

HIDRÓGENO Y ENERGÍAS RENOVABLES: ANTECEDENTES Y PERSPECTIVAS EN ARGENTINA

Palabras clave: Hidrógeno, Energías Renovables, Ambiente, Gestión Distribuida de la Energía, Desarrollo Argentino.
Key words: Hydrogen, Renewable Energies, Environment, Distributed Energy Management, Argentine Development.

Resumen. Se brinda un panorama del hidrógeno y su relación con las energías renovables, potenciando su contribución decisiva al permitir el almacenamiento de energía en pequeñas, medianas y muy grandes cantidades, con el suministro de potencias en un extenso rango de valores.

Las propiedades físico-químicas del hidrógeno, su obtención a partir del agua y electricidad renovable, caracterizan la flexibilidad y manejo distribuido de sistemas de gestión integral de energía. Las aplicaciones por combustión – quemadores, motores alternativos, turbinas - y conversión electroquímica mediante pilas de combustible - dan como residuo solo vapor de agua. Constituyen un extraordinario aporte para cumplir con lo proclamado en la encíclica “Laudato Si (mayo 2015) El cuidado de la casa común”.

Los antecedentes en Argentina se remontan desde la década del 70 hasta la fecha, en una decena de instituciones académicas y de investigación y desarrollo, junto con la AAH (Asociación Argentina del Hidrógeno) fundada en 1996, las cuales han logrado, a escala de laboratorio y una planta experimental en Pico Truncado, ensayar motores, grupos electrógenos, quemadores, pequeñas pilas de combustible pem, vehículos, compresores y electrolizadores, entre otros. Como hito se logró la instalación de una pequeña planta piloto en la base Esperanza, Antártida Argentina.

Desde el año 2008, la empresa Argentina Hychico opera una planta de hidrógeno electrolítico de 120 nm³/h de hidrógeno, que mezclado con gas natural, alimenta un motogenerador de 1400 KW con reducción de gases GEI (gases de efecto invernadero). Una experiencia muy relevante es el almacenamiento subterráneo de hidrógeno con perspectivas de proyectar este concepto al almacenamiento de millones de metros cúbicos de hidrógeno.

En Políticas de Estado se sancionó en 2006 la Ley 26.123 para la Promoción del Hidrógeno. Hoy algunos miembros del Congreso Nacional trabajan en una actualización de la misma, en el marco de leyes recientes para la Promoción de Energías Renovables, 27.191, y Generación Distribuida de Energía.

En el ámbito internacional, Brasil cuenta con una importante experiencia en hidrógeno, incluyendo el desarrollo de un colectivo, al cual se está sumando Chile para el uso del hidrógeno en actividades mineras. Otras aplicaciones actuales presentan automóviles, camiones, trenes, autobuses, estaciones de servicio, pequeñas embarcaciones y submarinos funcionando a hidrógeno, en particular Alemania y Japón.

Además de las asociaciones nacionales del hidrógeno – aproximadamente 35 países – la IAHE (International Association for Hydrogen Energy) promueve, en su sentido más amplio, el desarrollo de la Economía y Civilización del Hidrógeno desde 1974. En códigos y estándares, desde 1994 la ISO TC/197 se dedica al desarrollo de normas para uso seguro y facilitación comercial de tecnologías del hidrógeno. Desde 2003 el IPHE (International Partnership for Hydrogen Economy) – entidad intergubernamental - nuclea a 18 países promoviendo el hidrógeno y, más recientemente, el Hydrogen Council 2017, inicialmente constituido por trece grandes empresas petroleras, de gases industriales y automotrices, tiene la determinación de posicionar al hidrógeno entre las soluciones clave en la transición hacia un sistema energético limpio y bajo en carbono.

The presentation provides an overview of hydrogen and its relationship with renewable energies, enhancing its decisive contribution by allowing the storage of energy in small, medium and very large quantities, with a wide range power supply. The physical-chemical properties of hydrogen, obtained from water and renewable electricity, characterize the flexibility and distributed use of integral energy management systems. Applications by combustion - burners, reciprocating engines, turbines - and electrochemical conversion by fuel cells - only produce water vapor as residue. They constitute an extraordinary contribution to fulfill the proclamation in the encyclical "Laudato Si (May 2015) The care of the common home".

Argentina's inherent background goes back to the 70's and, today, it is reflected in a dozen academic, research and development institutions, together with the AAH (Asociación Argentina del Hidrógeno) founded in 1996. These have achieved several projects, on a laboratory scale and an experimental plant in Pico Truncado, which test engines, generators, burners, small pem

Juan Carlos Bolcich

Asociación Argentina del Hidrógeno (AAH)
Presidente
Tarragó Ros 144 – (8400) Bariloche

E-mail: jbolcich@bariloche.com.ar,
bolcichjuan@gmail.com

fuel cells, vehicles, compressors and electrolyzers, among others. As a milestone, the installation of a small pilot plant was achieved at the Esperanza, Antártida Argentina base.

Since 2008, the Argentine company Hychico has operated an electrolytic hydrogen plant with 120 nm³/h of hydrogen which, mixed with natural gas, feeds a 1400 KW motor generator with GHG (greenhouse gas) reduction. A very relevant experience is the hydrogen underground storage with a view to projecting this concept to the storage of millions of cubic meters of hydrogen.

Law 26,123 for the Promotion of Hydrogen was sanctioned in 2006. Today some members of the National Congress are working on an update, within the framework of recent laws for the Promotion of Renewable Energy, 27.191, and Distributed Energy Generation.

