible obtener elementos para evaluarlo, de una indagatoria preliminar se desprende que las iniciativas para el desarrollo del SESH en el Ecuador, son aisladas e individuales, situación que se debe revertir para lograr la incorporación paulatina del Ecuador a las nuevas corrientes que conducirían el escenario energético mundial ya avanzado el presente siglo, a lo cual este artículo aspira contribuir.

### Metodología

El estudio de los factores que propician o desestiman el avance del SESH en el Ecuador se lleva a cabo desde varias dimensiones: los potenciales aprovechables de las ER; la investigación científica y desarrollo tecnológico; los costos asociados con su implantación; los sectores

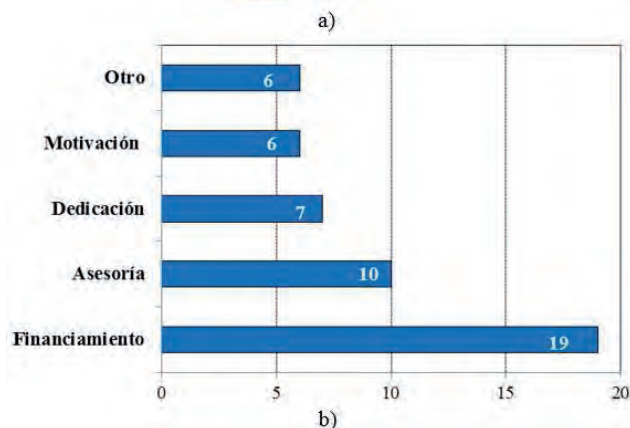
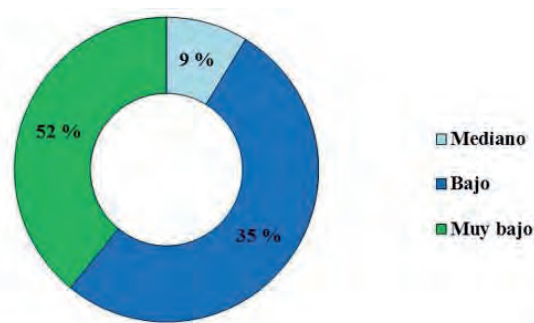


Figura 4: a) Nivel de la investigación del H<sub>2</sub> en el Ecuador, b) Factores que influyen en el nivel señalado.

de la economía susceptibles de aplicar las tecnologías de uso final del H<sub>2</sub>; las políticas públicas y el marco legal; la participación de la empresa privada; los programas de formación; las redes colaborativas y las acciones de divulgación y promoción. Todas ellas a tomarse en cuenta en un programa de desarrollo que desde una visión sistémica y sinérgica, proponga la incorporación del SESH en la matriz energética del país. Para cumplir con este cometido, se contemplan los siguientes mecanismos de adquisición de información relevante:

- a) Encuestas de percepción, de alcance nacional, aplicada a diferentes especialistas del área energética: funcionarios públicos, investigadores, catedráticos, empresarios e industriales, con el fin de conocer sus experiencias, posiciones y visiones sobre el desarrollo del H<sub>2</sub> renovable en el Ecuador.
- b) Indagatoria documental en diferentes fuentes: bases de datos de publicaciones científicas; mapas y tablas de potenciales de ER; publicaciones oficiales sobre políticas, planes y programas de fomento y apoyo; marco legal y regulatorio; programas de formación universitaria; repositorios institucionales, redes académicas de cooperación científica y actividades de promoción y divulgación.

De la clasificación, interpretación y análisis de esta información, se genera un conocimiento estructurado que contiene los elementos necesarios para identificar los factores que aceleran o ralentizan el desarrollo del H<sub>2</sub> como vector y el SESH como sistema energético en el Ecuador.

### Resultados y Análisis

Estos se analizan para cada una de las dimensiones señaladas, contrastando y complementando las dos fuentes de información utilizadas. En el caso de la primera fuente, se realizaron 23 entrevistas a un mismo número de participantes, cuyo perfil y conocimiento del H<sub>2</sub> se presentan en las Tablas 1 y 2, respectivamente.

De esta información se deduce que el perfil promedio del encuestado es: con estudios de doctorado, laborando en alguna institución en actividades de investigación y docencia, con un conocimiento teórico sobre el H<sub>2</sub> adquirido principalmente de artículos científicos, y un conocimiento práctico de trabajos experimentales y proyectos demostrativos. Señalando como principales limitaciones para el desarrollo del H<sub>2</sub>, las de tipo técnico y económico; mientras que la principal ventaja es de tipo ambiental, indicada por una amplia mayoría de participantes. Finalmente, el 70 % de los participantes considera que las posibilidades de desarrollo del H<sub>2</sub> a nivel global son muy altas o altas.

#### Desde los potenciales de energías renovables

La consideración sobre el potencial de ER que podría aprovecharse en el Ecuador con vista a su participación en el SESH, se orienta hacia aquellas fuentes renovables que una indagatoria previa indica que tienen una presencia importante en el país.

La primera apreciación es para la energía solar, cuyo potencial usualmente se representa en mapas georeferenciados de la insolación promedio mensual o anual, construidos a partir de datos de estaciones meteorológicas terrestres, de satélites meteorológicos, o de ambos, utilizando para ello una amplia variedad de procedimientos matemáticos, estadísticos y herramientas informáticas y computacionales, como los sistemas de información geográfica, SIG. Este potencial estimado corresponde al potencial geográfico o teórico, y a partir de él, mediante una aproximación modélica tipo *top down*, se obtienen los potenciales técnicos y económicos [27].

En el Ecuador, en el año 2008, el Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC, presentó el Atlas Solar del

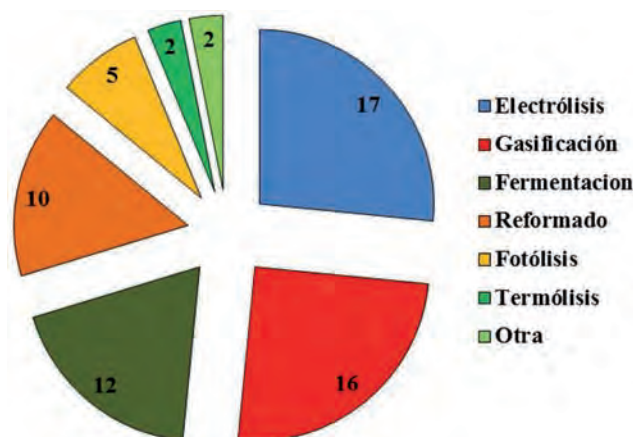


Figura 5: Procesos de producción teóricos del H<sub>2</sub> en el Ecuador.

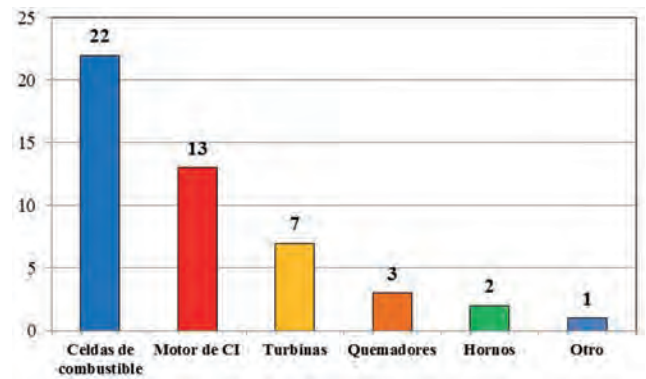


Figura 6: Tecnologías de transformación del H<sub>2</sub> a ser utilizadas teóricamente en el Ecuador.

Ecuador con Fines de Generación Eléctrica [28]. La información fuente utilizada proviene del Laboratorio Nacional de Energía Renovable de EE. UU., NREL, por sus siglas en inglés, la cual se procesa con el modelo CRS (Climatological Solar Radiation Model) generando la insolación diaria total sobre una superficie horizontal en celdas de 40 km de lado y cuyos resultados han sido validados con mediciones en estaciones meteorológicas con un error del 10 %. Esta información se filtra para seleccionar la correspondiente al territorio continental ecuatoriano, y se exporta a una plataforma de un SIG, obteniendo una cobertura de 472 puntos, y finalmente los mapas mensuales de insolación directa, difusa y global. Sin embargo, no se presentan los estimados globales de la potencia o energía eléctrica que podría generarse a partir de los valores de insolación, información de mucha utilidad para conocer la cantidad de H<sub>2</sub> que podría obtenerse a partir de esta fuente primaria.

En el caso de la energía eólica, también es usual expresar su potencial en mapas de velocidad y dirección promedio del viento, en unión del potencial eléctrico que podría generarse. Así, en el año 2013 el Ministerio de Energía Eléctrica y Energías Renovables, MEER, dió a conocer el Atlas Eólico del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica, conformado por un amplio conjunto de mapas de las velocidades anuales de viento y otras variables de interés para toda la superficie continental del Ecuador [29]. Para su realización se utilizó el sistema MesoMap, integración de modelos de simulación de la atmósfera, bases de datos, estaciones de trabajo y almacenamiento de información de gran capacidad. La estructura fundamental es el MASS (Mesoscale Atmospheric Simulation System), modelo fisico-matemático que simula el comportamiento de la atmósfera a mesoescala y que se acopla con un modelo de microescala simplificado de flujo de viento, WindMap, para mejorar la resolución espacial e incluir los efectos locales de la rugosidad y la orografía. El MASS simula las condiciones atmosféricas sobre la región de interés para 366 días elegidos de forma aleatoria de un total de 15 años. El MASS se ejecuta hasta llegar a una resolución de 2,5 Km., mientras que WindMap alcanzó una resolución de 200m.

