

# **UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA**

## **PROYECTO FINAL DE DIPLOMA**

**Diego Lizana Rojas**

**Diploma de especialización en tecnologías de hidrógeno y pilas de combustible**

**Estado Actual de la Tecnología de Hidrógeno en Países de Sudamérica. Argentina, Brasil, Chile y Colombia**

**TUTOR** : Ismael Aso Aguarta

**Dpto./Área/Empresa:** Fundación para el Desarrollo de las Nuevas Tecnologías del Hidrógeno en Aragón.

**Año Académico: 2007**

**Fecha de entrega: 12/11/2007**

# UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

## PROYECTO FINAL DE DIPLOMA

Diego Lizana Rojas

Diploma de especialización en tecnologías de hidrógeno y pilas de combustible

### Estado Actual de la Tecnología de Hidrógeno en Países de Sudamérica. Argentina, Brasil, Chile y Colombia

**TUTOR** : Ismael Aso Aguarta  
**Dpto./Área/Empresa:** Fundación para el Desarrollo de las Nuevas Tecnologías del Hidrógeno en Aragón.

**Año Académico:** 2007

**Fecha de entrega:** 12/11/2007

#### DECLARACIÓN del AUTOR

El abajo firmante declara que el contenido del resumen del presente proyecto final de diploma NO tiene carácter confidencial y autoriza su divulgación en cualquier medio y soporte. Así mismo autoriza explícitamente la futura divulgación en cualquier soporte del resumen del proyecto descrito en esta ficha una vez finalizado y entregado.

El abajo firmante declara que el contenido completo del proyecto final de diploma:

- SÍ** tiene carácter confidencial -  **NO** tiene carácter confidencial  
 **SÍ** autoriza su consulta a uso docente -  **NO** autoriza su consulta a uso docente  
 **SÍ**, autoriza su divulgación a través de cualquier medio o soporte  **NO** autoriza su divulgación

En Zaragoza a 12 de noviembre de 2007

Fdo. ....

*Nombre y Apellidos*



## Estado Actual de la Tecnología de Hidrógeno en Países de Sudamérica. Argentina, Brasil, Chile y Colombia

Lizana Rojas, Diego R.

**Abstract:** El presente proyecto busca generar una visión general del estado actual de la Tecnología de Hidrógeno y Pilas de Combustible en Sudamérica. Para ellos se realizó una búsqueda avanzada de información a través de Internet de los centros de investigación, universidades, institutos y empresas privadas estén trabajando en el desarrollo e investigación de hidrógeno como vector energético.

Los países analizados fueron Argentina, Brasil, Chile y Colombia. De ellos, el que presenta el panorama más auspicioso es Brasil, seguido por Argentina. El resto, sólo presentan investigaciones aisladas.

**Palabras clave:** Hidrógeno en Sudamérica, Pila de combustible, tecnología de hidrógeno, energía renovable, vector energético.

### 1. INTRODUCCIÓN

El hidrógeno es el elemento más ligero, más básico y más ubicuo del universo. Cuando se utiliza como fuente de energía, se convierte en el combustible eterno. Nunca se termina y, como no contiene un solo átomo de carbono, no emite dióxido de carbono.

Cuando se quema, sólo emite agua y calor. El hidrógeno se encuentra repartido por todo el planeta: en el agua, en los combustibles fósiles y en los seres vivos. Sin embargo, raramente aparece en estado libre en la naturaleza, sino que tiene que ser extraído de fuentes naturales. Puede ser almacenado en una célula o pila de combustible. Sus aplicaciones comerciales parecen infinitas: coches y autobuses no contaminantes, sistemas energéticos de alta eficiencia e, incluso, teléfonos móviles con una pila de combustible en las baterías que se recargarán inyectando alcohol.

Entre las ventajas de utilizar el hidrógeno podemos destacar:

- **No produce contaminación ni consume recursos naturales:** El hidrógeno se toma del agua y luego se oxida y se devuelve al agua. No hay productos secundarios ni tóxicos de ningún tipo que puedan producirse en este proceso.
- **Seguridad:** Los sistemas de hidrógeno tienen una historia de seguridad muy impresionante. En muchos casos, el hidrógeno es más seguro que el combustible que está siendo reemplazado. Además de disiparse rápidamente en la atmósfera si se fuga, el hidrógeno, en contraste con los otros combustibles, no es tóxico en absoluto.
- **Alta eficiencia:** Las celdas de combustible convierten la energía química directamente a electricidad con mayor eficiencia que ningún otro sistema de energía.
- **Funcionamiento silencioso:** En funcionamiento normal, la celda de combustible es casi absolutamente silenciosa.
- **Larga vida y poco mantenimiento:** Aunque no se ha comprobado aún la extensión de la vida útil de las celdas de combustible, probablemente tendrán una vida significativamente más larga que las máquinas que vengán a reemplazar.
- **Modularidad:** Se puede elaborar las celdas de combustible en cualquier tamaño, tan pequeñas como para impulsar una carretilla de golf o tan grandes como para generar energía para una comunidad entera. Esta modularidad permite aumentar la energía de los sistemas según los crecimientos de la

demanda energética, reduciendo drásticamente los costos iniciales.

Respecto al avance en investigación y desarrollo, los países desarrollados invierten sumas estratosféricas de dinero en comparación a los que se encuentran en vía de desarrollo, lo que ha conducido a que el nivel y número de iniciativas sea muy importante en países como EE.UU., Japón e Islandia; por el contrario, países sudamericanos como Argentina, Brasil, Chile y Colombia realizan grandes esfuerzos por activar un área de investigación que podría llevarlos en el futuro a una independencia energética.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo central de este trabajo es “Generar una imagen actual de la tecnología de hidrógeno en los países sudamericanos, analizando los centros de estudios, investigación y programas específicos sobre el tema”. Para lograr este objetivo se realizará un breve análisis del avance del los países sudamericanos en temas relacionados con el hidrogeno tomando como base los siguientes países: Argentina, Brasil, Chile y Colombia.

## 3. METODOLOGÍA

Para la búsqueda de información se recurrió principalmente al buscador de contenidos de Internet Google, el cual permitió generar una red de información relacionada que a su vez llevó a establecer contactos con profesionales que actualmente trabajan en el sector en cuestión, permitiendo recopilar valiosa información de centros de investigación, programas, iniciativas públicas y privadas.

En segundo orden, la colaboración de profesionales activamente en investigación y desarrollo de tecnologías de hidrógeno permitió establecer contacto con otros investigadores, los cuales además de mostrar interés por el trabajo que se estaba efectuando, aportaron información que permitió en muchos casos ratificar la información encontrada a través de la búsqueda por Internet.

## 4. RESULTADOS OBTENIDOS

### 4.1 Iniciativas que involucran a Sudamérica

Dentro de las iniciativas que involucran a Sudamérica, se encuentra la red de investigación denominada “Red Iberoamericana de Pilas de Combustible e Hidrógeno”, coordinada por el CSIC y que fue creada en el año 2005.

Sitio web:

<http://www.redpilas.csic.es/principal.html>

Esta red esta compuesta por los siguientes países:

#### Argentina

**Horacio Corti** [hrcorti@cnea.gov.ar](mailto:hrcorti@cnea.gov.ar)

Comisión Nacional de Energía Atómica. Buenos Aires, Argentina

#### Brasil

**José Luz Silveira**  
[josluz@fundunesp.unesp.br](mailto:josluz@fundunesp.unesp.br)

Universidad Estatal Paulista. Sao Paulo.

#### Chile

**Francisco Gracia** [fgracia@ing.uchile.cl](mailto:fgracia@ing.uchile.cl)

Universidad de Chile. Departamento de Ingeniería Química. Santiago.

#### Colombia

**Rubén Vargas**  
[rvargas@calima.univalle.edu.co](mailto:rvargas@calima.univalle.edu.co)

Universidad del Valle. Departamento de Física. Cali.

#### Venezuela

**Arnaldo Millán** [asiami@cantv.net](mailto:asiami@cantv.net)

IUTRC. Dr. Federico Rivero Palacio. Los Teques -Eduardo Miranda. Venezuela

### 4.2 ARGENTINA

Actualmente corresponde a uno de los dos países sudamericano (junto con Brasil) donde se están desarrollando el mayor número de iniciativas público-privadas sobre pilas de combustible e hidrógeno. Existiendo asociaciones y grupos de investigación específicos sobre el tema.