At an international level, Brazil has significant experience in hydrogen, including the development of a hydrogen&fuel cell electric bus, and Chile is taking part in the use of hydrogen in mining activities. Other current applications involve cars, trucks, trains, buses, service stations, small boats and submarines running on hydrogen, in particular Germany and Japan.

In addition to the national hydrogen associations - approximately 35 countries - the IAHE (International Association for Hydrogen Energy) has promoted, in its broadest sense, the development of the Hydrogen Economy and Civilization since 1974. Regarding codes and standards, the ISO TC / 197 has been devoted to the development of standards for the safe use and commercial facilitation of hydrogen technologies since 1994. The IPHE (International Partnership for Hydrogen Economy) - an intergovernmental entity - has brought together 18 countries promoting hydrogen since 2003 and, more recently, the Hydrogen Council 2017, initially constituted by thirteen large oil companies, industrial gases and automotives, has the determination to position hydrogen among the key solutions in the transition to a clean and low-carbon energy system.

El hidrógeno permite almacenar energía en pequeñas, medianas, grandes y muy grandes cantidades, y entregar potencias en un extenso rango de valores.

El hidrógeno, de esa forma, potencia y hace posible el aprovechamiento y uso extendido de las fuentes renovables de energía, la mayoría de carácter intermitente, como el sol y el viento, para atender cualquier segmento de la demanda de servicios energéticos. Éstos también son variables a lo largo del día, los fines de semana y la estación del año en la que se encuentre.

El hidrógeno almacenado permite re-transformar en energía eléctrica, ofreciendo así un respaldo de potencia firme, al tiempo que como combustible, las tecnologías muestran su capacidad de uso en transporte e industria, entre otros.

En nuestro país, la Asociación Argentina del Hidrógeno (AAH), fundada en junio de 1996, reúne a un grupo de entusiastas, investigadores, desarrolladores de tecnología, ma-

yoritariamente del ámbito académico. Entre otras acciones publica - desde principios de 1998 - un boletín de difusión.

En la imagen (fig.1) se simbolizan lanchas pesqueras que también esperamos en un futuro próximo puedan emplear combustible hidrógeno

en la gran Pampa azul que constituye nuestro mar Argentino. La Pampa verde, con sus actividades tradicionales de carácter agrícola, como las más extensas zonas semi-desérticas que abarcan nuestro país desde el extremo sur al norte, y en la franja centro oeste, se hará factible multiplicar los recursos eólicos y solares



Figura 1: Hidrógeno y mar azul en lanchas pesqueras.

de muy buena calidad para abastecer – vía hidrógeno – todas estas actividades permanentes y trascendentes.

En mayo del 2015, su santidad el Papa Francisco, ha publicado la carta encíclica “Laudato Si” sobre el

cuidado de la casa común (Fig. 2). En ésta claramente se señala y se invita a un cambio de hábito o forma de vida para evitar fenómenos como el cambio climático / calentamiento global y todas sus consecuencias adversas para la humanidad. Para ello es imprescindible y mandatorio

el mayor uso de las energías renovables en la matriz energética en general. Esto no es solo la generación eléctrica, sino que también abarca los servicios finales energéticos de todo tipo .

La cadena sostenible que se muestra en la fig. 3 ejemplifica que, utilizando agua como materia prima y una energía renovable de donde se obtiene electricidad que alimenta equipos de electrólisis, logran obtener el hidrógeno y oxígeno gaseosos que, luego de ser aplicados para la obtención de calor, electricidad, movimiento y trabajo mecánico, se regeneran en agua químicamente pura, volviendo a cumplir un ciclo virtuoso y verdaderamente sostenible.

Un concepto vital para la humanidad y conveniente de instalar y operar en cada región y en cada comunidad, lo constituye la sinergia que por medio del hidrógeno involucra el manejo de energía limpia,

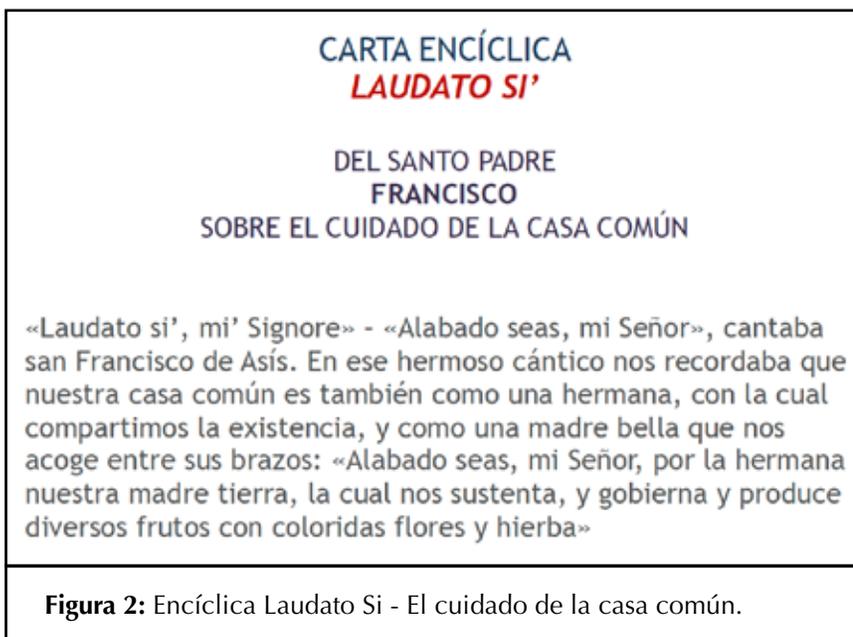


Figura 2: Encíclica Laudato Si - El cuidado de la casa común.