<b>Formación</b>	Pregrado 1	Maestría 6	Doctorado 15	Secundaria 1
<b>Área de desempeño profesional</b>	Educativa 16	Gubernamental 5	Empresarial 2	
<b>Actividades que realiza</b>	Docencia 18	Investigación 21	Industria 1	Otra 1

Tabla 1: Perfil de los participantes en la encuesta.

<b>Adquisición de su conocimiento teórico</b>	Cursos 0	Libros 12	Artículos 17	Eventos 10	Internet 15	Otro 2
<b>Adquisición de su conocimiento práctico</b>	Experimentos 10	Demostraciones 10	Plantas de producción 3	Otro 4		
<b>Percepción de las limitaciones del H<sub>2</sub></b>	Técnicas 19	Económicas 18	Políticas 13	Difusión 15		
<b>Percepción de las ventajas del H<sub>2</sub></b>	Técnicas 10	Económicas 6	Ambientales 21	Sociales 12		
<b>Posibilidades de desarrollo del H<sub>2</sub> en el ámbito mundial</b>	Muy altas 7	Altas 9	Medianas 5	Bajas 2		

Tabla 2: Conocimiento y percepción sobre el H<sub>2</sub> de los participantes de la encuesta.

También se calcula el potencial de generación eléctrica, bruto y factible a corto plazo, considerando aspectos técnicos y geográficos, locaciones ubicadas por encima de los 3.500 m, velocidades mayores a los 7 m/s, y añadiendo la cercanía a la red eléctrica y acceso vial en el segundo tipo. En la Tabla 3 se muestran los valores para las provincias que cumplen con las restricciones de cálculo.

En atención a la biomasa, su potencial se clasifica según su disponibilidad teórica, técnica, económica y sustentable; el primero toma en cuenta factores biofísicos y agroecológicos; de éste se deriva el potencial tecnoeconómico, considerando la accesibilidad, la logística y los costos de producción. Finalmente, el potencial sustentable se cuantifica evaluando el impacto social, económico y ecológico de un proyecto específico [27]. Por tanto, la estimación del potencial energético de la biomasa depende de un conjunto de factores de diferente naturaleza cuya cuantificación implica un cierto grado de complejidad. Para el Ecuador, en [30] se presenta un estimado para el año 2005 según el tipo de biomasa considerada, Tabla 4. En [31] se hace un estimado sin indicar el tipo de potencial, mostrado en la Tabla 5; en este caso se debe señalar que los potenciales de los bosques y plantaciones señalados no pueden tomarse en cuenta para generación de energía por los impedimentos legales al respecto y no cuantificables en el potencial.

Por su parte, el Instituto Nacional de Energías Renovables, INER, ha hecho una evaluación preliminar de la bioenergía obtenible a partir de los residuos sólidos urbanos, expresando sus resultados en un mapa de distribución geográfica [32]. A partir del valor total diario de esta energía se ha calculado el total anual, resultando un valor de 21.900 GWh que difiere ostensiblemente de las estimaciones anteriores. Finalmente, se conoce un estudio sobre la ubicación de la biomasa en Ecuador en términos de mapas de su distribución geográfica, pero

sin indicar valores del potencial, cualquiera sea su tipo [33].

La disparidad entre los diferentes estimados hace difícil tener un aproximado más o menos preciso de la cantidad de energía aprovechable del recurso de biomasa del país. Un estudio en profundidad sobre las razones de estas divergencias no ha sido posible por la dificultad de obtener mayores detalles de los aspectos técnicos que sustentan todos estos estimados. En este escenario, una vía sería centrar los esfuerzos en lograr estimaciones más precisas de un tipo de biomasa, con esta consideración, el estudio de [32] luce como el más fiable al basarse en procedimientos más elaborados; además por su condición preliminar puede estar sometido a ajustes que harían más consistentes sus resultados. En ésta misma línea, en [34] se ha logrado cuantificar la cantidad de energía contenida en los desechos residuales de la plantación de cacao, con un valor de 215.477 MJ.

Si ahora se considera la energía geotérmica, lo primero es precisar el significado del potencial geotérmico, en [35] se establece que el recurso geotérmico base accesible corresponde a la energía térmica localizada entre la superficie de la tierra y una profundidad específica,

Provincia	Área (km <sup>2</sup> )	Potencia instalable (MW)	Energía anual (GWh/año)
Carchi	4,60	13,80	23,69
Imbabura	3,68	11,04	18,96
Pichincha	40,81	122,42	210,98
Bolívar	2,42	7,27	12,49
Chimborazo	11,87	35,61	61,14
Cañar	23,95	71,85	123,36
Azuay	33,92	101,77	174,74
Loja	173,49	520,46	833,62
<b>Total</b>	<b>294,74</b>	<b>884,22</b>	<b>1.518,17</b>

Tabla 3: Potencial eólico factible a corto plazo.

Tipo de biomasa	Teórico (GWh/año)	Técnico (GWh/año)
Residuos sólidos urbanos	3.144	2.114
Residuos agrícolas	17.299	6.919
Residuos agroindustriales	4.467	2.685
Residuos ganaderos	2.900	870
Industria alcoholera	48	43
<b>Total</b>	<b>27.858</b>	<b>16.631</b>

Tabla 4: Potencial teórico y técnico de la biomasa en el Ecuador.

siendo los 10 km la profundidad generalmente aceptada. Un valor referencial del potencial geotérmico del país se consigue en [36], donde se analizan los potenciales geotérmicos de los países de la región latinoamericana incluyendo el Caribe, ubicando al Ecuador en el lugar 11 de 17 países considerados, con valor del potencial de 1.700 MW.

Por su parte, en [31] se señala una capacidad geotérmica de 4,0 TJ, con una factibilidad de generación de 4.700 GWh, suficiente para satisfacer el 60 % del consumo anual. Mientras que en [37], se señala un potencial de 3.000 MWe y una capacidad instalada de 5 MWt, presentando además las ubicaciones geográficas con mayor potencial y el grado de avance de los proyectos geotérmicos, lo cual también se hace en [38], donde se señala un potencial aprovechable de 500 MWe para las tres zonas con mayores perspectivas de desarrollo. Nótese que en este caso, se repite la dificultad observada para el caso de la biomasa: la existencia de estimados diferentes. Sobre ello, se debe señalar que los dos últimos estudios son los más consistentes y fiables, por tratarse de los estudios más recientes y en ambos casos de investigadores con trayectoria en el estudio de la geotermia.

Por último se trata el potencial hidráulico del país, calculado en 15.000 m<sup>3</sup>/s, cuya conversión parcial en centrales hidroeléctricas de tamaño diverso, constituye el 55 % de la generación total para el año 2012, y un ele-

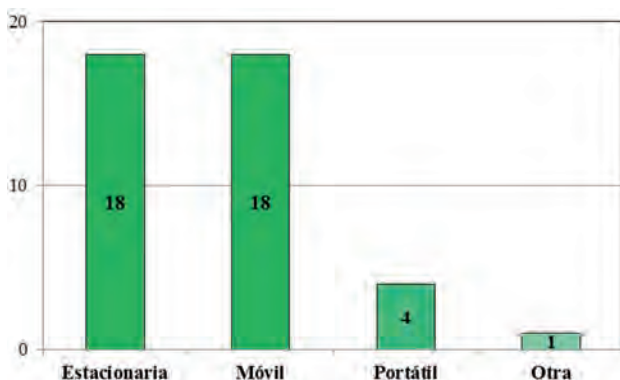


Figura 7: Aplicaciones teóricas de las tecnologías del H<sub>2</sub> en el Ecuador.

Tipo de biomasa	Energía Estimada (año)
Bosques y plantaciones	820 TWh
Residuos vegetales	4.300 GWh
Desechos municipales	4.000 GWh
Residuos animales	3.300 MWh

Tabla 5: Potencial energético teórico según el tipo de biomasa.

mento significativo en el proceso de diversificación de la matriz energética del Ecuador, al plantearse como una meta que la generación hidroeléctrica alcance el 90 % del total para el año 2017, [39]. Así, los proyectos Mazar, Sopladora, Coca Codo Sinclair son los más importantes que proveerán un total de energía adicional de alrededor de 17600 GWh para el 2015 [8]. Finalmente en [40], se presenta un estimado del potencial hidroeléctrico, señalando un valor de 91 GW para el potencial teórico; de 31 GW para el potencial técnico y de 22 GW para el potencial económico, sin ofrecer mayores detalles sobre la forma de calcularlo.