Dentro de los centros de investigación existentes destaca la **Asociación Argentina del Hidrógeno (AAH)**, la cual lleva trabajando 11 años en el tema y cuyo objetivo principal es poder desarrollar la industria del hidrógeno vinculando a los diferentes actores involucrados, promoviendo su uso y apoyando iniciativas tendientes a aumentar los conocimientos actuales.

Dentro de sus grandes logros destaca el proyecto denominado "Planta experimental de Hidrógeno Pino Truncado", ubicada en la provincia de Santa Cruz, en la Patagonia Argentina. Este proyecto se inició en el año 2002, por iniciativa de la comunidad de Pino Truncado que eligió la búsqueda de las energías renovables para lograr una energía limpia y abundante. Luego de diversos convenios y búsqueda de financiación, el Municipio de Pino Truncado firmó el acuerdo con la Asociación Argentina del Hidrógeno, hecho que se concretó con su puesta en marcha de la planta en diciembre de 2005.

**Forma de contacto con la Asociación Argentina del Hidrógeno:**  
<http://www.aah2.org.ar>  
[info@aah2.org.ar](mailto:info@aah2.org.ar)

**Forma de contacto con el proyecto Pino Truncado:**  
<http://www.h2truncado.com.ar>  
[info@h2truncado.com.ar](mailto:info@h2truncado.com.ar)

Otro instituto involucrado en área es el **Instituto de Energía y desarrollo Sustentable (IEDS)**, pertenece a la Comisión Nacional de Energía Atómica y cuyo objetivo es articular las capacidades técnicas de la CNEA al efecto de impulsar y promover estudios, investigaciones, servicios y desarrollos tecnológicos en el área de la energía y el desarrollo sustentable.

Sus áreas centrales son la tecnología de celdas de combustible; la producción, el almacenamiento, el transporte y la distribución de hidrógeno; el estudio de materiales y motores para implementar el uso del hidrógeno y el uso de fuentes primarias de energía, tanto para la producción regional descentralizada como para la producción masiva centralizada.

**Forma de contacto con el Instituto de Energía y desarrollo Sustentable:**

Dr. Daniel M. Pasquevich  
[dir-ieds@cnea.gov.ar](mailto:dir-ieds@cnea.gov.ar)

## 4.2 BRASIL

Corresponde al país más avanzado de Sudamérica en lo que a desarrollo e investigación sobre hidrógeno y pilas de combustible concierne. Posee un programa de gobierno bien definido que busca el desarrollo de esta tecnología para su inclusión en la matriz energética. Además, existen empresas privadas que se dedican a la investigación y posterior comercialización de productos relacionados con el hidrógeno y las pilas de combustible.

Dentro de sus programas gubernamentales destaca el programa de Ciencia, Tecnología e Innovación para una economía de Hidrógeno (ProH2) (anteriormente llamado Programa Brasileño de Hidrógeno y Sistemas de Celdas de Combustible (Procac)). Entre los desafíos de este programa se encuentran (Lima, 2002; De Nora, 2005; Coral, 2006):

- Desarrollo de celdas de combustible;
- Estaciones de producción;
- Almacenamiento y distribución;
- Capacitación de recursos humanos;
- Regulación y coordinación entre todos los entes participantes de la cadena de producción, distribución y venta.

Dentro de los avances obtenidos, sus mayores adelantos se encuentran en las temáticas siguientes:

- Producción de hidrógeno;
- Celdas de combustible PEM ;
- Celdas de Oxido Sólido ;
- Sistemas de integración; y
- Aplicaciones de hidrógeno y pilas de combustible.

En relación a esto, existen redes de trabajos especializadas a nivel nacional:

- a) **Red SOFC. Entre sus participantes se encuentran:**

**UFMG.** Universidade Federal de Minas Gerais. Laboratorio de materiales y pilas de combustible.

<http://zeus.qui.ufmg.br/~lampac/>

**IPEN.** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Programa de células a combustible.

Forma de contacto:

[www.ipen.br](http://www.ipen.br)

Almir Oliveira Neto. [aolivei@ipen.br](mailto:aolivei@ipen.br)

**b) Red PEMFC. Compuesta por:**

**UFBA.** Universidad Federal de Bahía. Grupo de Energía y Ciencia de Materiales.

Forma de contacto:

Nadia Mamede José: [nadia@ufba.br](mailto:nadia@ufba.br)

Jaime Soares Boaventura Filho:  
[bventura@ufba.br](mailto:bventura@ufba.br)

**UNESP.** Universidade Estadual Paulista. Departamento de energía.

<http://www.feg.unesp.br/gose/index.html>

Dr. José Luz Silveira. [joseluz@feg.unesp.br](mailto:joseluz@feg.unesp.br)

**c) Red de producción de hidrógeno. Compuesta por:**

**COPPE/UF RJ.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Laboratorio de Hidrógeno.

<http://www.labh2.coppe.ufrj.br>

[labh2@labh2.coppe.ufrj.br](mailto:labh2@labh2.coppe.ufrj.br)

**UFSC.** Universidade Federal de Santa Catarina.

<http://www.labplan.ufsc.br/>

[suporte@labplan.ufsc.br](mailto:suporte@labplan.ufsc.br)

**d) Red Sistemas de integración. Compuesta por:**

**UFRN.** Universidad Federal do Río Grande de Norte. Laboratorio de análisis térmico de materiales.

Walquíria Joseane da Silva:  
[wjoseane@yahoo.com.br](mailto:wjoseane@yahoo.com.br)

**UNESP.** Universidade Estadual Paulista. Departamento de energía.

Forma de contacto menciona anteriormente.

**e) Red de aplicaciones. Compuesta por:**

**CENPES.** Centro de Investigación y Desarrollo Leopoldo Américo Miguez de Mello. Centro perteneciente a Petrobrás.

[http://www2.petrobras.com.br/espanhol/ads/ads\\_Tecnologia.html](http://www2.petrobras.com.br/espanhol/ads/ads_Tecnologia.html)

**LACTEC.** Instituto de Tecnología para o Desenvolvimento.

<http://www.lactec.org.br>

Dentro de las iniciativas privadas se encuentra la de un grupo de empresarios que, en conjunto con investigadores, ingenieros y técnicos de alto nivel desarrollan sistemas asociados a pilas de combustible y accesorios anexos a este tipo de sistemas.

Lo importante de esta iniciativa es que comercializan productos desarrollados por ellos, destacando generadores de 5 y 50 kW y accesorios para el montaje de equipos entre otros.

Forma de contacto:

[www.electrocell.com.br](http://www.electrocell.com.br)

[sac@electrocell.com.br](mailto:sac@electrocell.com.br)

## 4.3 CHILE

En comparación a los países antes vistos, Chile está en un estado inicial. Las investigaciones que se están desarrollando tienen carácter experimental y muchas de ellas son parte de proyectos de fin de carrera de alumnos pertenecientes al área química e ingeniería.

Aún no existe la formación de asociaciones nacionales o centros exclusivos destinados al desarrollo del hidrógeno como combustible.

Además, aún no hay un pronunciamiento concreto por parte del gobierno sobre un plan de investigación de hidrógeno como vector energético. El Proyecto de Ley sobre Energías Renovables no Convencionales que se encuentra en etapa de discusión no contempla en ninguno de sus puntos al hidrógeno como fuente de energía (CNE, 2007).

Las principales investigaciones las lleva a cabo la Universidad de Chile, la cual se encuentra en estos momentos desarrollando el proyecto de investigación “Estudio de un Sistema Catalítico para la Producción de Hidrógeno a partir de Alcoholes Primarios”, cuyo investigador principal es el Dr. Francisco Javier Gracia Carola, miembro de la Red Iberoamericana de Pilas de Combustible e Hidrógeno. Actualmente no se conocen resultados públicos.

Dentro de iniciativas privadas, se encuentra el Programa eco hidrógeno en Chile 1999 – 2012, desarrollado por la empresa Sistemas Automáticos S.A. Dentro de sus objetivos se encuentra el desarrollo de una planta generadora eléctrica a base de hidrógeno como combustible primario. El proyecto integra energía eólica y solar para la producción de hidrógeno.

[www.energiasrenovables.cl](http://www.energiasrenovables.cl)

Sr. Pedro Gaete.

[pedro.gaete@energiasrenovables.cl](mailto:pedro.gaete@energiasrenovables.cl)

#### 4.3 COLOMBIA

Al igual que Chile, sus investigaciones se encuentran en un estado incipiente, centrándose principalmente en el desarrollo de materiales para la fabricación de pilas de combustible.