Figura 3: Cadena sostenible: energías renovables, hidrógeno, servicios energéticos, agua.

la disponibilidad de agua químicamente pura - que con el agregado de las sales en tipo y cantidad adecuada - se constituye en potable para beneficio de toda especie viviente, humanos y toda la escala animal y vegetal. De esa forma, con energía disponible en cada comunidad y agua de pureza controlada, se logrará la producción y optimización de alimentos sanos . (Fig. 4)

Una definición esclarecedora es la expresada por el Prof. Nejat Veziroglu en una de sus visitas a Argentina a principios del 2000: "La energía es el combustible de la economía." . (fig. 5)

Nuestra Patagonia se destaca por la presencia casi permanente de vientos persistentes y de alta intensidad que condicionan el crecimiento de árboles, generando una simetría llamativa como la mostrada en la fig. 6 . Ese extraordinario recurso eólico en tan extensa región - vía hidrógeno - nos ofrece un respaldo energético de alta calidad y competitividad económica que puede alcanzar el rango de los terawatts. Lo expresado tiene su fundamento conceptual en el gráfico de la fig. 7 donde se comparan distintas modalidades de almacenamiento de energía, en escala logarítmica. En los rangos menores de energía y potencia se ubican las baterías eléctricas de diferente tipo, como las de ión litio, mientras que el almacenamiento de energía como

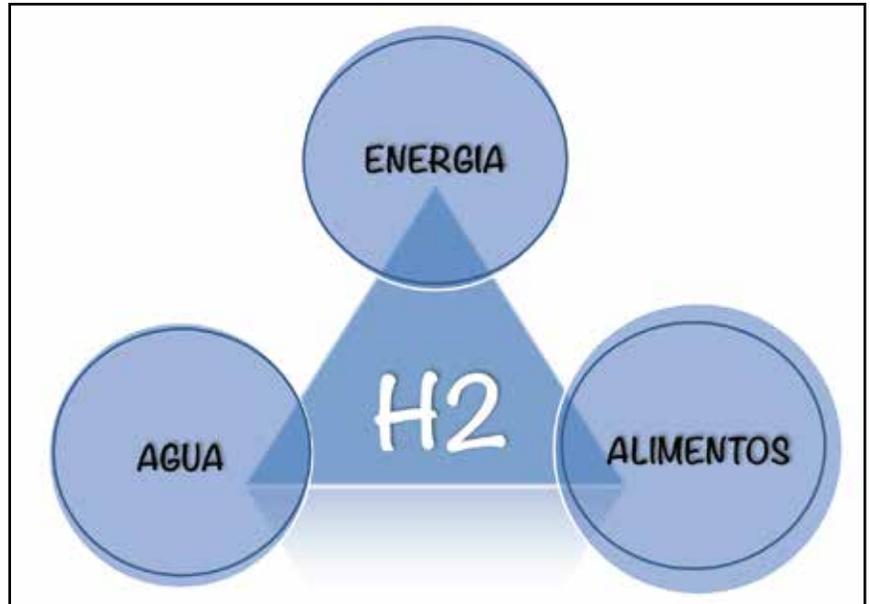


Figura 4: Sinergias energía limpia, alimentos frescos y agua potable vía hidrógeno.

ENERGÍA Y ECONOMÍA

- **Existe una relación muy cercana entre la economía y la energía.**
La Energía es el combustible de la Economía
- **Disponer de fuentes de energías limpias, baratas e inagotables puede dar enormes beneficios**
Profesor Nejat Veziroglu - Presidente de la IAHE

Figura 5: "La energía es el combustible de la economía" - declaración hecha por el Prof. Nejat Veziroglu, año 2003.



Figura 6: Árbol en meseta Patagónica de fuertes vientos.