Para el propósito de éste trabajo, es relevante conocer el potencial hidráulico de baja escala con vista a su aprovechamiento en pequeñas centrales hidroeléctricas, consideradas tecnologías de transformación auténticamente renovables, en contraposición a las grandes centrales hidroeléctricas, cuestionadas en su naturaleza renovable, por los grandes desequilibrios ambientales y ecológicos que generan, en especial en la etapa de construcción [41, 42]. Además, la intención de construir pequeños emplazamientos de generación hidroeléctrica en aquellas regiones del país donde convenga su desarrollo, está a tono con la visión actual de distributividad de los sistemas energéticos renovables [43]. Si bien no ha sido posible obtener un estimado total del potencial a pequeña escala, el CONELEC reporta 137 proyectos con una capacidad total proyectada cercana a los 300 MW, con un 40 % de proyectos con capacidades entre 1 y 10 MW,

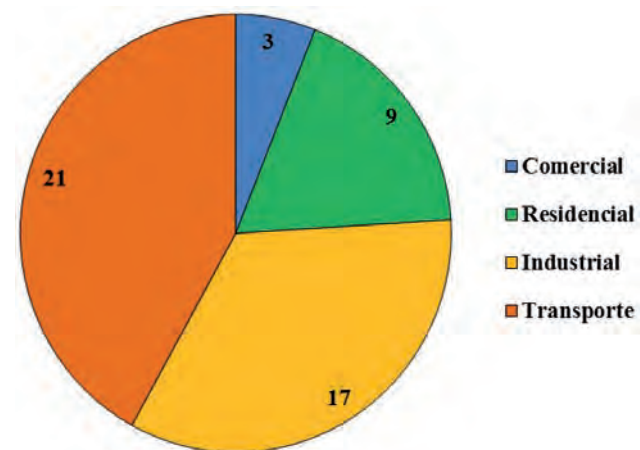


Figura 8: Sectores teóricos de la economía del Ecuador para la aplicación de las tecnologías del H<sub>2</sub>.

Tipo de ER	Teórico	Factible	Técnico	Económico (MW)
Solar	—	—	—	6.500
Eólico	2.869 GWh/año	1.519 GWh/año	—	998
Biomasa	27.558 GWh/año	—	16.631 GWh/año	—
Geotérmica	1.700 MW	4.700 GWh/año	—	1.000
Hidroeléctrica	91.000 MW	—	31.000 MW	22.000
<b>Total</b>				<b>30.498</b>

Tabla 6: Potencial de las ER en el Ecuador según su tipo y clase.

y el 60 % de proyectos menores de 1 MW, todos en diferentes niveles de avance y ubicados principalmente en la vertiente del Pacífico [44].

En síntesis, de los estudios referidos sobre la estimación de las ER en el Ecuador, se desprenden dos características: una, la ausencia de valores completos de los diferentes tipos de potenciales; y dos, la diversidad de estimaciones poco consistentes entre ellas, como sucede para la biomasa y la geotérmica. Un resumen de los potenciales para las diferentes ER se muestra en la Tabla 6, en la cual el potencial económico de las diferentes energías corresponde a la generación eléctrica [40].

En la tabla anterior se aprecia la preponderancia de los potenciales de biomasa e hidroléctrico, siendo éstas las ER más indicadas como fuentes primarias para la obtención del vector H<sub>2</sub>, lo cual es corroborado en los resultados de la encuesta, al señalarse a ambas fuentes como las más indicadas para la producción de H<sub>2</sub> en el país, en especial la segunda al consolidarse los potenciales de gran y pequeña escala, Figura 2. En tercer lugar se ubica la energía solar FV, a pesar de las dificultades técnicas que implica la operación intermitente de los electrolizadores, para el caso en que esta fuente renovable provea la energía eléctrica para el proceso de producción por electrólisis [10].

Como última consideración sobre este apartado y con el fin de tener un orden de magnitud de la cantidad de H<sub>2</sub> que teóricamente podría obtenerse a partir del potencial total de ER, se plantea su producción por electrólisis del agua. Para este cálculo preliminar, se asume un escenario conservador en el cual sólo el 10 % de dicho potencial se destina a la producción de H<sub>2</sub>, considerando además una eficiencia de conversión, EF, del 60 %; un

factor de disponibilidad de la planta electrolítica de 0,95 y tomando el Valor Calorífico Superior del H<sub>2</sub> (HHV) como base de referencia energética [45], tal que:

$$PH = \frac{PET \times EF \times FD}{HHV} \tag{1}$$

$$PH = \frac{30,498 \times 10^3 kW \times 0,1 \times 0,6 \times 0,95 \times \frac{8760 h}{ano}}{\frac{33,33 kWh}{kg H_2}} \tag{2}$$

$$= 4,57 \times 10^8 \frac{kg H_2}{ano}$$

En la Tabla 7 se presenta un resumen de la producción de H<sub>2</sub> por electrólisis a partir de electricidad renovable en varios países de América, si bien una comparación adecuada no es posible, al corresponder a situaciones y condiciones diferentes, sirve para tener una visión preliminar del posicionamiento del país en el ámbito americano. Otro referente es el valor obtenido en un reciente estudio sobre la producción de H<sub>2</sub> electrolítico en la provincia del Azuay, igual a 10,8 x 10<sup>6</sup> kg H<sub>2</sub>/año [46]. Sobre la producción, histórica y actual del H<sub>2</sub> en el país, como insumo químico para una amplia variedad de procesos en refinerías, petroquímicas e industrias del ramo, no ha sido posible obtener información alguna, revelando una carencia importante: la dificultad para disponer de un conocimiento fiable que soporte cualquier intención de adelantar un proyecto sobre la utilización de las tecnologías del H<sub>2</sub>.

**Desde la investigación científica y desarrollo tecnológico**

Para conocer sobre este elemento relevante para el avance del SESH en el Ecuador, se realizó una búsqueda

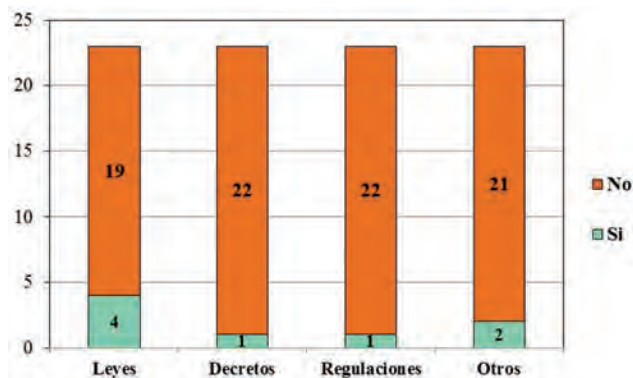


Figura 9: Existencia de instrumentos legales sobre el desarrollo del H<sub>2</sub>.

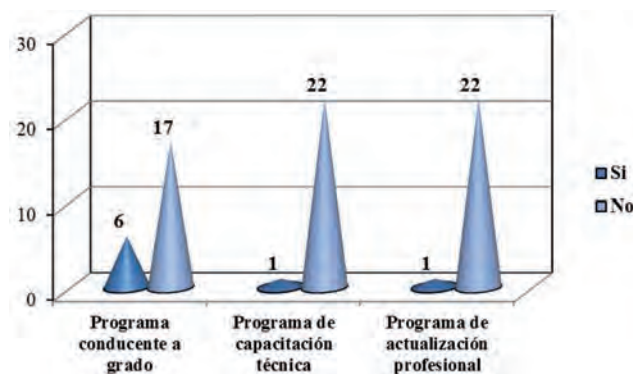


Figura 10: Actividades formativas que contemplan la enseñanza del vector H<sub>2</sub>.



País, Provincia	Potencial (kg H <sub>2</sub> /año)	Año
Argentina, Córdoba [47]	37,34x10 <sup>6</sup>	2010
Brasil, Ceará [48]	5,06x10 <sup>6</sup>	2010
Chile, Patagonia [49]	3,8x10 <sup>5</sup>	2010
Ecuador	4,57x10 <sup>8</sup>	2014
USA [50]	1.110x10 <sup>15</sup>	2005
Venezuela [51]	2.073x10 <sup>10</sup>	2014

Tabla 7: Potencial teórico de producción de H<sub>2</sub> renovable en varios países de América.

documental sobre artículos científicos y ponencias en eventos científicos, ambas formas usuales de divulgar los resultados de investigaciones. En el primer caso, se obtuvo un total de 12 publicaciones en revistas indexadas, cuya distribución porcentual, según el aspecto del SESH considerado, se muestra en la Figura 3. En esta distribución se destaca el aporte de las publicaciones sobre el componente Almacenamiento por parte de investigadores de la Universidad San Francisco de Quito, USFQ, enfocadas al estudio del almacenamiento de H<sub>2</sub> en hidruros y nanoestructuras de carbono. Esta escasa producción científica también se da en el caso de las ER, ya que en un reciente estudio que trata sobre la producción científica en Iberoamérica, se reporta que en el Ecuador apenas se han publicado cuatro artículos incluidos en el Science Citation Index, en el lapso 2000-2011, ubicándolo en el lugar 17 de un total de 20 países incluidos en el estudio y significando un aporte insignificante a la producción científica iberoamericana en ER [52].