Las áreas de interés en que se trabaja en Colombia son: Investigación y Desarrollo de pilas de combustible; Producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno; Desarrollo de materiales; Materias primas energéticas para celdas de combustible y producción de hidrógeno; Seguridad; Ingeniería eléctrica y electrónica asociada a pilas de combustible; Interconexión de pequeñas fuentes de energía a las redes de distribución; Calidad de la energía; Operación y mantenimiento; Diseños; Catálisis y purificación; Aplicaciones de pilas de combustible; Las pilas de combustible como fuentes de generación distribuida; Cogeneración; Impacto ambiental.

Dentro de los avances organizativos a nivel nacional destaca al creación de la “Red Colombiana de Celdas de Combustible e Hidrógeno”, la cual permite coordinar a los científicos que trabajan en el sector y permitir conocer sus avances en la materia. Actualmente trabajan en: Desarrollo de membranas poliméricas; Desarrollo de electrodos;

Materiales para fabricación de electrodos y platos bipolares; Producción y Almacenamiento de hidrógeno.

El coordinador de esta red es el Doctor Rubén A. Vargas ([rvargas@univalle.edu.co](mailto:rvargas@univalle.edu.co)), investigador de la Universidad del Valle.

Dentro de los centros más avanzados en la materia destacan la Universidad del Valle y la Universidad Nacional sede Medellín, los cuales basan sus esfuerzos en celdas de alcoholes.

Por otro lado, el Laboratorio de Energía Alternativa de la Universidad de Antioquia ha desarrollado un generador de hidrógeno por electrólisis del agua. Este generador está compuesto de 6 celdas electrolíticas fabricadas en forma modular con el fin de facilitar el montaje y desmontaje en la investigación de nuevos materiales para diafragmas, electrodos y cantidad de celdas para determinar la eficiencia del sistema.

Forma de contactar con el laboratorio de Energías Alternativas de la Universidad de Antioquia:

[ealternativas.ingenieria@udea.edu.co](mailto:ealternativas.ingenieria@udea.edu.co)

## 5. CONCLUSIONES

A nivel de organización, los países analizados en este trabajo forman parte de la Red Iberoamericana de Pilas de Combustible e Hidrógeno, la cual es liderada desde España por el CSIC.

Dentro de los países sudamericanos, Brasil lleva la delantera en proyectos de investigación privados y públicos de gran envergadura y redes de investigación sobre Pilas SOFC, PMFC, Producción de hidrógeno, Sistemas de Integración y Aplicaciones. Después de Brasil, los adelantos más significativos se encuentran en Argentina cuyo proyecto emblemático es el de Pino Truncado, al sur del país. Además, Argentina cuenta con la Asociación Argentina del Hidrógeno, la cual lleva 11 años trabajando en temas relacionados con el hidrógeno como vector energético.

En el caso de Colombia y Chile, ambos países se encuentran en un estado muy inicial respecto a la investigación de hidrógeno y pila de combustible, siendo las universidades las que principalmente desarrollan proyectos de investigación aislados.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer la colaboración y apoyo brindado por mi tutor Ismael Aso Aguarta. También quisiera agradecer a todos los investigadores que contacté y accedieron a facilitar información.

A mi esposa Paula por su apoyo y paciencia durante nuestra estadía en España.

Además quisiera invitar a todos aquellos que creen en que las ERNC pueden ayudar a mejorar este planeta a que participen del proyecto [www.ecodesarrollo.cl](http://www.ecodesarrollo.cl) el cual busca difundir las fuentes de energías renovables en Chile y el mundo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

AAH, Asociación Argentina del Hidrógeno, “El proyecto de celdas de combustible de ENARSA en Argentina”, Revista Hidrógeno. Boletín Oficial de la Asociación Argentina del Hidrógeno, Julio, 2006, pp. 14

BCN, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. 2007. [En línea] <<http://www.bcn.cl>> [Consulta: 20 de septiembre, 2007].

DE NORA, J. Brazilian research, development and demonstration activities. 5th steering committee meeting. 2005. Deputy Minister for Oil, Natural Gas and Renewable Fuels. 17 p.

CORAL, F. Os Avanços do Brasil na P&D de Células a Combustível de Óxido Sólido. 2006. IPEN. 60 p.

LIMA, S. Células a Combustível – História e Perspectivas. 2002. Núcleo de Energias Alternativas – NEA. Universidade Federal do Maranhão – UFMA. Presentación seminario NEA. 73 p.

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES GENERALES .....	1
2. OBJETIVOS .....	4
2.1 Objetivo general .....	4
2.2 Objetivos específicos .....	4
3. METODOLOGÍA .....	5
4. DESCRIPCIÓN GENERAL.....	6
4.1 Listado de palabras claves utilizadas en el proceso de búsqueda .....	6
5. RESULTADOS OBTENIDOS .....	7
5.1 Iniciativas asociativas que involucran a Sudamérica.....	7
5.1.1 Asociaciones o grupos de trabajo .....	7
5.1.1.1 Red Iberoamericana de Pilas de Combustible e Hidrógeno.....	7
5.1.2 Eventos y congresos.....	8
5.2 ARGENTINA .....	10
5.2.1 Centros de investigación.....	10
5.2.2 Proyectos y otras iniciativas .....	13
5.2.2 Leyes.....	13
5.3 BRASIL .....	14
5.3.1 Programas gubernamentales .....	14
5.3.2 Iniciativas privadas .....	22
5.4 CHILE .....	23
5.4.1 Centros de investigación.....	23
5.4.1.1 Universidad de Chile .....	23
5.4.2 Proyectos y otras iniciativas .....	24
5.5 COLOMBIA.....	26
5.5.1 Institutos u organizaciones.....	27
5.5.1.1 Red Colombiana de Celdas de Combustible e Hidrógeno.....	27
6. CONCLUSIONES .....	30
7. BIBLIOGRAFÍA .....	31

## 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES GENERALES

El hidrógeno fue descubierto por el científico británico Henry Cavendish quién, en 1776, informó de un experimento en el que había obtenido agua a partir de la combinación de oxígeno e hidrógeno, con la ayuda de una chispa eléctrica. Como estos elementos, no eran conocidos los denominó “aire sustentador de la vida” y “aire inflamable” respectivamente. El químico francés Antoine Laurent Lavoisier consiguió repetir con éxito el experimento en 1785 y dio el nombre de oxígeno al “aire sustentador de la vida” y el de hidrógeno al “aire inflamable”.

El hidrógeno es el elemento más ligero, más básico y más ubicuo del universo. Cuando se utiliza como fuente de energía, se convierte en el combustible eterno. Nunca se termina y, al no contener ningún átomo de carbono, no emite dióxido de carbono.

Cuando se quema, sólo emite agua y calor. El hidrógeno se encuentra repartido por todo el planeta: en el agua, en los combustibles fósiles y en los seres vivos. Sin embargo, raramente aparece en estado libre en la naturaleza, sino que tiene que ser extraído de fuentes naturales. Puede ser almacenado en una célula o pila de combustible. Sus aplicaciones comerciales parecen infinitas: coches y autobuses no contaminantes, sistemas energéticos de alta eficiencia e, incluso, teléfonos móviles con una pila de combustible en las baterías que se recargarán inyectando alcohol.

La Unión Europea, Estados Unidos y Japón destinan partidas millonarias a investigar y poner en marcha nuevos complejos destinados a su producción, almacenamiento y distribución, en especial a la fabricación de pilas de combustible (de H<sub>2</sub>) que, a diferencia de las baterías tradicionales, no se gastan; es decir: no dejan de producir energía eléctrica mientras estén alimentadas de hidrógeno y servirán para dar energía a los medios de transporte y calor a los hogares, además de teléfonos móviles y otras múltiples aplicaciones.

Paralelamente, más de 10 ciudades europeas, entre las que figuran Madrid y Barcelona, ensayan con éxito prototipos de buses movidos por hidrógeno, que funcionan con baterías para obtener energía eléctrica combinando el hidrógeno almacenado en tanques en el carro con el oxígeno del medio ambiente. La pila de combustible alimenta el motor eléctrico y el único residuo que se genera es vapor de agua, es decir cero contaminación, reduciendo en forma dramática las emisiones de gases causantes del efecto invernadero y mejorando sensiblemente la calidad del aire de esas ciudades.

Islandia asimismo, es pionera en el transporte público movido con hidrógeno y planea convertirse en la primera economía del mundo sustentada en este elemento.

En Estados Unidos, algunos de sus Estados adelantan iniciativas, por ejemplo en California, ya se han construido 16 estaciones especializadas y su meta es crear una 'red de autopistas de hidrógeno' en ese Estado para el 2010.