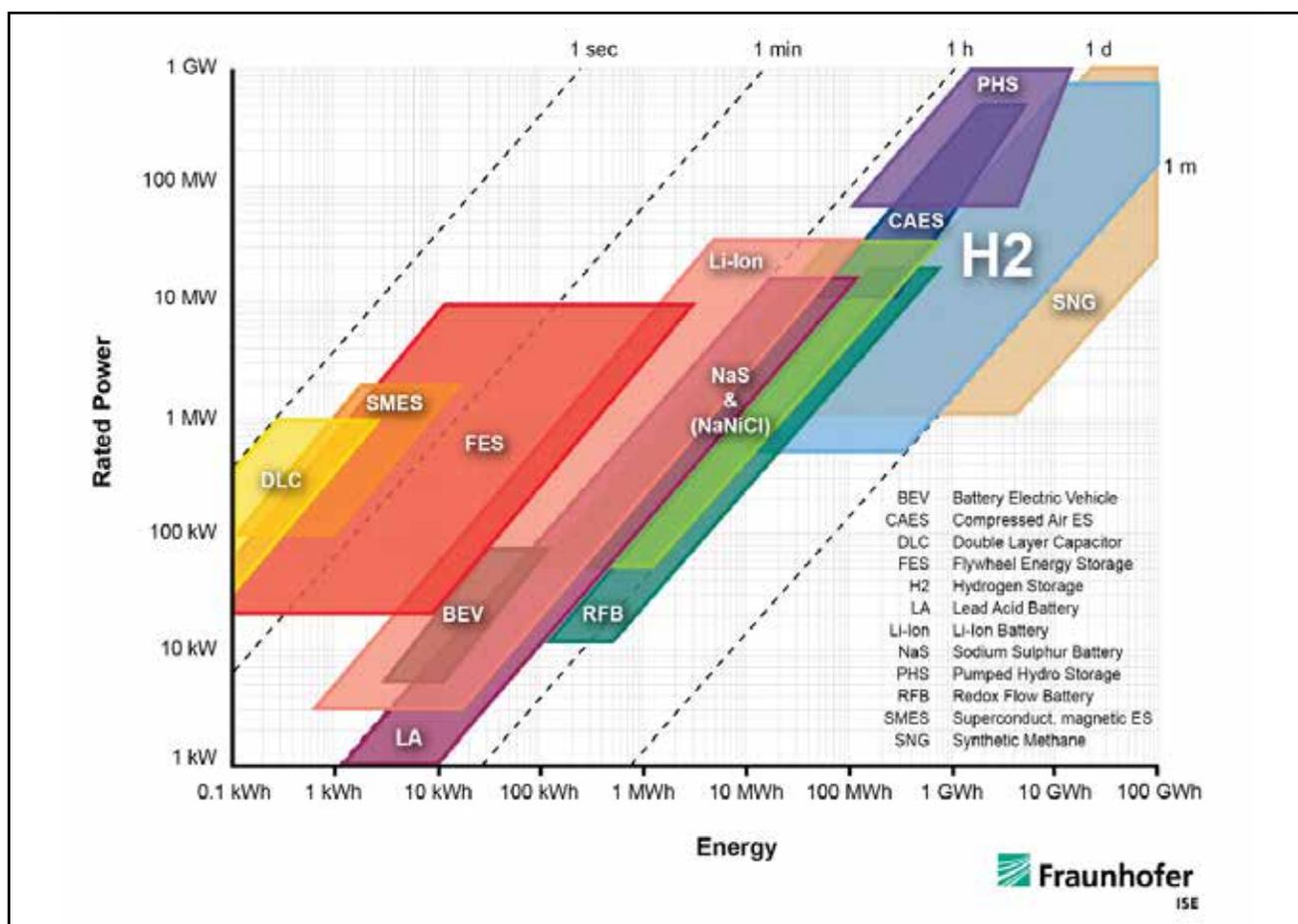


Figura 7: Capacidades de almacenamiento de energía y potencias disponibles para diversas tecnologías.

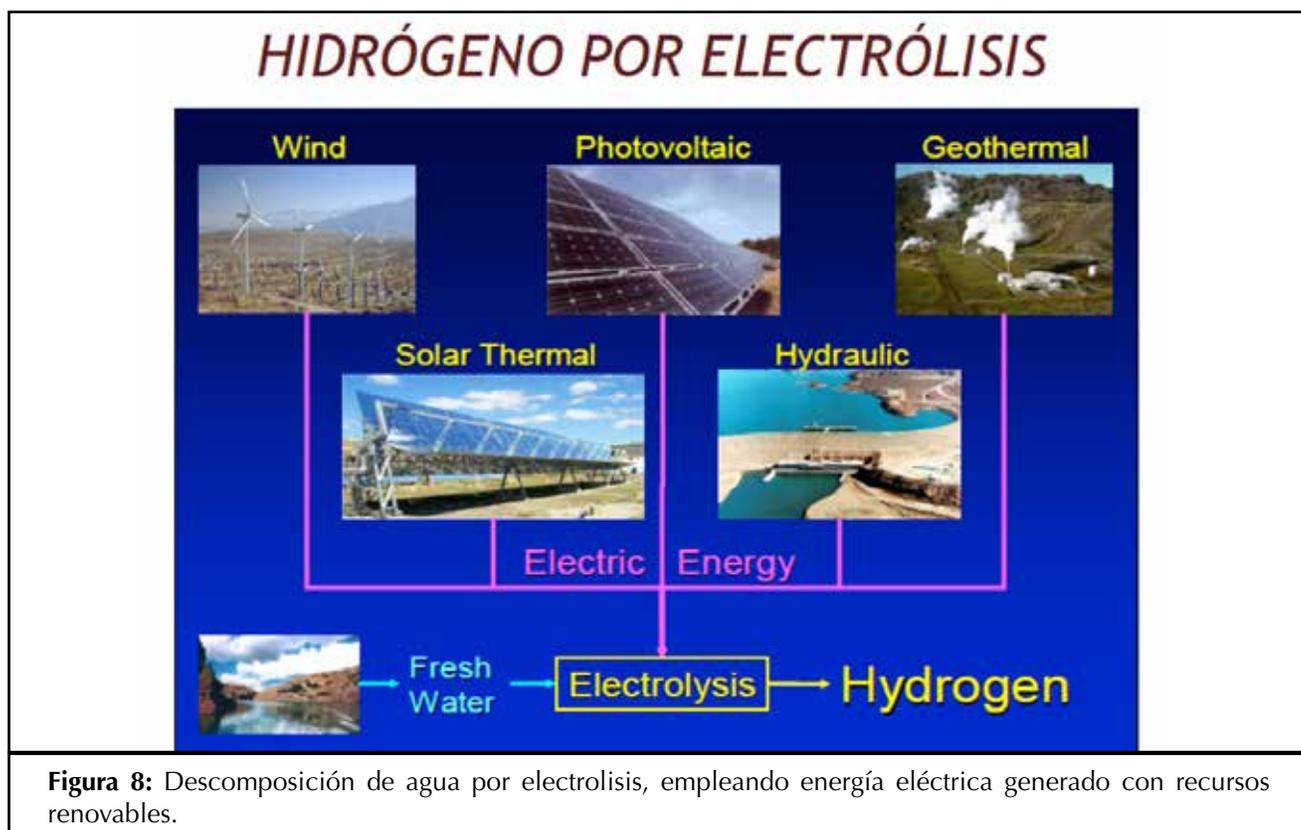


Figura 8: Descomposición de agua por electrolisis, empleando energía eléctrica generado con recursos renovables.