Estos resultados revelan una importante carencia, que a su vez, es una consecuencia de la baja intensidad en investigaciones sobre el H<sub>2</sub> y las ER. Al respecto, primero se precisaron las investigaciones hechas bajo la modalidad de tesis de grado de licenciatura, obteniendo un total de 7 en el lapso 2010-2014, Tabla 8. Es resaltable que en 5 de ellas se estudia la producción de H<sub>2</sub> por electrólisis con vista a su utilización en mezclas combustibles para motores de combustión interna, aplicación bastante debatida y controversial en cuanto a su soporte teórico, viabilidad técnica y seguridad operativa [53–55].

En cuanto a los proyectos de investigación propiamente dichos sobre los diferentes componentes del SESH, los resultados evidencian una carencia importante, ya

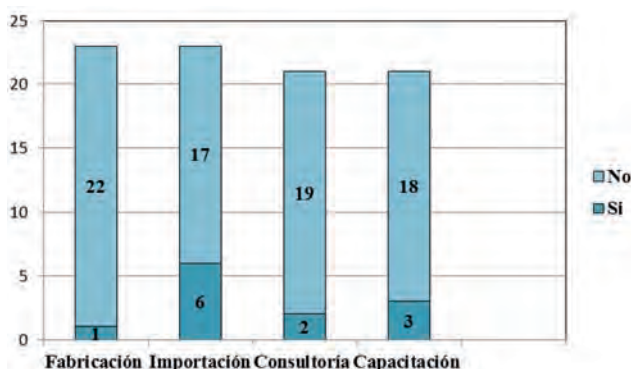


Figura 11: Actividades del sector privado de la economía relativas al H<sub>2</sub>.

que sólo se obtuvo información de cuatro; el primero, formulado en el año 2009 y actualmente en etapa de reformulación, se titula “Generación eléctrica alternativa para uso doméstico utilizando combustible hidrógeno” de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, con financiamiento de la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología, SENESCYT, con un monto de USD 287.782. Su objetivo principal es popularizar en el país el uso del H<sub>2</sub> como fuente secundaria de energía y mejorar la productividad de la industria acuícola al utilizar las cáscaras de camarón y cangrejo, como base para el desarrollo una membrana biopolimérica para ser usada en las celdas de combustible, siendo esto su principal aporte e innovación más relevante [56]. Sin embargo, no ha sido posible obtener información sobre el estado del proyecto y el hecho de su reformulación es una señal que no se ha llevado a cabo en la forma originalmente planificada.

El segundo proyecto, del año 214, se titula “Producción de H<sub>2</sub> a partir de la biomasa procedente de los residuos de la planta del banano mediante la gasificación catalítica en agua a temperatura supercrítica”, con el apoyo financiero de la SENESCYT, con un aporte cercano a los USD 800.000, y con el trabajo cooperativo entre la Universidad de Cuenca, el INER y la Universidad de Zaragoza de España. La investigación a realizarse en tres años, aborda una investigación de tipo fundamental sobre el desarrollo de catalizadores a partir de un residuo que actualmente no tiene ningún uso [57]. Constituye la acción investigativa más importante, incentivará la conformación de un grupo de investigación multidisciplinar y contribuirá a la formación de docentes de la Universidad de Cuenca, en principios y aplicaciones del H<sub>2</sub>.

El tercer proyecto, de tipo experimental, está realizándose en la Universidad Central y plantea un novedoso método de producción del H<sub>2</sub> por hidrólisis a partir de los desechos de la producción de aluminio, utilizando el óxido de calcio como promotor, de ésta manera sólo es necesario disponer de agua, residuos de aluminio y cal, [58]. Finalmente se debe mencionar una investigación desarrollada en la Escuela Politécnica Nacional, titulada “Desarrollo de células sostenibles H2EXERGIA, para el aprovechamiento del hidrógeno como vector energético, generado a partir de energía solar”, que mereció el tercer premio del Concurso Odebrecht del año 2013. Un prototipo fue el principal resultado de este estudio para



Figura 12: Actividades de promoción y difusión sobre las tecnologías del H<sub>2</sub>.

Título	Institución	Año
Diseño de un prototipo para un sistema de alimentación de gas H <sub>2</sub> como combustible alternativo para un motor de ciclo Otto	Universidad Politécnica Salesiana	2010
Diseño y construcción de un electrolizador de corriente continua de 200 W con energía solar e instrumentación necesaria para medir la producción de H <sub>2</sub>	Escuela Politécnica Nacional	2010
Estudio comparativo del funcionamiento y rendimiento en un motor de combustión interna con la adaptación de un sistema de alimentación adicional de H <sub>2</sub> y O <sub>2</sub>	Universidad Internacional del Ecuador	2011
Construcción y adaptación de un sistema generador de gas de hidrógeno para suministrarlo a un motor de combustión interna	Universidad Técnica del Norte. Ibarra	2012
Implementación de un generador e inyector de hidrógeno en un motor de vehículo MAZDA BT-50, 2.2 L, para reducir emisiones de gases contaminantes	Escuela Superior Politécnica del Chimborazo	2013
Estudio de la viabilidad socio-ambiental del hidrógeno como vector energético producido a partir de energías renovables en el Ecuador	Escuela Politécnica Nacional	2014
Diseño y construcción de un prototipo para generación de hidrógeno y oxígeno	Escuela Politécnica Nacional	2014

Tabla 8: Tesis de pregrado sobre las tecnologías del H<sub>2</sub>. Lapso 2010-2014.

un SESH, con la energía solar como fuente primaria, la producción del H<sub>2</sub> por electrólisis, su almacenamiento en forma de gas comprimido, aunque sin incluir la tecnología de uso final [59].

Todo lo anterior manifiesta que la investigación y desarrollo tecnológico del SESH en el Ecuador, es incipiente, sin articulación y principalmente conducida por intereses particulares, posicionándose muy por debajo de la actividad realizada en Brasil, México y Argentina, países líderes en este campo en América Latina [6]. La percepción de los encuestados refleja también una situación desfavorable para el desarrollo del H<sub>2</sub> en el Ecuador y se presenta en las Figuras 4.a y 4.b.

Nótese que respecto a la percepción del desarrollo de la investigación, el 87 % de las respuestas la ubica en niveles bajos y muy bajos. Mientras que 19 de los 23 encuestados afirman que tal situación se debe a limitaciones de financiamiento; y en segundo lugar, a falta de asesoría, en forma de tutorías y conducción de proyectos. Esta situación debe atenderse por parte de las instancias oficiales encargadas de ello y de los cuerpos directivos de las instituciones de educación superior que tienen que ver con las políticas de investigación y acompañamiento académico.

#### Desde los costos del SESH

Esta dimensión constituye un elemento importante de cualquier decisión sobre la implantación del SESH, y comprende los costos de los diferentes componentes del mismo y del sistema global resultante de la interconexión de todos ellos. Para el componente Transformación, los costos están asociados con la utilización de la

energía primaria renovable en la obtención del H<sub>2</sub> y varían según el tipo de fuente primaria y el proceso de conversión utilizado. En varios estudios de evaluación económica se señala que el uso de la biomasa como fuente del H<sub>2</sub>, es ya competitiva con las fuentes fósiles [11, 60]. Esta situación resulta favorable para la intención de desarrollar el SESH en el Ecuador, tomando en cuenta su potencial, la experiencia de su utilización en ingenios azucareros como fuente de energía; siendo también significativo que el principal proyecto de I&D reseñado se oriente al aprovechamiento de esta fuente renovable para la producción de H<sub>2</sub>.

En el caso de la producción de H<sub>2</sub> por electrólisis, sus costos dependen principalmente del costo de la energía eléctrica requerida para el rompimiento de la molécula de agua, de manera que este proceso será competitivo respecto a los procesos tradicionales en la medida que el costo de la electricidad lo permita. Sobre ello, la posibilidad de utilizar la electricidad en exceso, de bajo costo, en la producción de H<sub>2</sub> es una opción que ha sido estudiada en países de la región con altos potenciales hidroeléctricos, Brasil [61], Paraguay [62] y Venezuela [63], obteniendo costos atractivos para la producción de H<sub>2</sub> y altamente competitivos, tanto con la producción de H<sub>2</sub> por reformado del gas natural como por gasificación de biomasa. En el caso de Ecuador, se ha estudiado la posibilidad de utilizar la energía hidráulica “desperdiciada” en la central hidroeléctrica Hidropaute para generar electricidad, que a su vez, permitiría obtener el H<sub>2</sub> a unos costos atractivos [46], Tabla 9.