Con el Hidrógeno puede surgir una nueva red energética, en la que el usuario final sea también productor, en lo que se llama generación distribuida. Por todas estas cualidades, el hidrógeno y su tecnología están convirtiéndose en la gran apuesta del futuro.

Entre las ventajas de utilizar el hidrógeno podemos destacar:

- **No produce contaminación ni consume recursos naturales:** El hidrógeno se toma del agua y luego se oxida y se devuelve al agua. No hay productos secundarios ni tóxicos de ningún tipo que puedan producirse en este proceso.
- **Seguridad:** Los sistemas de hidrógeno tienen una historia de seguridad muy impresionante. En muchos casos, el hidrógeno es más seguro que el combustible que está siendo reemplazado. Además de disiparse rápidamente en la atmósfera si se fuga, el hidrógeno, en contraste con los otros combustibles, no es tóxico en absoluto.
- **Alta eficiencia:** Las celdas de combustible convierten la energía química directamente a electricidad con mayor eficiencia que ningún otro sistema de energía.
- **Funcionamiento silencioso:** En funcionamiento normal, la celda de combustible es casi absolutamente silenciosa.
- **Larga vida y poco mantenimiento:** Aunque no se ha comprobado aún la extensión de la vida útil de las celdas de combustible, probablemente tendrán una vida significativamente más larga que las máquinas que vengán a reemplazar.
- **Modularidad:** Se puede elaborar las celdas de combustible en cualquier tamaño, tan pequeñas como para impulsar una carretilla de golf o tan grandes como para generar energía para una comunidad entera. Esta modularidad permite aumentar la energía de los sistemas según los crecimientos de la demanda energética, reduciendo drásticamente los costos iniciales.

Sin embargo, no sólo los países desarrollados se encuentran interesados en este tipo de tecnología, países sudamericanos como Argentina, Brasil, Chile y Colombia entre otros, ven a este vector energético como la energía del futuro. Esto los ha llevado a iniciar investigaciones que tienen como fin incorporar este tipo de energía a su matriz energética. Si bien el nivel de inversión no se corresponde con los realizados en los países desarrollados, se han logrado avances interesantes tanto a nivel organizativo como de investigación, que vislumbran un futuro prominente de este tipo de tecnología en la región.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Generar una imagen actual de la tecnología de hidrógeno en los países sudamericanos, analizando los centros de estudios, investigación y programas específicos sobre el tema.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Realizar un breve análisis del avance de los países sudamericanos en temas relacionados con el hidrógeno.
- Generar información que permita conocer los centros de investigación, programas e iniciativas relacionadas con el hidrógeno y las pilas de combustible que se están llevando a cabo en Argentina, Brasil, Chile y Colombia.

### 3. METODOLOGÍA

La metodología empleada se basa en una búsqueda exhaustiva a través de Internet de diversos temas relacionados con el hidrógeno como vector energético, para ello se desarrolló un listado de palabras claves que permitieron facilitar la operación.

El sitio Web que sirvió como base para la búsqueda de información fue [www.google.com](http://www.google.com), ingresando posteriormente a los sitios personalizados que tiene google según el país, por ejemplo: [www.google.cl](http://www.google.cl), el cual corresponde a Chile, pudiéndose realizar búsquedas más específicas.

Dentro del buscador se utilizó la opción de búsqueda avanzada, con la finalidad de aumentar la calidad y cantidad de la información.

De igual modo se utilizaron otros buscadores tradicionales tales como, [www.altavista.com](http://www.altavista.com) y [www.yahoo.com](http://www.yahoo.com).

Además de la búsqueda por palabras claves, se generó una red de búsqueda según proyectos o iniciativas encontradas o mencionadas en diversos sitios web, lo que permitió conocer más a fondo alguno de los proyectos que se están desarrollando.

A medida que se fue generando información sobre entidades o profesionales que estuviesen ligados con el área en cuestión se prosiguió a ponerse en contacto directo a través de correo electrónico, donde en la mayoría de las veces se obtuvo respuesta y por consiguiente información valiosa para la culminación de este trabajo. Además, esto permitió generar una red de contactos que agilizó la búsqueda de información. Lamentablemente, al término de este trabajo aún no se ha recibido toda la información que ha sido solicitada.

## **4. DESCRIPCIÓN GENERAL**

Para facilitar la búsqueda y posterior análisis de los datos encontrados se seleccionaron cuatro países de Sudamérica donde actualmente se están desarrollando iniciativas relacionadas con el hidrógeno como vector energético. Los países seleccionados son los siguientes:

1. Argentina
2. Brasil
3. Chile
4. Colombia

### **4.1 Listado de palabras claves utilizadas en el proceso de búsqueda**

A continuación se presenta un listado de palabras claves que fueron utilizadas en el proceso de búsqueda, siendo utilizadas en forma individual o conjunta:

1. Hidrógeno;
2. Tecnología de hidrógeno;
3. Pila de combustible;
4. Celda de combustible;
5. Energía renovable;
6. Vector energético;
7. Combustible del futuro;
8. Combustible renovable;
9. PEMFC. Pila de combustible de membrana polimérica;
10. MCFC. Pila de combustible de carbonatos fundidos;
11. PAFC. Pila de combustible de ácido fosfórico;
12. SOFC. Pila de combustible de óxido sólido.

## 5. RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos se expondrán según país, describiéndose los centros de investigación y desarrollo de tecnología como también los proyectos que están llevando a cabo.

### 5.1 Iniciativas asociativas que involucran a Sudamérica

#### 5.1.1 Asociaciones o grupos de trabajo

##### 5.1.1.1 Red Iberoamericana de Pilas de Combustible e Hidrógeno

A nivel macro existe una Red Iberoamericana de Pilas de Combustible e Hidrógeno, coordinadas por el CSIC donde participan países de Sudamérica, entre ellos los seleccionados en este trabajo. Esta red fue creada en septiembre de 2005 con motivo de las Primeras Jornadas Iberoamericanas de Pilas de Combustible e Hidrógeno realizadas en Ubatuba, Brasil.

Web de contacto: <http://www.redpilas.csic.es/principal.html>

Los contactos de la Red en los países sudamericanos son:

#### **Argentina**

**Horacio Corti** [hrcorti@cnea.gov.ar](mailto:hrcorti@cnea.gov.ar)

Comisión Nacional de Energía Atómica - Departamento de Química

Buenos Aires, Argentina

Tel.: 00 54 11 6772 7174

#### **Brasil**

**José Luz Silveira** [joseluz@fundunesp.unesp.br](mailto:joseluz@fundunesp.unesp.br)

Director Ejecutivo de la FUNDUNESP -Fundación para el Desarrollo de la UNESP (Universidad Estatal Paulista) .Sao Paulo.

Tel.: 55 11 3333 7188

Fax: 55 11 223 3663

## **Chile**

**Francisco Gracia [fgracia@ing.uchile.cl](mailto:fgracia@ing.uchile.cl)**

Universidad de Chile - Departamento de Ingeniería Química. Santiago.

Tel.: (56-2) 678 4278

Fax.: (56-2) 699 1084

## **Colombia**

**Rubén Vargas [rvargas@calima.univalle.edu.co](mailto:rvargas@calima.univalle.edu.co)**

Universidad del Valle - Departamento de Física. Cali.

Tel.: 57-2 339 4610

Fax: 57-2-339 3237

## **Venezuela**

**Arnaldo Millán [asiami@cantv.net](mailto:asiami@cantv.net)**

IUTRC. Dr. Federico Rivero Palacio. Departamento de Materiales - Mención Cerámica.

Los Teques -Eduardo Miranda. Venezuela

### **5.1.2 Eventos y congresos**

Dentro de las iniciativas que se están desarrollando en Sudamérica, destaca las II Jornadas Iberoamericanas de Pilas de Combustible e Hidrógeno, que se llevaron a cabo en Buenos Aires, Argentina durante julio del año 2006, las cuales fueron organizadas por la Red Iberoamericana de Pilas de Combustible e Hidrógeno.

Estas Jornadas tuvieron por objetivo aumentar la interacción entre los investigadores que trabajan en pilas de combustible y en la producción de hidrógeno, con los sectores de la producción que aspiran a utilizar estas tecnologías en América Latina y en los Países Ibéricos. Además de divulgar las investigaciones realizadas en cada grupo de investigación de los distintos países representados en la Red Iberoamericana, estas Jornadas se orientaron a intercambiar experiencias, discutir asuntos técnicos y científicos con el fin de promover las pilas de combustible como dispositivos para la generación limpia y sustentable de energía en el mercado de la región.