aire comprimido y bombeo de agua ocupan una porción intermedia superior, y el mayor rango de energías y potencias sólo es alcanzable con el almacenamiento masivo de hidrógeno y/o un gas natural (metano sintético). Existen numerosos trabajos y tecnologías para sintetizar un átomo de carbono con cuatro de hidrógeno, debiéndose destacar que el componente más oneroso es el hidrógeno. Lo expuesto permite pensar ciertamente en un reemplazo progresivo, no traumático, de los combustibles fósiles hacia las fuentes renovables de energía convertidas en tecnologías prácticas y aplicables vía la electricidad y el hidrógeno. En el caso del metano sintético, su diferencia con el metano denominado de origen fósil, sólo difiere en su "partida de nacimiento" (la molécula es CH₄).

El hidrógeno es el elemento más simple y abundante del universo, es inagotable, y el residuo de su com-

combustión o conversión electroquímica en electricidad es vapor de agua. (Figs. 8 y 9).

Un dispositivo extraordinario de muy alta eficiencia en todo rango de potencia (45 – 50 %) son las máquinas electroquímicas estáticas

denominadas pilas o celdas de combustible (figura 10). La pila de combustible produce energía eléctrica, agua y calor en un rango de temperatura moderada. Conceptualmente se puede interpretar como un electrolizador en forma inversa.

VENTAJAS DEL HIDRÓGENO

- ✓ **ES EL ELEMENTO MÁS SIMPLE Y ABUNDANTE DEL UNIVERSO**
- ✓ **INAGOTABLE**
- ✓ **EL RESIDUO DE SU COMBUSTIÓN ES VAPOR DE AGUA**

Figura 9: Ventajas principales del hidrógeno.

Pilas o Celdas de Combustible (FC)

Son máquinas electro-químicas estáticas - 1876

- **Eficiencia > 50%**
- **Silenciosas**
- **Se alimentan con hidrógeno + aire/ O₂**
- **Producen:**
Energía eléctrica
Agua
Calor
- **Duración > 8.000 horas**

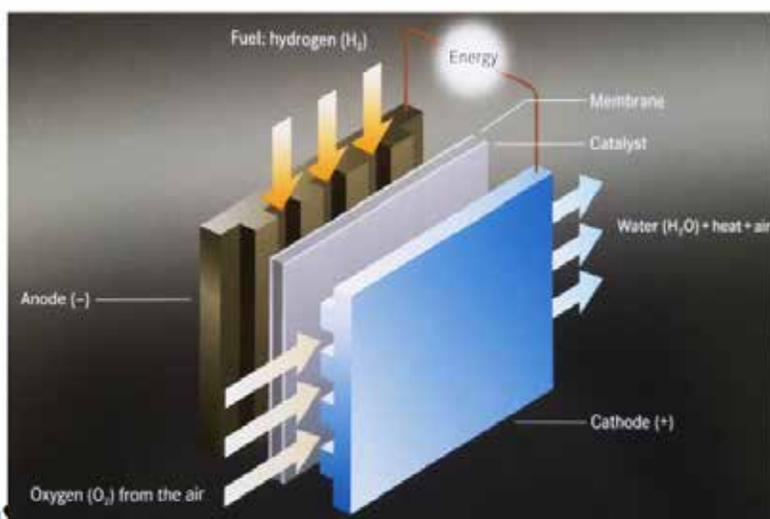


Figura 10: Esquema de una pila de combustible unitaria.

Haciendo un poco de historia, en nuestro país se desarrolló en los años 1997-1998, apoyado por la Usina Popular Cooperativa de la ciudad de Necochea, en un automóvil

gentilmente cedido por la empresa Renault Argentina – Renault 9 –que, con un diseño e implementación totalmente Argentinos, se convirtió en modificaciones al motor median-

te, para funcionar con hidrógeno. La conversión demandó diseñar y construir inyectores específicos de importante volumen por la baja densidad del hidrógeno gaseoso, junto con la electrónica de control correspondiente. Al automóvil se lo bautizó con el nombre de “Quequen 1” y permitió experiencias inéditas en nuestro país para que el motor de un automóvil se alimente con hidrógeno como combustible exclusivo . (Fig. 11).



Figura 11: Primer automóvil Argentino con motor de combustión interna 100% a hidrógeno.

En la siguiente figura 12 se muestra otro desarrollo Argentino: la implementación del motor de una camioneta Ford Ranger, cedida por Panamerican, de Comodoro Rivadavia. Su motor se adaptó para que funcionara con una mezcla de gas natural más 20% de hidrógeno en volumen. Esta conversión es más simple y podría permitir la introducción del hidrógeno como combustible simultáneo en diversos vehículos. A medida que mayor cantidad



Figura 12: Camioneta adaptada para combustible mezcla gas natural - hidrógeno.

de hidrógeno se utilice, se reducen las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero). La camioneta mostrada formó parte de los equipos demostrativos de la Planta Experimental Hidrógeno Pico Truncado Santa Cruz (desde 2003 a 2012).

Una reseña de la planta experimental de hidrógeno de Pico Truncado (Figs. 13 y 14) comprende la instalación de dos electrolizadores – el primero cedido por la universidad de Quebec A Trois Rivieres, laboratorio de hidrógeno, de 1 m³ normal de H₂ por hora, el cual desde el año 2005 permitió ganar experiencia y realizar ensayos de laboratorio con hidrógeno producido en ese lugar.