Además, en un estudio realizado en Turquía sobre la utilización de electricidad secundaria proveniente de pe-

País	Costos (USD/kg)	Año del estudio
Brasil	2,38	2013
Ecuador	2,26 a 3,62	2014
Paraguay	4,3	2012
Venezuela	2,36 a 4,12	2007

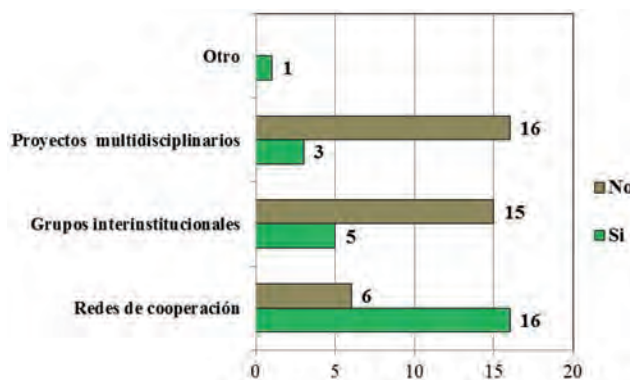
**Tabla 9:** Estimados teóricos de costos de producción de H<sub>2</sub> electrolítico en varios países de AL.

peñas centrales hidroeléctricas, se reporta un costo de producción de H<sub>2</sub> en el rango de 0,55 a 1,21 USD/kg aprovechando la disminución de los costos por las economías de escala [64]. Esta situación podría replicarse en el país, tomando en cuenta la gran cantidad de proyectos disponibles para el aprovechamiento de pequeñas centrales hidroeléctricas, en las cuales se podría dar el acoplamiento y sinergia entre los dos vectores implicados: electricidad e H<sub>2</sub>, con las ventajas que esto conlleva. De todo lo anterior, se desprende que la biomasa y la hidroeléctrica constituyen las fuentes renovables más atractivas para ser usadas como punto de origen del SESH en el Ecuador.

Este resultado del análisis documental se corrobora desde la percepción y conocimiento de los encuestados sobre los posibles procesos de producción del H<sub>2</sub> en el Ecuador, Figura 5, observándose que la electrólisis, la gasificación y fermentación son indicados como los más adecuados. La electrólisis con la electricidad de origen renovable, en especial la hidroelectricidad, y los dos siguientes enfocados al aprovechamiento de la biomasa.

**Desde los usos y aplicaciones del SESH**

Constituyen el eslabón entre la infraestructura energética y el usuario final ubicado en cualquier sector de la sociedad, de manera que la aceptación social y el manejo seguro de las tecnologías de uso final del H<sub>2</sub> determinarán en gran medida la penetración exitosa y la utilización masiva del H<sub>2</sub> como vector energético en el futuro mediato. Al respecto, en las Figuras 6, 7 y 8, se expresan los resultados de la encuesta sobre cómo se concibe la utilización del H<sub>2</sub> en el Ecuador, en la primera se aprecia la distribución de las diferentes tecnologías de transformación que podrían ser utilizadas en el país, evidenciándose el predominio de las celdas de combustible al ser seleccionadas por 22 de los 23 participantes, seguida del uso en motores de combustión



**Figura 13:** Actividades colaborativas sobre el H<sub>2</sub> en el Ecuador.

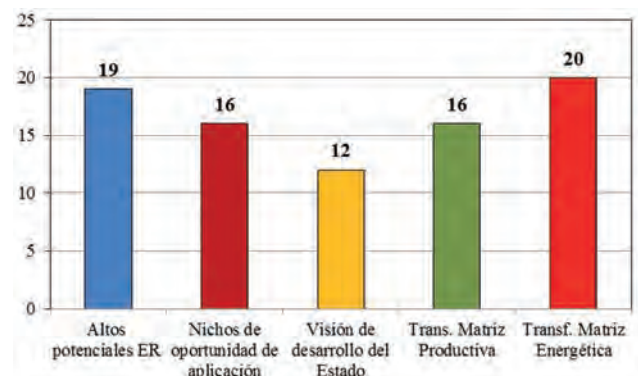
interna, lo cual está a tono con lo reportado en la bibliografía sobre las tecnologías de uso predominantes [65], y representan las dos formas de aprovechar la energía química contenida en el H<sub>2</sub>: reacción electroquímica y combustión, respectivamente.

Estas tecnologías se utilizarían tanto en aplicaciones estacionarias como móviles, relegando las aplicaciones portátiles a un tercer plano, Figura 7; mientras que el sector del Transporte es considerado el más adecuado para utilizar el H<sub>2</sub> en el Ecuador, seguido del sector Industrial, con el sector Residencial como tercera opción, Figura 8. Sobre estos resultados vale señalar que ambos están en concordancia con un estudio previo sobre las posibilidades de desarrollo del H<sub>2</sub> en América Latina en el cual se concluye que los nichos oportunidad son el transporte urbano en vehículos movidos por celdas de combustible (aplicación móvil) y la energización rural (aplicación estacionaria) [6]. Manifestándose una sola discrepancia, la ubicación del sector Industrial por encima del sector Residencial, lo cual deja entrever que probablemente se estime la utilización del H<sub>2</sub> como fuente química más que como fuente energética.

**Desde el marco legal y regulatorio**

Este elemento relativo a la estructura jurídica y normativa que favorezca e incentive la penetración del H<sub>2</sub> en el país es prácticamente inexistente, apenas puede referirse una iniciativa del año 2005, consistente de una propuesta de ley para promover la investigación, el desarrollo, la producción y el uso del H<sub>2</sub> como combustible y generador energético, la cual no prosperó [66]. Vale decir que esta ausencia de instrumentos legales que estimulen el avance del H<sub>2</sub> no es exclusiva del Ecuador, ya que, salvo Argentina, con leyes tanto en el ámbito federal como provincial, y una reciente iniciativa en México, en ningún país de la región se ha detectado la presencia de leyes, decretos y normas sobre la participación del H<sub>2</sub> en el sector energético [6].

Sobre esta situación, los resultados de la encuesta muestran un consenso de la ausencia de instrumentos legales en pro del H<sub>2</sub> en el país, Figura 9. En los casos que se señala la existencia de tales instrumentos, se alude a la Constitución de la República, mientras que en las



**Figura 14:** Oportunidades para el desarrollo del H<sub>2</sub> en el Ecuador, desde la visión de los encuestados.

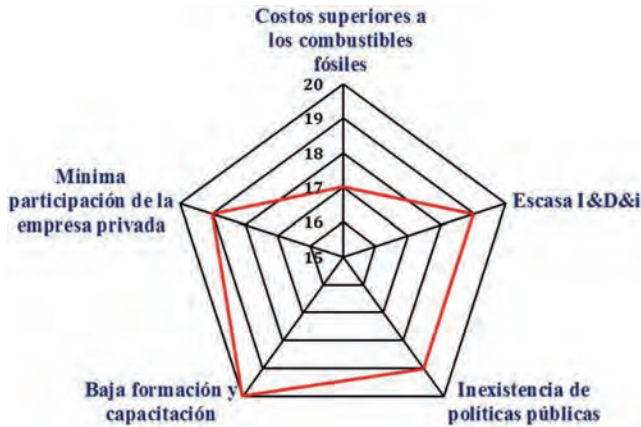


Figura 15: Barreras para el desarrollo del H<sub>2</sub> en el Ecuador desde la visión de los encuestados.

opciones Decretos y Regulaciones, se señala el decreto correspondiente a los Biocombustibles, sin mayores especificaciones, y la Regulación 001/13 del CONELEC relativa a la generación de electricidad a partir de fuentes renovables no convencionales. Finalmente en el ítem Otros se indica el Plan Nacional del Buen Vivir. Nótese que en todos los casos, la existencia de instrumentos legales se refiere a las ER más que al vector H<sub>2</sub> en forma directa.

### Desde la formación y capacitación

En esta dimensión de análisis se replica exactamente la situación hallada para la dimensión Marco Legal, la ausencia de oferta formativa, tanto en cursos dentro de la malla curricular de programas académicos, como en cursos extracurriculares, programas de capacitación u otro tipo de actividad orientada a la formación del capital humano requerido para la investigación e innovación tecnológica, como para la operación y mantenimiento de las tecnologías de Uso Final del H<sub>2</sub>. De manera que las acciones sobre la formación en fundamentos y aplicaciones del H<sub>2</sub> energético se remiten a la dirección y asesoría de tesis de pregrado y responden al interés particular de los propios docentes más que a algún plan académico estructurado de formación en este campo de estudio. El resultado de la encuesta para esta dimensión se presenta en la Figura 10, destacando que las respuestas positivas en la opción de programas conducentes a grado, en realidad corresponden a la formación en ER, en los cuales los encuestados consideran puede insertarse la formación sobre el H<sub>2</sub> y el SESH.

Ante esta situación, corresponde a las universidades y otras instituciones de educación superior adelantar acciones sistemáticas y coherentes sobre la formación en los fundamentos y aplicaciones de las del SESH e incrementar también la oferta en las ER. En este punto se debe señalar la importancia que se le está confiando a la formación en H<sub>2</sub> en países que están avanzando hacia la Economía del H<sub>2</sub>, orientándola principalmente a la experimentación en laboratorios especialmente diseñados para ello, tanto en forma presencial como virtual [67, 68].

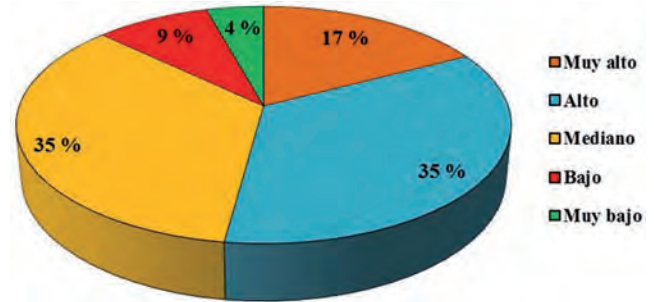


Figura 16: Visión de los participantes sobre desarrollo del H<sub>2</sub> en el Ecuador.