Durante septiembre del presente año la Red Iberoamericana de Pilas de Combustible e Hidrógeno llevó a cabo las III Jornadas de Pilas de Combustible e Hidrógeno, en la Ciudad de Chihuahua, México. En esta oportunidad su temática principal fue:

- Producción de hidrógeno
- Almacenamiento de hidrógeno
- Integración hidrógeno - pilas de combustible
- Pilas de combustible
- Normatividad, seguridad y medio ambiente

Lamentablemente en el sitio web de la organización no profundizan los trabajos que se encuentran realizando ni exponen información sobre los resultados de los eventos realizados ni publicaciones sobre el tema.

Si bien se contactó con los integrantes de la red de investigación, no fue posible recopilar mayor información sobre estas Jornadas.

## 5.2 ARGENTINA

Actualmente corresponde a uno de los dos países sudamericano (junto con Brasil) donde se están desarrollando el mayor número de iniciativas público-privadas sobre pilas de combustible e hidrógeno, existiendo asociaciones y grupos de investigación específicos sobre el tema.

### 5.2.1 Centros de investigación

a) **Asociación Argentina del Hidrógeno (AAH):** Esta asociación lleva trabajando 11 años en el tema, dentro de sus objetivos principales destacan:

- Promover la vinculación y la coordinación entre sectores del gobierno, industrias, instituciones de investigación y desarrollo y universidades, para el establecimiento a nivel nacional de la industria del hidrógeno y su crecimiento ulterior.
- Difundir el concepto de la “**Tecnología del Hidrógeno**” a todos los niveles de enseñanza y al público en general.
- Posibilitar el desarrollo de tecnologías propias a un costo relativamente moderado.
- Proveer las condiciones para la posible exportación de un producto elaborado con un alto valor agregado.
- Sentar las bases para el establecimiento de la complementariedad de las “Energías Renovables”, para sus usos en forma combinada.
- Promover estudios para la conformación o integración de cadenas energéticas “mixtas”, donde el hidrógeno tenga intervención.

El proyecto estrella que lleva a cabo esta organización se denomina “Planta experimental de Hidrógeno Pino Truncado”, ubicada en la provincia de Santa Cruz, en la Patagonia Argentina. Este proyecto se inició en el año 2002, por iniciativa de la comunidad de Pino Truncado que eligió la búsqueda de las energías renovables para lograr una energía limpia y abundante. Luego de diversos convenios y búsqueda de financiación, el Municipio de Pino

Truncado firmó el acuerdo con la Asociación Argentina del Hidrógeno, hecho que se concretó con su puesta en marcha de la planta en diciembre de 2005.

La Planta Experimental de Hidrógeno fue concebida como una escuela/fábrica. Consta de dos módulos, el primero destinado a la capacitación teórico-práctica mediante cursos y el segundo destinado a la producción, almacenamiento, laboratorio, taller y ensayos de prototipos para las diversas aplicaciones del hidrógeno como combustible.

**Forma de contacto con la Asociación Argentina del Hidrógeno:**

**<http://www.aah2.org.ar>**

**[info@aah2.org.ar](mailto:info@aah2.org.ar)**

**Forma de contacto con el proyecto Pino Truncado:**

**<http://www.h2truncado.com.ar>**

Tel: (0297) 4990540

**[info@h2truncado.com.ar](mailto:info@h2truncado.com.ar)**

Correo general

**[dirh2@mpt.com.ar](mailto:dirh2@mpt.com.ar)**

Dirección

**[admh2@mpt.com.ar](mailto:admh2@mpt.com.ar)**

Administración

**[exph2@mpt.com.ar](mailto:exph2@mpt.com.ar)**

Experimentación y Prototipos

**[ingh2@mpt.com.ar](mailto:ingh2@mpt.com.ar)**

Ingeniería

**[prodh2@mpt.com.ar](mailto:prodh2@mpt.com.ar)**

Producción

**[teccaph2@mpt.com.ar](mailto:teccaph2@mpt.com.ar)**

Técnico y Capacitación

- b) **Instituto de Energía y desarrollo Sustentable (IEDS):** Pertenece a la Comisión Nacional de Energía Atómica y ha sido creado como parte de un acuerdo marco entre la Secretaría de Energía y la misma CNEA. La misión esencial de este instituto es articular las capacidades técnicas de la CNEA al efecto de impulsar y promover estudios,

investigaciones, servicios y desarrollos tecnológicos en el área de la energía y el desarrollo sustentable.

Actualmente se están llevando adelante una serie de proyectos que tienen que ver con la aplicación del hidrógeno tanto en su función para generar electricidad, como en su capacidad para ser utilizado como combustible limpio. Las actividades de la CNEA en materia de hidrógeno se remontan a mediados de 1980, cuando se iniciaron en el país los primeros estudios del hidrógeno como vector de energía.

Sus áreas centrales son la tecnología de celdas de combustible; la producción, el almacenamiento, el transporte y la distribución de hidrógeno; el estudio de materiales y motores para implementar el uso del hidrógeno y el uso de fuentes primarias de energía, tanto para la producción regional descentralizada como para la producción masiva centralizada.

La mayor parte de las investigaciones en curso se realizan en las instalaciones de Centro Atómico Bariloche, Centro Atómico Constituyentes y Centro Atómico Ezeiza. Los temas son ampliamente diversos, desde el desarrollo de combustibles híbridos hasta materiales, catalizadores y procesos.

Entre los proyectos de mayor envergadura pueden mencionarse:

- Producción de hidrógeno: Este proyecto es realizado con apoyo del BID y tiene por objeto desarrollar la tecnología de generación, almacenamiento y distribución de hidrógeno elemental en el país a modo de prototipo.
- Celda de combustible a gas natural: El objetivo es la implementación en el país de una celda de combustible para suministrar energía eléctrica a una población con quinientos a mil habitantes.

**Forma de contacto con el Instituto de Energía y desarrollo Sustentable:**

Dr. Daniel M. Pasquevich

**[dir-ieds@cnea.gov.ar](mailto:dir-ieds@cnea.gov.ar)**

### 5.2.2 Proyectos y otras iniciativas

- **Proyecto celdas de combustible de ENARSA.** La empresa estatal de energía ENARSA junto al Ejército y Aeropuertos 2000 están desarrollando un dispositivo compacto de hasta 50V, con la idea de comercializar en forma privada pilas menores de 10V. El proyecto busca abastecer consumos de energía tanto a nivel privado como del ejército, destacando entre ellos pequeños equipos de radio, automóviles e inclusive el abastecimiento de energía eléctrica a pequeñas instalaciones (AAH, 2006).
- Sistemas de almacenamiento de electricidad de níquel-hidrógeno para misiones espaciales (Satélites SAC-C, SAC-D y SAOCOM).

Proyecto cooperativo CONICET-CONAE-INIFTA

- Proyectos de sistemas sustentables de energía del IEDS (CNEA), CITEFA, Escuela Superior Técnica, DPE-INIFTA.
- Planta de demostración de un sistema sustentable de energía (Planta experimental eólico-hidrógeno de Pino Truncado).

### 5.2.2 Leyes

En el ámbito legislativo, en agosto de 2006 el Congreso de la Nación Argentina aprobó la ley 26123 sobre “Régimen para el desarrollo de la tecnología, producción, uso y aplicaciones del hidrógeno como combustible y vector de energía”. Esta ley busca promover la investigación, el desarrollo, la producción y la utilización del hidrógeno como vector energético y también dar lugar al surgimiento de una industria relacionada con el hidrógeno con base en Argentina.

## **5.3 BRASIL**

Brasil corresponde al país más avanzado de Sudamérica en lo que a desarrollo e investigación sobre hidrógeno y pilas de combustible concierne. Posee un programa de gobierno bien definido que busca el desarrollo de esta tecnología para su inclusión en la matriz energética. Además, existen empresas privadas que se dedican a la investigación y posterior comercialización de productos relacionados con el hidrógeno y las pilas de combustible.

### **5.3.1 Programas gubernamentales**

El Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT) de Brasil se encuentra apoyando desde 1999 iniciativas en torno a la investigación y desarrollo para la producción de hidrógeno a partir de reformado de etanol, con la finalidad de crear una base comercial desde Brasil hacia un posible mercado en América Latina. Estos esfuerzos por investigar se centraron principalmente en la producción de hidrógeno y desarrollo de pilas de combustible.