Un segundo electrolizador construido en nuestro país por el ITBA (2011 a 2013) todavía con ensayos pendientes de puesta a punto y optimización, se instaló en la planta experimental. Lo importante es que se trata de un equipo diseñado y construido íntegramente por convenio entre la planta experimental de hidrógeno y el ITBA.

Con la perspectiva de incrementar las capacidades de producción de hidrógeno y experimentar en equipos de mayor tamaño, se adquirió a una firma Suiza, un equipo de mayor potencia. En el año 2014 se lo emplazó en su lugar, sala de electrolizadores. A la fecha está pendiente completar parte de la instalación de servicios accesorios y su correspondiente puesta en marcha.

La planta experimental consta también de una sala-laboratorio donde se han realizado experiencias en pequeña escala en almacenamiento de H₂ en forma de hidruros, desarrollo de quemadores catalíticos y su aplicación en hornos para uso doméstico, pequeña pila de combustible y grupo electrógeno que funciona con H₂ exclusivamen-



Figura 13: Planta Experimental de Hidrógeno Pico Truncado, Santa Cruz, puerta de ingreso.



Figura 14: Compresor de hidrógeno Industria Argentina.

te en muy baja potencia – rango de hasta 2 KW - todo desarrollado en Argentina.

Otra sala está destinada a la preparación de motores de combustión interna para que funcionen con hidrógeno como combustible exclusivo o simultáneo, en mezclas con gas natural.

Todas las dependencias citadas han sido diseñadas y construidas

con un sobretecho que garantiza una ventilación natural que evite mezclas explosivas aire-hidrógeno. Asimismo, hay un sistema de detección de hidrógeno de alta sensibilidad en cada una de las salas y un pasillo de servicio que los vincula.

Otras dependencias están constituidas por un aula, oficina, biblioteca y servicios administrativos; otro edificio destinado al almacenamiento de agua que se bombea en el mis-

mo lugar desde una profundidad de 80 metros. El agua es de alto contenido salino, por lo que se instalaron tres equipos de ósmosis inversa que permiten obtener un agua de alta pureza, compatible para alimentar a los electrolizadores, y con éstos, descomponer el agua: dos volúmenes de H₂ por cada volumen de oxígeno.

Los gases pasan a respectivos tanques de acero inoxidable como todo el sistema de tuberías y válvulas construidos con este material para un almacenamiento transitorio. De allí pueden ser utilizados en laboratorio o comprimidos en buffer de alta presión – hasta 200 bar – para ser cargados en cilindros respectivos, o vía un surtidor (dispenser) suministrar a vehículos que pueden funcionar con H₂ o con mix de gases – gas natural + H₂ al 20%. El conjunto constituye una estación de servicio para carga de hidrógeno de uso vehicular.

Los compresores de gases – también construidos en nuestro país - han sido adecuados para ser refrigerados con agua. El agua de refrigeración integra un subsistema de agua caliente hasta 80 grados centígrados que, por medio de intercambiadores de calor, disipan y brindan condiciones ambientales adecuadas y controladas en suelos de invernaderos instalados para lograr una sinergia y un uso más eficiente de la energía, mayor exergía. Esto se traduce en la producción de alimentos frescos que, junto con el manejo de agua de salinidad controlada, permiten una mayor productividad en los invernaderos, la disponibilidad de agua y la obtención de combustible limpio por medio del hidrógeno. Éste es un modelo inicial que creemos muy conveniente para aplicar en diversos lugares, especialmente en áreas de baja densidad poblacional, para que cada comunidad pro-

duzca estos elementos básicos para la vida: energía limpia, alimentos frescos y agua potable.

En la Patagonia, a partir de los fuertes vientos, y en la extensa zona semiárida sur, centro y norte del país se puede tener el mismo tipo de instalaciones.

Un producto de la planta experimental de hidrógeno de Pico Truncado – Santa Cruz - es el “MAEL 1”

(modulo Argentino de energía limpia 1) instalado en diciembre del 2008 en la Base Esperanza, Antártida Argentina. El mismo conforma una cadena energética integral desde la turbina eólica, electrolizador, cilindros de almacenamiento de oxígeno e hidrógeno, aplicaciones como pila de combustible de laboratorio, moto generador, cocina y hornos . (Figs. 15, 16 y 17).

La empresa Argentina Hychico

Un producto de la Planta Experimental de Hidrógeno de Pico Truncado, Santa Cruz, es el **MAEL 1 (Modulo Argentino de Energía Limpia 1)**

Instalado en Diciembre del 2008 en la Base Esperanza, Antártida Argentina.

El mismo conforma una cadena energética integral desde la turbina eólica, electrolizador, cilindros de almacenamiento de oxígeno e hidrógeno, aplicaciones como pila de combustible de laboratorio, moto generador, cocina y hornos

Figura 15: Módulo Argentino de Energía Limpia 1 - presentación.

MAEL - Modulo Argentino Energía Limpia



Figura 16: Turbina eólica Zvalt, electrolizador ITBA, horno Zvalt, celda elemental de combustible.

ha instalado en Diadema, Comodoro Rivadavia, Chubut, Patagonia una planta de hidrógeno, inaugurada en 2008 y un parque eólico de 6,3 MW en el año 2011. Tiene dos electro-
lizadores con una capacidad total

de 120 NM³/h de hidrógeno y 60 NM³/h de oxígeno. El hidrógeno de alta pureza (99,998%) es mezclado con gas natural para alimentar a un genset de 1.4 MW equipado con un motor de combustión interna, especialmente adaptado para operar con gas rico y/o pobre mezclado con H₂. Vale la pena mencionar que el hidrógeno producido de alta pureza es especialmente apropiado para el uso en celdas de combustible. Adicionalmente, el rango de concentración de hidrógeno logrado (hasta un 42%) está por encima de los rangos comunes para estos motores, y han demostrado buena performance y efectividad al reducir CO₂ y emisiones de NO_x. El oxígeno producido – también de alta pureza (99,998%) – se vende en altas presiones en los mercados de gas industrial . (Figs. 18, 19 y 20).