### Desde las políticas públicas: planes, programas y proyectos de desarrollo

Sobre esta dimensión se debe señalar que aunque el Estado ecuatoriano no ha formulado instrumento alguno que contemple explícitamente la incorporación del H<sub>2</sub> y del SESH como mecanismos contribuyentes al desarrollo sustentable del país, en el Plan Nacional del Buen Vivir, documento en el cual se plasma la visión de desarrollo del país, se manifiesta la intención de desarrollar las ER [39]. Esta actitud del Estado ecuatoriano, se puede considerar como una ventana de oportunidad para la penetración del H<sub>2</sub> en el sector de la energía del país, ya que la dupla ER e H<sub>2</sub> está presente en el mismo concepto del SESH y el desarrollo de las primeras propiciaría el avance del segundo. Esta intención se manifiesta específicamente en: a. Objetivo 7, Política 7.7., Líneas estratégicas b y c; b. Objetivo 10, Política 10.9, Líneas estratégicas a y c; c. Objetivo 11, Política 11, Líneas estratégicas a, b y t. Este conjunto de objetivos, políticas y lineamientos estratégicos sentarían la base de la formulación de acciones específicas para el avance del H<sub>2</sub> en el país.

Además, en el Plan Maestro de Electrificación, PME, en su objetivo general, específicos y políticas, se plantea el desarrollo de las ER mediante su participación en proyectos de generación; y en los planes de expansión de la distribución, se incluye el Plan de Energización Rural y Electrificación Urbano Marginal, FERUM, para dotar de servicios de energía a sectores de población carentes del mismo, aspirando a beneficiar alrededor de 250.000 viviendas para el año 2022, aumentando la cobertura eléctrica rural al 96 %, mediante la generación tradicional y renovable [8]. La segunda opción constituye un escenario propicio para la participación del H<sub>2</sub> complementado la generación renovable como un mecanismo de almacenamiento de energía, para su uso cuando esta generación sea insuficiente para abastecer la demanda o simplemente no esté disponible el recurso.

En este caso, la amplia mayoría de los encuestados afirmaron no conocer alguna acción del Estado para el desarrollo del H<sub>2</sub> energético en el país, el 95 % para el caso de los planes y el 100 % en el caso de los programas. Esta situación se replica al inquirir sobre la existencia de incentivos fiscales y preferencias aduanales que esti-

mulan la realización de algún proyecto industrial o comercial de la utilización del H<sub>2</sub> como fuente secundaria de energía; así, el 91 % de los participantes en el primer caso, y el 96 % en el segundo, desconocen la existencia de alguna acción en pro de la actividad empresarial y comercial del H<sub>2</sub> en el país, lo cual se traduce en una mínima participación del sector privado en actividades relativas al H<sub>2</sub> energético, tal como se observa en la Figura 11, en la cual el ítem Fabricación tiene que ver con la elaboración de equipos y dispositivos requeridos para la operación del SESH; el ítem Importación corresponde principalmente equipos didácticos e incluso recreativos sobre las ER y el H<sub>2</sub>, mientras que los ítems restantes están relacionados con las asesorías y capacitaciones que se pueden realizar en el área.

### Desde la difusión, divulgación y reconocimiento

Si la difusión se concibe como el resultado de la actividad de una masa crítica y de cierta madurez investigativa sobre el H<sub>2</sub> y sobre sus tecnologías, cabe esperar que la misma no tiene presencia efectiva en el Ecuador. Lo que si puede mencionar son eventos sobre las ER en los cuales el H<sub>2</sub> tiene cabida, como el congreso ISEREE, evento científico internacional sobre Eficiencia Energética y Energías Renovables, organizado por el INER en el año 2013 y en el cual se presentaron dos ponencias sobre el H<sub>2</sub> energético que ya han sido referidas en la discusión sobre la dimensión de Investigación [69], la misma situación se dio en dos eventos realizados en la USFQ, la Segunda Escuela Computacional para las Américas, y el Congreso de Químicos Teóricos de Expresión Latina, QUITEL [70, 71].

En cuanto a la divulgación, no existe alguna actividad editorial dedicada a la divulgación de resultados de investigación sobre el H<sub>2</sub> y el SESH, lo cual es un signo distintivo de América Latina, región en la apenas puede mencionarse una revista especialmente dedicada al H<sub>2</sub> [72]. Finalmente, el reconocimiento a la actividad académica y de investigación, no se conoce alguna iniciativa al respecto. Los resultados de la encuesta sobre esta dimensión se presentan en la Figura 12, en la cual se alude a eventos, revistas y premios, que si bien no son restrictivos al H<sub>2</sub> tampoco lo excluyen.

### Desde las acciones colaborativas y redes

La acción más relevante es el proyecto multidisciplinario sobre la producción de H<sub>2</sub> a partir de los residuos del banano, que conlleva a su vez la creación de un grupo interinstitucional entre la Universidad de Cuenca, el INER y la Universidad de Zaragoza, [56]. En cuanto a las redes colaborativas en I&D y en actividades conexas sobre la energía del H<sub>2</sub>, la referencia está la recién creada Red del Hidrógeno y Celdas de Combustible de Ecuador, conformada por un grupo de investigadores de varias instituciones y organizaciones que llevan adelante investigación básica y aplicada sobre el H<sub>2</sub> y el SESH. Esta plausible iniciativa se encuentra en fase de definición conceptual que conduzca su desempeño y su

organización [73], y ha sido señalada ampliamente en la encuesta, Figura 13, en la cual el Ítem Otro, se refiere a la Red Temática sobre Biomasa del programa Ciencia y Tecnología, CYTED de España.

### Desde las oportunidades

Un resultado importante de este estudio, es la detección de escenarios de oportunidad para la penetración del SESH en el sector de energía del país. Es así como del análisis hecho en los apartados previos, y también desde la percepción de los participantes, Figura 14, han emergido varias situaciones de oportunidad que podrían estimular la penetración progresiva del H<sub>2</sub>. La primera de ellas es la intención y acción del Estado ecuatoriano de transformar la matriz energética, impulsando la participación de las ER, en especial, la hidroenergía, lo cual favorecería la intervención del H<sub>2</sub> como portador de energía.

Los grandes potenciales de ER ofrecen una amplia gama de opciones para la producción de H<sub>2</sub>, con la obtención a partir de biomasa por procesos químicos, y de la hidroenergía por electrólisis, como las más convenientes y competitivas; lo cual es la segunda situación favorable para el desarrollo del H<sub>2</sub> en el país.

En tercer lugar, los nichos de aplicación detectados, el transporte y la energización rural, podrían convertirse en la forma inicial de introducción del SESH en la matriz energética, tal como se ha planteado en varios países de la región. Esta penetración se basa, por una parte, en la obtención del H<sub>2</sub> a costos atractivos a partir de hidroelectricidad barata y su uso en el transporte urbano en celdas de combustible; y por la otra, la participación del H<sub>2</sub> en sistemas híbridos que garanticen un suministro permanente, eficiente y poco contaminante de energía a poblaciones rurales, contribuyendo a mejorar su calidad de vida [6, 20]. Finalmente, la transformación de la matriz productiva, acorde con la visión de desarrollo del estado, es otra situación propicia ya que el H<sub>2</sub> podría participar en este proceso, tanto como fuente energética como insumo químico.

### Desde las barreras

Al escenario propicio sobre el avance del H<sub>2</sub> en el país se le opone el relativo a las barreras a superar para que cualquier intención prospere, y que se han apreciado desde la investigación documental y desde la percepción de los encuestados. Estas barreras pueden agruparse por asociación natural y por importancia, Figura 15; en primer lugar, el grupo referente a la formación y a la actividad investigativa y de innovación que están unidas por una relación de causalidad mutua, ya que la baja formación y la escasa investigación pueden superarse conjuntamente mediante un agresivo plan de fortalecimiento de la oferta formativa soportada en la captación de docentes e investigadores idóneos para que aporten su experticia y conocimientos en la formación actualizada del recurso humano y cumplan el rol de tutores

en programas de postgrado en ER y SESH; pero también para que se constituyan en el núcleo generador de grupos de investigación que soporten y consoliden los programas de cuarto y quinto nivel. Además en las acciones formativas deben incluirse programas de socialización y de alfabetización energética popular que divulguen las ventajas del H<sub>2</sub> como nuevo medio de suministro de energía, propiciando el acercamiento de los ciudadanos a sus tecnologías, ya que de la aceptación social de las mismas dependerá en gran parte su utilización generalizada y eficiente [74, 75].

La continuidad de estas acciones necesitan del apoyo financiero e institucional del Estado, lo cual conlleva al segundo grupo de barreras, la falta de políticas públicas especialmente orientadas al desarrollo del H<sub>2</sub> ocasiona que este vector no tenga el respaldo legal, institucional y de gestión requerido. Corresponde al sector académico y otras instituciones relacionadas con las ER, emprender acciones para que esta situación de precariedad se subsane, sensibilizando al Estado sobre la necesidad de un marco legal que propicie la incorporación del país a la Economía del H<sub>2</sub>, tal como ya sucede en una amplia cantidad de países. A su vez, la formulación de tales políticas contribuirá a que la participación del sector privado crezca, ya que las mismas deben contemplar incentivos fiscales y de estímulo a la actividad privada en el sector energético relativo al H<sub>2</sub>, en especial en el componente de generación, tal como se ha planteado para las ER.