En el año 2002, el MCT creó el Programa Brasileño de Hidrógeno y Sistemas de Celdas de Combustible (Procac), donde participan universidades, centros de investigación y empresas privadas cuyo objetivo es promover asociaciones integradas que viabilicen el desarrollo del hidrógeno y celdas de combustible en Brasil. Entre los desafíos de este programa se encuentran (Lima, 2002; De Nora, 2005; Coral, 2006):

- Desarrollo de celdas de combustible;
- Estaciones de producción;
- Almacenamiento y distribución;
- Capacitación de recursos humanos;
- Regulación y coordinación entre todos los entes participantes de la cadena de producción, distribución y venta.

Dada la importancia que ha tomado este tema en Brasil, en 2005 el programa Procac pasó a denominarse programa de Ciencia, Tecnología e Innovación para una economía de Hidrógeno (ProH<sub>2</sub>), donde se ratificó la importancia del tema dándole un enfoque prioritario.

Actualmente sus mayores avances se concentran en:

- Producción de hidrógeno;
- Celdas de combustible PEM ;
- Celdas de Oxido Sólido ;
- Sistemas de integración; y
- Aplicaciones de hidrógeno y pilas de combustible.

En relación a esto, existen redes de trabajos especializadas a nivel nacional:

**a) Red SOFC. Compuesta por:**

**UFMA.** Universidad Federal do Maranhao. Núcleo de Energías alternativas.

Forma de contacto a través de <http://www.nea.ufma.br>

**UFRN.** Universidad Federal do Río Grande de Norte. Laboratorio de análisis térmico de materiales.

Forma de contacto:

Walquíria Joseane da Silva: [wjoseane@yahoo.com.br](mailto:wjoseane@yahoo.com.br)

Dulce Maria de Araújo Melo: [dmelo@interjato.com.br](mailto:dmelo@interjato.com.br)

Sibelle Feitosa da Cunha: [sibelle.cunha@gmail.com](mailto:sibelle.cunha@gmail.com)

Patrícia Mendonça Pimentel: [pimentelmp@yahoo.com](mailto:pimentelmp@yahoo.com)

**UFBA.** Universidad Federal de Bahía. Grupo de Energía y Ciencia de Materiales.

Forma de contacto:

Nadia Mamede José: [nadia@ufba.br](mailto:nadia@ufba.br)

Jaime Soares Boaventura Filho: [bventura@ufba.br](mailto:bventura@ufba.br)

**UNESP.** Universidade Estadual Paulista. Departamento de energía.

Forma de contacto:

<http://www.feg.unesp.br/gose/index.html>

Dr. José Luz Silveira. [joseluz@feg.unesp.br](mailto:joseluz@feg.unesp.br)

Tel. 55 (12) 3123-2836 / Fax. 55 (12) 3123-2835

**UFMG.** Universidade Federal de Minas Gerais. Laboratorio de materiales y pilas de combustible.

**Forma de contacto:**

<http://zeus.qui.ufmg.br/~lampac/>

Tel. (51-031)3499-5714 / Fax. (51-031)3499-5700

**COPPE/UFRJ.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Laboratorio de Hidrógeno.

Forma de contacto:

<http://www.labh2.coppe.ufrj.br>

[labh2@labh2.coppe.ufrj.br](mailto:labh2@labh2.coppe.ufrj.br)

**UENF.** Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Laboratorio de Materiales Avanzados

Forma de contacto:

<http://www.uenf.br/Uenf/Pages/CCT/Lamav/>

[lamav@uenf.br](mailto:lamav@uenf.br)

**IPEN.** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Programa de células a combustible.

Forma de contacto:

**[www.ipen.br](http://www.ipen.br)**

Almir Oliveira Neto. **[aolivei@ipen.br](mailto:aolivei@ipen.br)**

Dionísio Furtunato da Silva. **[dfsilva@ipen.br](mailto:dfsilva@ipen.br)**

Elisabete Inacio Santiago. **[eisantia@ipen.br](mailto:eisantia@ipen.br)**

Estevam Vitorio Spinacé. **[espinace@ipen.br](mailto:espinace@ipen.br)**

Fabio Coral Fonseca. **[cfonseca@ipen.br](mailto:cfonseca@ipen.br)**

Marcelo Linardi. **[mlinardi@ipen.br](mailto:m_linardi@ipen.br)**

**LACTEC.** Instituto de Tecnología para o Desenvolvimento.

Forma de contacto:

**<http://www.lactec.org.br>**

**UFSC.** Universidade Federal de Santa Catarina

Forma de contacto:

**<http://www.labplan.ufsc.br/>**

**[suporte@labplan.ufsc.br](mailto:suporte@labplan.ufsc.br)**

**b) Red PEMFC. Compuesta por:**

**UFPA.** Universidade Federal do Pará. Grupo de estudios y desenvolvimiento de alternativas energéticas.

Forma de contacto:

**<http://www.ufpa.br/gedae/indexport.htm>**

Coordinador Dr. João Tavares Pinho: **[gedae@ufpa.br](mailto:gedae@ufpa.br)**

**UFBA.** Universidad Federal de Bahía. Grupo de Energía y Ciencia de Materiales.

Forma de contacto:

Nadia Mamede José: [\*\*nadia@ufba.br\*\*](mailto:nadia@ufba.br)

Jaime Soares Boaventura Filho: [\*\*bventura@ufba.br\*\*](mailto:bventura@ufba.br)

**UNESP.** Universidade Estadual Paulista. Departamento de energía.

Forma de contacto:

[\*\*http://www.feg.unesp.br/gose/index.html\*\*](http://www.feg.unesp.br/gose/index.html)

Dr. José Luz Silveira

[joseluz@feg.unesp.br](mailto:joseluz@feg.unesp.br)

Tel. 55 (12) 3123-2836 / Fax. 55 (12) 3123-2835

**USP/IQSC.** Instituto de Química de Sao Carlos/Universidad de Sao Paulo.

Forma de contacto:

[\*\*http://www.iqsc.usp.br\*\*](http://www.iqsc.usp.br)

Dr. Elisabete Frollini: [elisabete@iqsc.usp.br](mailto:elisabete@iqsc.usp.br)

**IPEN.** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Programa de células a combustible.

Forma de contacto:

[\*\*www.ipen.br\*\*](http://www.ipen.br)

Almir Oliveira Neto. [\*\*aolivei@ipen.br\*\*](mailto:aolivei@ipen.br)

Dionísio Furtunato da Silva. [\*\*dfsilva@ipen.br\*\*](mailto:dfsilva@ipen.br)

Elisabete Inacio Santiago. [\*\*eisantia@ipen.br\*\*](mailto:eisantia@ipen.br)

Estevam Vitorio Spinacé. [\*\*espinace@ipen.br\*\*](mailto:espinace@ipen.br)

Fabio Coral Fonseca. [\*\*cfonseca@ipen.br\*\*](mailto:cfonseca@ipen.br)

Marcelo Linardi. [\*\*m\\_linardi@ipen.br\*\*](mailto:m_linardi@ipen.br)

**IPT.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

Forma de contacto:

**<http://www.ipt.br/>**

João Francisco Peral Céspedes: **[jfperal@ipt.br](mailto:jfperal@ipt.br)**

**COPPE/UFRJ.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Laboratorio de Hidrógeno.

Forma de contacto:

**<http://www.labh2.coppe.ufrj.br>**

**[labh2@labh2.coppe.ufrj.br](mailto:labh2@labh2.coppe.ufrj.br)**

**CEPEL.** Centro de Pesquisas de Energía Eléctrica.

Forma de contacto:

**<http://www.cepel.br/>**

**c) Red de producción de hidrógeno. Compuesta por:**

**UFBA.** Universidad Federal de Bahía. Grupo de Energía y Ciencia de Materiales.

Forma de contacto:

Nadia Mamede José: **[nadia@ufba.br](mailto:nadia@ufba.br)**

Jaime Soares Boaventura Filho: **[bventura@ufba.br](mailto:bventura@ufba.br)**

**COPPE/UFRJ.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Laboratorio de Hidrógeno.

Forma de contacto:

**<http://www.labh2.coppe.ufrj.br>**

**[labh2@labh2.coppe.ufrj.br](mailto:labh2@labh2.coppe.ufrj.br)**

**IPEN.** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Programa de células a combustible.

Forma de contacto:

**www.ipen.br**

Almir Oliveira Neto. **aolivei@ipen.br**

Dionísio Furtunato da Silva. **dfsilva@ipen.br**

Elisabete Inacio Santiago. **eisantia@ipen.br**

Estevam Vitorio Spinacé. **espinace@ipen.br**

Fabio Coral Fonseca. **cfonseca@ipen.br**

Marcelo Linardi. **mlinardi@ipen.br**

**UFSC.** Universidade Federal de Santa Catarina.

Forma de contacto:

**<http://www.labplan.ufsc.br/>**

**[suporte@labplan.ufsc.br](mailto:suporte@labplan.ufsc.br)**

**d) Red Sistemas de integración. Compuesta por:**

**UFRN.** Universidad Federal do Río Grande de Norte. Laboratorio de análisis térmico de materiales.

Forma de contacto:

Walquíria Joseane da Silva: **[wjoseane@yahoo.com.br](mailto:wjoseane@yahoo.com.br)**

Dulce Maria de Araújo Melo: **[dmelo@interjato.com.br](mailto:dmelo@interjato.com.br)**

Sibelle Feitosa da Cunha: **[sibelle.cunha@gmail.com](mailto:sibelle.cunha@gmail.com)**

Patrícia Mendonça Pimentel: **[pimentelmp@yahoo.com](mailto:pimentelmp@yahoo.com)**

**UNESP.** Universidade Estadual Paulista. Departamento de energía.

Forma de contacto:

**<http://www.feg.unesp.br/gose/index.html>**

Dr. José Luz Silveira

joseluz@feg.unesp.br

Tel. 55 (12) 3123-2836 / Fax. 55 (12) 3123-2835

**IPEN.** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Programa de células a combustible.

Forma de contacto:

**[www.ipen.br](http://www.ipen.br)**

Almir Oliveira Neto. **[aolivei@ipen.br](mailto:aolivei@ipen.br)**

Dionísio Furtunato da Silva. **[dfsilva@ipen.br](mailto:dfsilva@ipen.br)**

Elisabete Inacio Santiago. **[eisantia@ipen.br](mailto:eisantia@ipen.br)**

Estevam Vitorio Spinacé. **[espinace@ipen.br](mailto:espinace@ipen.br)**

Fabio Coral Fonseca. **[cfonseca@ipen.br](mailto:cfonseca@ipen.br)**

Marcelo Linardi. **[mlinardi@ipen.br](mailto:mlinardi@ipen.br)**

**UFSC.** Universidade Federal de Santa Catarina.

Forma de contacto:

**<http://www.labplan.ufsc.br/>**

**[suporte@labplan.ufsc.br](mailto:suporte@labplan.ufsc.br)**

**e) Red de aplicaciones. Compuesta por:**

**COPPE/UFRJ.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Laboratorio de Hidrógeno.

Forma de contacto:

**<http://www.labh2.coppe.ufrj.br>**

**[labh2@labh2.coppe.ufrj.br](mailto:labh2@labh2.coppe.ufrj.br)**

**CENPES.** Centro de Investigación y Desarrollo Leopoldo Américo Miguez de Mello. Centro perteneciente a Petrobrás.

Forma de contacto:

**[http://www2.petrobras.com.br/espanhol/ads/ads\\_Tecnologia.html](http://www2.petrobras.com.br/espanhol/ads/ads_Tecnologia.html)**

**IPEN.** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Programa de células a combustible.

Forma de contacto a través de **[www.ipen.br](http://www.ipen.br)**

**LACTEC.** Instituto de Tecnología para o Desenvolvimento.

Forma de contacto:

**<http://www.lactec.org.br>**

### **5.3.2 Iniciativas privadas**

Dentro de las iniciativas privadas se encuentra la de un grupo de empresarios que, en conjunto con investigadores, ingenieros y técnicos de alto nivel, desarrollan sistemas asociados a pilas de combustible y accesorios anexos a este tipo de sistemas.

Lo importante de esta iniciativa es que comercializan productos desarrollados por ellos, destacando generadores de 5 y 50 kW y accesorios para el montaje de equipos entre otros.

Forma de contacto:

**[www.electrocell.com.br](http://www.electrocell.com.br)**

Ventas: **[dpvendas@electrocell.com.br](mailto:dpvendas@electrocell.com.br)**

Contacto técnico: **[sac@electrocell.com.br](mailto:sac@electrocell.com.br)**

## **5.4 CHILE**

Dentro del contexto de avances y desarrollo de las pilas de combustible e hidrógeno, Chile está en un estado inicial, muy por debajo de países como Argentina y Brasil. Las investigaciones que se están desarrollando tienen carácter experimental y muchas de ellas son parte de proyectos de fin de carrera de alumnos pertenecientes al área química e ingeniería.

Aún no existe la formación de asociaciones nacionales o centros exclusivos destinados al desarrollo del hidrógeno como combustible.

Además, aún no hay un pronunciamiento concreto por parte del gobierno sobre un plan de investigación de hidrógeno como vector energético. El Proyecto de Ley sobre Energías Renovables no Convencionales que se encuentra en etapa de discusión no contempla en ninguno de sus puntos al hidrógeno como fuente de energía (CNE, 2007).

### **5.4.1 Centros de investigación**

Actualmente no existen centros de investigación exclusivos sobre el tema, las experiencias que se expondrán a continuación son iniciativas que desarrollan investigadores de universidades prestigiosas a nivel nacional y que dentro de sus actividades contemplan investigar temas relacionados con el hidrógeno y pilas de combustible.

#### **5.4.1.1 Universidad de Chile**

La Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Dpto. De Ingeniería Química, está desarrollando el proyecto de investigación “Estudio de un Sistema Catalítico para la Producción de Hidrógeno a partir de Alcoholes Primarios”, cuyo investigador principal es el Dr. Francisco Javier Gracia Carola, miembro de la Red Iberoamericana de Pilas de Combustible e Hidrógeno.

El proyecto cuenta con fondos CONICYT<sup>1</sup> y su fecha de inicio fue de marzo de 2006 con una duración de 3 años. Actualmente no se conocen resultados públicos.

Otros trabajos realizados en la universidad:

- Alternativas para generación y almacenaje de hidrógeno y su aplicación en Celdas de Combustibles. Trabajo realizado por el Dr. Francisco Gracia en el año 2003.
- Estudio de Catalizadores Soportados de Cobre para la Producción de Hidrógeno a partir de Metanol. Trabajo realizado por Javier Jiménez, Gonzalo Águila, Paulo Araya y Francisco Gracia en noviembre de 2006 y presentado en la IV Jornadas Chilenas de Catálisis y Adsorción.
- Producción de Hidrógeno a partir de Metanol mediante Reformado con Catalizadores Cu/ZrO<sub>2</sub>. Trabajo realizado por Javier Jiménez, Paulo Araya y Francisco Gracia en julio de 2006 y presentado en las Segundas Jornadas Iberoamericanas de Pilas de Combustible e Hidrógeno, Buenos Aires.
- Controlador de módulo de celda de combustible Mediante la herramienta Labview. Trabajo de tesis desarrollado por Felipe Lineo Ávila en el año 2004.

Como medio de contacto con la universidad se recomienda comunicarse con el Dr. Francisco Javier Gracia. Sus datos se encuentran en el punto 5.1.1.1 de este trabajo.

#### **5.4.2 Proyectos y otras iniciativas**

##### **- Programa eco hidrógeno en Chile 1999 – 2012**

Hace ya cinco años, se está llevando adelante el proyecto privado más grande a nivel nacional destinado a suplir la demanda de energía del país.

El proyecto es patrocinado por Sistemas Automáticos S.A., quién ha desarrollado una alianza estratégica internacional con otros centros privados en el desarrollo de fuentes de

---

<sup>1</sup> Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica. Gobierno de Chile.

energías renovables. Dentro de sus objetivos se encuentra el desarrollo de una planta generadora eléctrica a base de hidrógeno como combustible primario.

Este proyecto utiliza en forma conjunta:

- UN PARQUE EÓLICO: destinado a la generación de hidrógeno, el agua de mar es tratada y por medio de electrólisis se genera oxígeno e hidrógeno gases que serán almacenados en contenedores;
- PLANTA NOVASOLAR: planta de generación eléctrica por medio de paneles solares que serán utilizados como respaldo primario de energía, su principal función es mantener operativa la planta de Generación;
- REACTOR ZEUS: en un MEGADOMO se concentrarán reactores que quemarán el hidrógeno, la energía calórica alimentará una central de ciclo combinado de generación eléctrica. La potencia bruta de esta planta prototipo será de 450 MW.

Dado que este proyecto es de carácter privado se hace más difícil recavar un nivel más profundo de información.