HYDROGEN PLANT - HYCHICO

It has two electrolyzers with a total capacity of 120 Nm³/h of hydrogen and 60 Nm³/h of oxygen. The high purity hydrogen (99.998%) is mixed with natural gas to feed a 1.4 MW genset equipped with an internal combustion engine especially adapted to operate with rich and/or poor gas mixed with hydrogen.

It is worth noting that the high purity hydrogen produced is especially suitable for use in fuel cells.



Figura 19: Electrolizadores alcalinos, Planta Hychico.

HYDROGEN PLANT - HYCHICO

Additionally, the hydrogen concentration rates achieved (up to 42%) are above the customary international ranges for these engines, and have shown good performance and efficiency in reducing CO₂, CO, and NO_x emissions.

The oxygen produced, also of high purity (99.998%), is sold at high pressure in the industrial gas market.



Figura 20: Motogenerador Jenbacher - GE, 1415 Kwatt. Funciona con mezclas gas natural + hidrógeno.

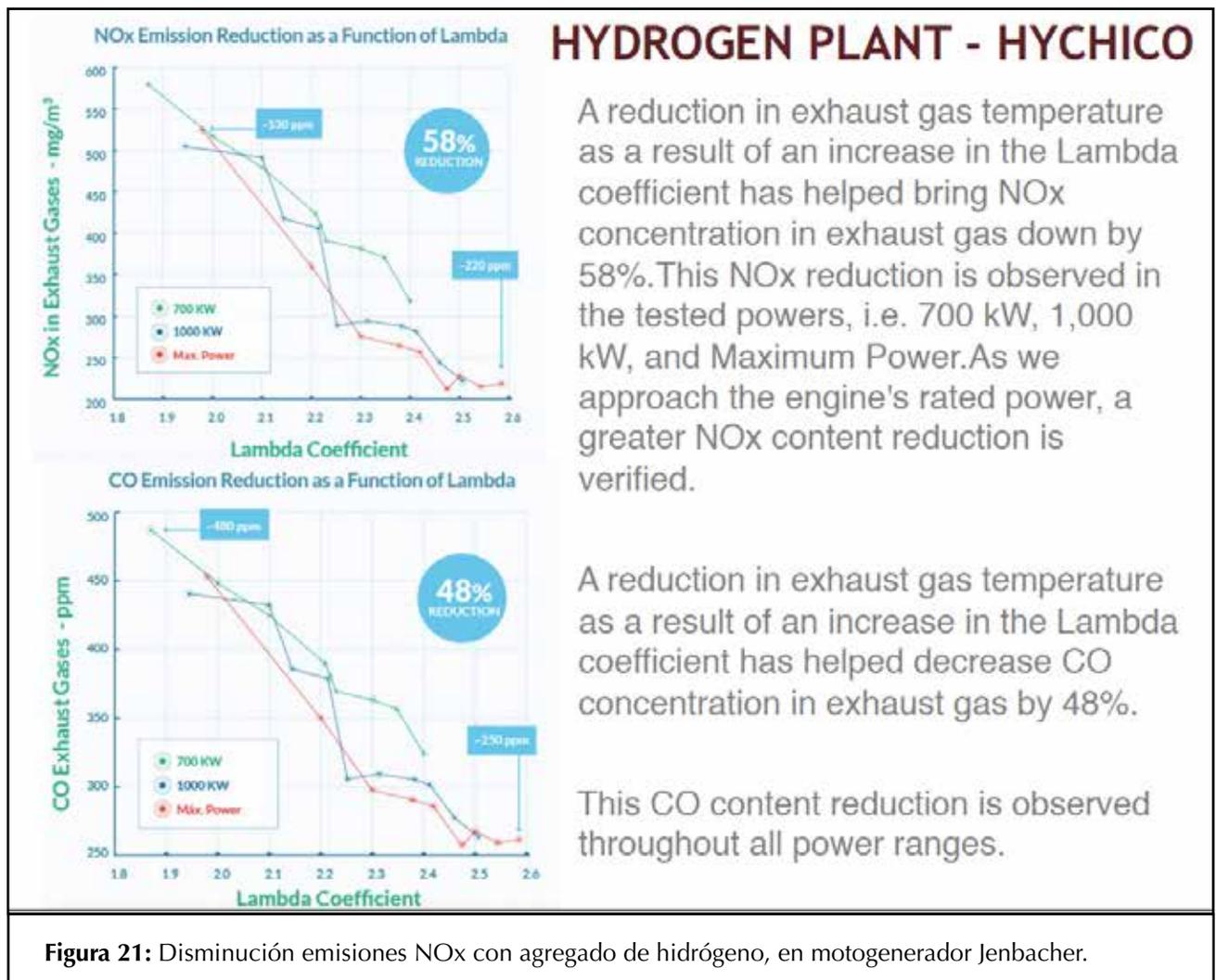
La reducción de temperatura en los gases de escape como resultado del incremento del coeficiente LAMBDA, ha ayudado a bajar la concentración de NOx a un 58%. Esta reducción de NOx se observa en las potencias testeadas – ej.: 700 KW, 1.000 KW, y potencia máxima. A medida que nos acercamos a la máxima potencia del motor, se verifica que hay una reducción en el contenido de NOx.