Por último, la barrera referente a los costos no es exclusiva del país, sino de ámbito global, por tanto en su superación participan factores extrínsecos e intrínsecos; sobre los primeros, se espera que los costos disminuyan con la mejora de las tecnologías del H<sub>2</sub> como resultado de procesos de conversión más eficientes, el desarrollo de nuevos materiales para el almacenamiento de H<sub>2</sub>, y en una fase posterior, por las economías de escala debidas a la masificación de dichas tecnologías. Pero también pueden superarse a través de acciones propias del país enfocadas al aprovechamiento de las ventajas competitivas de obtener el H<sub>2</sub> a partir de dos fuentes renovables ampliamente existentes en el país: biomasa e hidroenergía.

En el balance de las oportunidades y barreras, predominan las primeras, lo cual es corroborado por los participantes al inquirirles sobre su visión del desarrollo del H<sub>2</sub> en el Ecuador, en la cual las opciones favorables alcanzan el 70 % de todas, Figura 16.

### Conclusiones

La investigación ha permitido identificar y analizar los factores desencadenantes e inhibidores de la intención de desarrollar el SESH en el Ecuador con el fin de incorporar al país en la Economía del Hidrógeno. Entre los factores favorables se encuentran, el proceso de transformación de la matriz energética del país, los altos potenciales de ER, la detección de nichos de oportunidad

del mercado energético, y eventualmente en la industria química y petroquímica como insumo para sus procesos, lo cual además se inscribiría en la transformación de la matriz productiva del país. A esta visión favorable se le opone una serie de factores desfavorables que ralentizan e incluso podrían impedir la intención de incorporación del H<sub>2</sub>: la escasa oferta formativa, la baja intensidad de la actividad de investigación y de desarrollo tecnológico, la ausencia de políticas públicas, y de un marco legal y regulatorio que vigorice el financiamiento de la investigación y estimule la acción privada en las diferentes etapas del desarrollo de las ER y el SESH. Por último, la baja actividad de promoción y difusión, siendo un resultado esperado de una baja actividad investigativa y mínima masa crítica existente en el país.

Al contrastar ambos efectos, predominan los primeros; sin embargo, sólo con la participación consensuada y el trabajo cooperativo entre las universidades, centros de investigación y desarrollo, y la empresa privada, bajo la visión de desarrollo sustentable del Estado, se daría un escenario propicio para la penetración del H<sub>2</sub> en la matriz energética del país y se avanzaría hacia la inserción del Ecuador en la Economía del Hidrógeno, entendido como mecanismo para el desarrollo humano armónico y respetuoso de la naturaleza.

Finalmente los resultados obtenidos deben entenderse como un estudio básico que proporciona los elementos a considerar en estudios más detallados que utilicen modelos matemáticos predictivos sobre la forma, dinámica e impacto de la inclusión del H<sub>2</sub> en la matriz energética del país, siendo éste el propósito de un siguiente estudio y cuyos resultados se plasmarán en una futura publicación.

### Agradecimientos

Agradecemos de manera especial al Proyecto Prometeo de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación de la República del Ecuador por su patrocinio a este trabajo.

### Referencias

- [1] REN. 2014. "Renewables 2014: Global status report". <http://www.ren21.net/REN21Activities/>.
- [2] Barbir, F. 2009. "Transition to renewable energy systems with hydrogen as an energy carrier". *Energy*, 34:308-312.
- [3] Winter, C. 2009. "Hydrogen energy-Abundant, efficient, clean: A debate over the energy system of change". *International Journal of Hydrogen Energy*, 34:1-52.
- [4] Bockris, J. 2013. "The hydrogen economy: Its history". *Int. J. Hydrogen Energy*, 38:2579-2588.
- [5] Laborde, M.; Lombardo, E.; Bellot, F.; Soares, J.; Fierro, J.; González, M. 2011. "Potencialidades del hidrógeno como vector de energía en América Latina". *Ediciones CYTED: Madrid*.

- [6] Posso, F.; Sánchez, J. 2014. "El desarrollo del sistema energético Solar-Hidrógeno en América Latina: Potencialidades, oportunidades y barreras". *Maskana*, 5:1–19.
- [7] CONELEC. 2013. "Cobertura eléctrica". <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=1102&>.
- [8] MEER. 2013. "Plan Maestro de Electrificación 2013-2022". <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=10329&l=1>.
- [9] Posso, F. 2011. "Modelado y simulación de un sistema energético basado en el hidrógeno". *Editorial Académica Española: Madrid*.
- [10] Tasneem, A.; Abbasi, S. 2011. "Renewable hydrogen: Prospects and challenges". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15:3034–3040.
- [11] Bartels, J.; Pate, M.; Olson, N. 2010. "An economic survey of hydrogen production from conventional and alternative energy sources". *Int. J. Hydrogen Energy*, 35:8371–8384.
- [12] Guerrero, M.; Martínez, J. 2010. "Updated hydrogen production costs and parities for conventional and renewable technologies". *Int. J. Hydrogen Energy*, 35:3929–3936.
- [13] Kothari, R.; Buddhi, D.; Sawhney, R. 2008. "Comparison of environmental and economic aspects of various hydrogen production methods". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32:553–563.
- [14] Veziroglu, T.; Sahin, S. 2008. "21st Century's energy: Hydrogen energy system". *Energy Conversion and Management*, 49:1820–1831.
- [15] Sherry, F.; Devine, H.; Devine, P. 2010. "Public understanding of hydrogen energy: A theoretical approach". *Energy Policy*, 38:5311–5319.
- [16] Fayaz, H.; Saidur, R.; Anuar, F.; Saleman, A.; Islam, M. 2012. "An overview of hydrogen as a vehicle fuel". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16:5511–5528.
- [17] Zhenhong, L.; Dong, J.; Green, D. 2013. "Hydrogen vehicles: Impacts of DOE technical targets on market acceptance and societal benefits". *Int. J. Hydrogen Energy*, 38:7973–7985.
- [18] Garland, N.; Papageorgopoulos, D.; Stanford, J. 2012. "Hydrogen and fuel cell technology: Progress, challenges, and future directions". *Energy Procedia*, 28:2–11.
- [19] Renquist, J.; Dickman, B.; Bradley, T. 2012. "Economic comparison of fuel cell powered forklifts to battery powered forklifts". *Int. J. Hydrogen Energy*, 37:12054–12059.
- [20] Bauen, A.; Hart, D.; Chase, A. 2003. "Fuel cells for distributed generation in developing countries-an analysis". *Int. J. Hydrogen Energy*, 28:695–701.
- [21] McDowall, W. 2012. "Technology roadmaps for transition management: The case of hydrogen energy". *Technological Forecasting & Social Change*, 79:530–542.
- [22] Padilha, J.; da Trindade, L.; de Souza, R.; Miguel, M. 2009. "An evaluation of the potential of the use of wasted hydroelectric capacity to produce hydrogen to be used in fuel cells in order to decrease CO<sub>2</sub> emissions in Brazil". *Int. J. Hydrogen Energy*, 34:7898–7902.
- [23] Rodríguez, C.; Riso, M.; Jiménez, G.; Yob, R.; Ottogalli, R.; Santa Cruz, R.; Aisa, S. 2010. "Analysis of the potential for hydrogen production in the province of Córdoba, Argentina, from wind resources". *Int. J. Hydrogen Energy*, 35:5952–5956.
- [24] Marschoff, C. 1998. "Transition from to renewable energy sources: Fuel cells in Antarctica as an economically attractive niche". *Int. J. Hydrogen Energy*, 23:303–306.
- [25] Sebastian, P.; Martinez, M.; Eapen, D.; Savadogo, O. 1996. "Hydrogen energy and fuel cells: A recent R & D program in Mexico". *Int. J. Hydrogen Energy*, 21: 613–616.
- [26] Ramírez, J.; Estrada, A. 2004. "Roadmap towards a sustainable hydrogen economy in Mexico". *Journal of Power Sources*, 129:255–263.
- [27] Dimakis, A.; Biberacher, M.; Dominguez, J.; Fiorese, G.; Gadocha, S.; Gnansounou, E.; Guariso, G.; Kartalidis, A.; Panichelli, L.; Pinedo, I.; Robba, M. 2011. "Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15:1182–1200.
- [28] CONELEC. 2008. "Atlas Solar del Ecuador". [http://www.conelec.gob.ec/archivos\\_articulo/Atlas.pdf](http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf).
- [29] MEER. 2013. "Atlas Eólico del Ecuador". <http://www.energia.gob.ec/biblioteca/>.
- [30] Barriga, A. 2013. "Energías renovables en el Ecuador". *Ciclo de conferencias: La Matriz Energética del Ecuador. ESPOL. Enlace: <http://www.matrizenergic.espol.edu.ec/>*.
- [31] Sánchez, S. 2003. "Energías renovables. Conceptos y aplicaciones". *WWF-Fundación, Natura, Quito*.
- [32] Narváez, R. 2012. "Potencial de generación de energía a partir de desechos sólidos". <http://redes.iner.gob.ec/biomas/presentations/potencial-de-generacion-de-energia-a-partir-de-desechos-sólidos>.
- [33] Trávez, D. 2011. "Estado del arte y novedades de la bioenergía en el Ecuador". *FAO. <http://www.fao.org/docrep/019/as418s/as418s.pdf>*.
- [34] Sánchez, J. 2013. "Evaluación energética de cáscaras de cacao nacional y CCN-51". *Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Cuenca*.
- [35] Muffler, P.; Cataldi, R. 1978. "Methods for regional assessment of geothermal resources". *Geothermics*, 7: 53–89.
- [36] Parra, C. 2013. "Situación de la geotermia en Latinoamérica y el Caribe". <http://redes.iner.gob.ec/geotermia/files/04-christian-parra-situacion-de-la-geotermia-en-alc-olade.pdf>.