Forma de contacto:

**[www.energiasrenovables.cl](http://www.energiasrenovables.cl)**

Sr. Pedro Gaete

**[pedro.gaete@energiasrenovables.cl](mailto:pedro.gaete@energiasrenovables.cl)**

- Colegio de Ingenieros de Chile A.G.: esta institución elaboró un Informe sobre el potencial de las energías alternativas en Chile, denominado “Chile y su estrategia ante el panorama mundial y nacional de la energía”, en él se expresa claramente el interés en el hidrógeno como fuente de energía del futuro, proponiéndola como una de las ramas de investigación y desarrollo que debe promover el gobierno dentro de sus políticas de apoyo a nuevas fuentes de energía.

## 5.5 COLOMBIA

Al igual que Chile, sus investigaciones se encuentran en un estado incipiente, centrándose principalmente en el desarrollo de materiales para la fabricación de pilas de combustible.

En conversaciones con el Dr. Rubén Vargas, miembro de la Red Iberoamericana de Hidrógeno y Pilas de Combustible, éste mencionó que actualmente las áreas de interés en que se trabaja en Colombia son:

- Investigación y Desarrollo de pilas de combustible;
- Producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno;
- Desarrollo de materiales;
- Materias primas energéticas para celdas de combustible y producción de hidrógeno;
- Seguridad;
- Ingeniería eléctrica y electrónica asociada a pilas de combustible;
- Interconexión de pequeñas fuentes de energía a las redes de distribución;
- Calidad de la energía;
- Operación y mantenimiento;
- Diseños;
- Catálisis y purificación;
- Aplicaciones de pilas de combustible;
- Las pilas de combustible como fuentes de generación distribuida;
- Cogeneración;
- Impacto ambiental.

## **5.5.1 Institutos u organizaciones**

### **5.5.1.1 Red Colombiana de Celdas de Combustible e Hidrógeno**

Dentro de los logros organizativos, destaca la Red Colombiana de Celdas de Combustible e Hidrógeno, la cual permite coordinar a los científicos que trabajan en el sector y permitir conocer sus avances en la materia.

Para poder realizar una mejor investigación sobre el estado del hidrógeno en Colombia, durante el periodo de elaboración de este trabajo se contactó con todos los integrantes de la red de investigación recopilando la información que se presenta a continuación.

A continuación se expone un resumen de los miembros que componen dicha red, forma de contactarlos y el trabajo que están actualmente desarrollando.

### Red colombiana de celdas de combustible e hidrógeno

Tabla 1. Resumen de contactos e interés científico.

Integrantes	E mail	Dirección completa y teléfono	Interés científico en:		
			Celdas de combustible (Tipo)	Hidrógeno (Obtención, almacenamiento, etc.)	Otros (relacionados)
<b>Coordinador Nacional</b>	Rubén A. Vargas rvargas@univalle.edu.co	Departamento de Física, Universidad del Valle, A.A.25360, Cali, Colombia. Tel (572) 339 4610/2417	PEM		Desarrollo membranas poliméricas
<b>Delegado Nacional</b>	Rubén A. Vargas rvargas@univalle.edu.co	Idem.	PEM		Desarrollo membranas poliméricas
<b>Miembro -1</b>	Jesús Evelio Diosa jediosa@calima.univalle.edu.co	Ídem.	PEM		Desarrollo membranas poliméricas
<b>Miembro -2</b>	Esperanza Torijano etorijano@calima.univalle.edu.co	Ídem.	PEM		Desarrollo membranas poliméricas
<b>Miembro-3</b>	Manuel N. Chacón mchacon@calima.univalle.edu.co	Ídem.	PEM		Desarrollo membranas poliméricas
<b>Miembro -4</b>	Rubén J. Camargo	Escuela de Ingeniería Química, Universidad del Valle, A.A.25360, Cali, Colombia. Tel (572) 331 2935	PEM		Desarrollo de electrodos
<b>Miembro -5</b>	William Lizcano william_lizcano@yahoo.com	Departamento de Química, Universidad del Valle, A.A.25360, Cali, Colombia. Tel (572) 339 4610/2417	PEM		Desarrollo de electrodos
<b>Miembro 6</b>	Ever Ortiz eortiz@uniatlantico.edu.co	Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia	PEM		Desarrollo de membranas poliméricas
<b>Miembro 7</b>	Dionisio Laverde dlaverde@uis.edu.co	Universidad Industrial de Santander Bucaramanga, Colombia	SOFC	Producción y Almacenamiento de hidrógeno	Materiales para fabricación de electrodos y platos bipolares

Dentro de los centros más avanzados en la materia en Colombia destacan la Universidad del Valle y la Universidad Nacional sede Medellín, los cuales basan sus esfuerzos en celdas de alcoholes.

Otro grupo de trabajo se concentra en la Universidad Industrial de Santander, localizada en Bucaramanga, donde se ha trabajado en estudios básicos con celdas de combustible de ácido fosfórico, logrando hasta el momento desarrollar un modelo para flujos de masa en celdas de ácido fosfórico, que aún no ha sido publicado.

En la Universidad del Atlántico de la ciudad de Barranquilla, existe un grupo de física de materiales que focalizan sus esfuerzos en usar  $\text{CsHSO}_4$  como un separador electrolítico en celdas de combustible, sin embargo últimamente experimentos recientes realizados por ellos mismos han demostrado que la sal ácida  $\text{CsHSO}_4$  no es un conductor superprotónico, sino que la alta conductividad observada por encima de  $141^\circ\text{C}$  es resultado de un proceso de descomposición superficial y por lo tanto la celda de combustible no sería una aplicación eficiente usando esta sal como electrolito. A pesar de esto, el grupo sigue trabajando en el tema con la finalidad de obtener los resultados deseados.

Contacto Universidad del Atlántico: Dr. Ever Ortiz. Ver tabla 1.

Por otro lado, el Laboratorio de Energía Alternativa de la Universidad de Antioquia ha desarrollado un generador de hidrógeno por electrólisis del agua. Este generador está compuesto de 6 celdas electrolíticas fabricadas en forma modular con el fin de facilitar el montaje y desmontaje en la investigación de nuevos materiales para diafragmas, electrodos y cantidad de celdas para determinar la eficiencia del sistema.

Forma de contactar con el laboratorio de Energías Alternativas de la Universidad de Antioquia: [ealternativas.ingenieria@udea.edu.co](mailto:ealternativas.ingenieria@udea.edu.co)

## 6. CONCLUSIONES

Desde el punto de vista de realización del trabajo, la principal conclusión es que existe muy mala difusión por parte de los grupos de trabajo, centros de investigación o redes de investigación sobre los trabajos, proyectos e investigaciones que están llevando a cabo, esto obstaculizó la obtención de más y mejor información.

A nivel de organización, los países analizados en este trabajo forman parte de la Red Iberoamericana de Pilas de Combustible e Hidrógeno, la cual es liderada desde España por el CSIC.

Dentro de los países sudamericanos, Brasil lleva la delantera en proyectos de investigación privados y públicos de gran envergadura y redes de investigación sobre Pilas SOFC, PMFC, Producción de hidrógeno, Sistemas de Integración y Aplicaciones. Después de Brasil, los adelantos más significativos se encuentran en Argentina cuyo proyecto emblemático es el de Pino Truncado, al sur del país. Además, Argentina cuenta con la Asociación Argentina del Hidrógeno, la cual lleva 11 años trabajando en temas relacionados con el hidrógeno como vector energético.

Para el caso de Colombia y Chile, ambos países se encuentran en un estado muy inicial respecto a la investigación de hidrógeno y pila de combustible, siendo las universidades las que principalmente desarrollan proyectos de investigación aislados.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- AAH, Asociación Argentina del Hidrógeno, “El proyecto de celdas de combustible de ENARSA en Argentina”, Revista Hidrógeno. Boletín Oficial de la Asociación Argentina del Hidrógeno, Julio, 2006, pp. 14
- BCN, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. 2007. [En línea] <<http://www.bcn.cl>> [Consulta: 20 de septiembre, 2007].
- DE NORA, J. Brazilian research, development and demonstration activities. 5th steering committee meeting. 2005. Deputy Minister for Oil, Natural Gas and Renewable Fuels. 17 p.
- CORAL, F. Os Avanços do Brasil na P&D de Células a Combustível de Óxido Sólido. 2006. IPEN. 60 p.
- LIMA, S. Células a Combustível – História e Perspectivas. 2002. Núcleo de Energias Alternativas – NEA. Universidade Federal do Maranhão – UFMA. Apresentação seminário NEA. 73 p.