- [37] Lloret, A.; Labus, J. 2014. "Geothermal development in Ecuador: History, current status and future". *INER. United Nations University. Geothermal Training Programme*. <http://los.is/gogn/unu-gtp-sc/UNU-GTP-SC-18-08.pdf>.
- [38] Beate, B.; Salgado, R. 2010. "Geothermal country update for Ecuador, 2005-2010". *Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali, Indonesia*. [http://217.174.128.43/web\\_data/liga\\_db/Ecuador.pdf](http://217.174.128.43/web_data/liga_db/Ecuador.pdf).
- [39] SENPLADES. 2013. "Buen Vivir. Plan Nacional 2013-2017". *Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. República del Ecuador*.
- [40] Orejuela, V. 2013. "Perspectivas de la matriz energética de electricidad en el Ecuador". <http://www.matrizenergec.espol.edu.ec/>.
- [41] Abassi, T.; Abassi, S. 2011. "Small hydro and the environmental implications of its extensive utilization". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15:2134-2143.
- [42] Lahimer, A.; Alghoul, M.; Sopian, K.; N., A.; Fadhel, M. 2012. "Research and development aspects of pico-hydro power". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16:5861-5878.
- [43] Muller, H.; Nitsch, J. 2005. "The contribution of renewable energies to a sustainable energy economy". *Process Safety and Environmental Protection*, 83:285-297.
- [44] CONELEC. 2009. "Proyectos hidroeléctricos". <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=1351&l=1>.
- [45] Da Silva, E.; Marin, A.; Ferreira, P.; Camargo, J.; Apolinario, F.; Pinto, C. 2005. "Analysis of hydrogen production from combined photovoltaics, wind energy and secondary hydroelectricity supply in Brazil". *Solar Energy*, 78:670-677.
- [46] Peláez, M.; Riveros, G.; Torres, S.; Garcia, T.; Albornoz, E. 2014. "Production and use of electrolytic hydrogen in Ecuador towards a low carbon economy". *Energy*, 64:626-631.
- [47] Rodríguez, C.; Riso, M.; Jiménez, G.; Ottogalli, R.; Santa Cruz, R.; Aisa, S.; Jeandrevin, G.; Leiva, E. 2010. "Analysis of the potential for hydrogen production in the province of Córdoba, Argentina, from wind resources". *Int. J. Hydrogen Energy*, 35:5952-5956.
- [48] Patricio, R.; Sales, A.; Sacramento, E.; de Lima, L.; Veziroglu, T. 2012. "Wind hydrogen energy system and the gradual replacement of natural gas in the State of Ceará-Brazil". *Int. J. Hydrogen Energy*, 37:7355-7364.
- [49] Zolezzi, J.; Garay, A.; Reveco, M. 2010. "Large scale hydrogen production from wind energy in the Magallanes area for consumption in the central zone of Chile". *Journal of Power Sources*, 195:8236-8243.
- [50] Levene, J.; Mann, M.; Margolis, R.; Milbrandt, A. 2005. "An Analysis of Hydrogen Production from Renewable Electricity Sources". *Conference Paper NREL/CP-560-37612. ISES 2005. Solar World Congress, Florida*.
- [51] Posso, F.; Zambrano, J. 2014. "Estimation of Electrolytic Hydrogen Production Potential in Venezuela from Renewable Energies". *Int. J. Hydrogen Energy. In press*.
- [52] Barrere, L.; Matas, L.; Roldan, A. 2013. "La investigación y el desarrollo en energías renovables en Iberoamérica. Situación actual y tendencias". *Observatorio Iberoamericano de la Ciencia, Tecnología y Sociedad. Ediciones AECID: Madrid*.
- [53] Al-Rousan, A. 2010. "Reduction of fuel consumption in gasoline engines by introducing HHO gas into intake manifold". *Int. J. Hydrogen Energy*, 35:12930-12935.
- [54] Collings, N. 2012. Comment on the article "Reduction of fuel consumption in gasoline engines by introducing HHO gas into intake manifold by Ammar A. Al-Rousan". *Int. J. Hydrogen Energy*, 37:12039.
- [55] Al-Rousan, A. 2012. Responses regarding the issues raised by Dr. Nick Collings on the manuscript "Reduction of fuel consumption in gasoline engines by introducing HHO gas into intake manifold". *Int. J. Hydrogen Energy*, 37:12040-12042.
- [56] Ruiz, W. 2009. "Generación eléctrica, alternativa de uso doméstico utilizando hidrógeno". *Revista Actualidad Científica y Tecnológica del Ecuador*. <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/1075>, 1:52-55.
- [57] INER. 2014. "Iner firma convenio de cooperación para el desarrollo del proyecto del hidrógeno". <http://www.iner.gob.ec/iner-firma-convenio-de-cooperacion-para-el-desarrollo-del-proyecto-de-hidrogeno/>.
- [58] Arias, J.; Florez, R. 2013. "Generación de hidrógeno por hidrólisis con aluminio metálico para uso en celdas de combustible". *Memorias del ISEERE. Quito. Ecuador*.
- [59] Aguinaga, A. 2009. "Diseño y construcción de un prototipo de planta dispensadora de hidrógeno doméstica, con electrolizador híbrido, solar y eléctrico". *Revista Politécnica*, 30:10-20.
- [60] Bolat, P.; Thiel, C. 2014. "Hydrogen supply chain architecture for bottom-up energy systems models. Part 2: Techno-economic inputs for hydrogen production pathways". *Int. J. Hydrogen Energy*, 39:8898-8925.
- [61] Godoy, G.; Cavaliero, C.; Silva, E. 2013. "Analysis of electrolytic hydrogen production models and distribution modes for public urban transport: study case in Foz do Iguacu, Brazil". *Int. J. Hydrogen Energy*, 37:1142-1150.
- [62] Galeano, M.; Peres, E.; Camargo, J. 2012. "Are HFC buses a feasible alternative for urban transportation in Paraguay?". *Int. J. Hydrogen Energy*, 37:16177-16185.
- [63] Contreras, A.; Posso, F.; Veziroglu, T. 2007. "Modeling and simulation of the production of hydrogen using hydroelectricity in Venezuela". *Int. J. Hydrogen Energy*, 32:1219-1224.
- [64] Yumurtaci, G.; Bilgen, E. 2004. "Hydrogen production from excess power in small hydroelectric installations". *Int. J. Hydrogen Energy*, 29:687-693.



- [65] Verhelst, S.; Wallner, T. 2009. "Hydrogen-fueled internal combustion engines". *Progress in Energy and Combustion Science*, 35:490–527.
- [66] Torres, W. 2008. "Proyecto de Ley del Hidrógeno". <http://www.derechoecuador.com/articulos/>.
- [67] Reijalt, M. 2010. "Hydrogen and fuel cell education in Europe: from when? And where? To here! And now!". *Journal of Cleaner Production*, 18:S112–S117.
- [68] Kimmig, D.; Brenner, T.; Bittner, K.; Schmidt, A. 2014. "Towards a web based Modelling and Simulation Tool for Research, Engineering and Education in the field of Hydrogen and Fuel Cell Technology". *International Conference on Computational Science and Computational Intelligence*.
- [69] INER. 2013. "ISEREE 2013: Primer Congreso Internacional y Expo científica". <http://www.iner.ec/congreso/>.
- [70] PREFALC. 2014. "2da Escuela de Química Computacional de las Américas". <http://www.usfq.edu.ec/eventos/prefalc/>.
- [71] QUITEL. 2014. "XL Congreso de Químicos Teóricos de Expresión Latina". <http://www.usfq.edu.ec/eventos/quitel2014/>.
- [72] Sánchez, J. 2014. "La Universidad de Cuenca presente en la creación de la Red de Hidrógeno y celdas de combustible en el Ecuador". *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, 8:62.
- [73] Hidrógeno. 2013. "Asociación Argentina del Hidrógeno". <http://www.aah2.org.ar/news.htm>.
- [74] Sherry, F.; Devine, H.; Devine, P. 2010. "Wright public understanding of hydrogen energy: A theoretical approach". *Energy Policy*, 38:5311–5319.
- [75] Sovacool, B.; Brossmann, B. 2010. "Symbolic convergence and the hydrogen economy". *Energy Policy*, 38: 1999–2012.