El incremento del coeficiente LAMBDA también aporta a la disminución de la concentración de CO - monóxido de carbono - en los gases de escape en un 48%. La reducción del CO se observa en todo el rango de potencias del motogenerador . (Fig. 21).

Una experiencia muy relevante es la que Hychico está llevando adelante con el almacenamiento subterráneo de hidrógeno, a 800 metros bajo el nivel del suelo, en un pozo depletado de hidrógeno. Está vinculado a la experiencia Europea denominada “Hyunder”. Esta alternativa tecnológica puede brindar la capacidad de almacenamiento masivo de hidrógeno, rango de cientos de miles a millones de metros cúbicos de hidrógeno, a un costo muy competitivo.

Una imagen aérea con los puntos principales de la instalación se brindan en la fig. 22. Para conectar la planta de hidrógeno con el cabezal del reservorio seleccionado para la prueba piloto, se tendió una cañería de 2,3 km.

Otra de las actividades relevantes que se vienen desarrollando en nuestro país, desde 1997, es la atención y participación en la elaboración de normas, códigos y estándares, denominado comité técnico ISO / TC 197, por medio del IRAM, donde funciona el respectivo comité local de hidrógeno. El objetivo principal comprende aspectos de seguridad en el manejo del hidrógeno en toda su cadena, desde la producción, almacenamiento, transporte, distribución y aplicaciones. Asimismo, por medio de normas, se facilitará el intercambio de componentes a escala global. Actualmente la secretaría funciona en el Standard Council de Canadá – SCC. Veinte países actúan en calidad de miembros participantes y otros doce países en calidad de miembros observadores . (Fig. 23).



Underground Hydrogen Storage

It is estimated that the hydrogen storage pilot project will be completed by the end of 2014 or early 2015.
European project HyUnder (www.hyunder.eu)

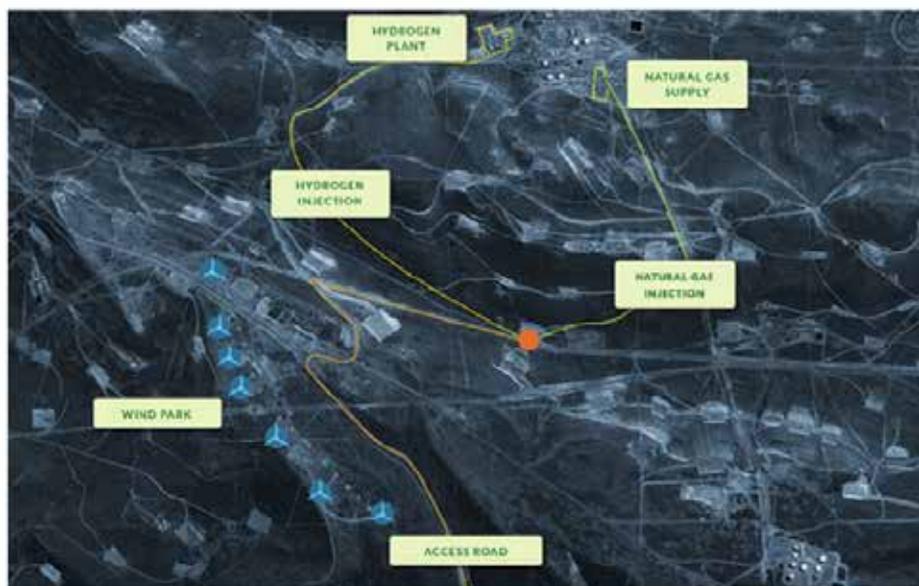


Figura 22: Almacenamiento subterráneo de hidrógeno.

Comité Técnico ISO TC 197



Actualmente el TC 197 de ISO cubre en su alcance la Normalización en el campo de los sistemas y dispositivos para la producción, almacenaje, transporte, medida y utilización del hidrógeno existiendo una serie de 15 grupos de trabajo activos a nivel global.

Secretariado: SCC (Standard Council Canada)

Países miembros Participantes: 20

Alemania, Argentina, Canadá, China, Dinamarca, Egipto, España, Estados Unidos de América, Federación Rusa, Francia, Holanda, India, Italia, Japón, Noruega, Nueva Zelandia, República Checa, República de Corea, Reino Unido y Suecia

Países miembros Observadores: 12

Australia, Austria, Finlandia, Hong Kong, Hungría, Polonia, República Islámica de Irán, Rumania, Serbia, Sri Lanka, Tailandia y Turquía

En Argentina la normalización es cubierta por IRAM 

Figura 23: Códigos, normas y estándares, Comité H2 en IRAM, representante ISO, desde 1997 por iniciativa AAH (Asociación Argentina del Hidrógeno).

Entre los laboratorios e instituciones del ámbito académico que se dedican al hidrógeno, podemos citar:

- Comisión de Energía Atómica, Centro Atómico Bariloche y Centro Atómico Constituyentes. Almacenamiento de hidrógeno en forma de hidruros, materia-

les para pilas de combustible de alta temperatura, óxidos sólidos, fragilización por hidrógeno en metales.

- Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. Laboratorio de mecánica y máquinas térmicas. Evaluación de motores en banco de ensayo que funcionan con H₂ en mezclas combustibles.
- ITBA, Instituto Tecnológico Buenos Aires. Tecnologías del hidrógeno "power to gas" (esto se refiere al aprovechamiento de la generación eléctrica, especialmente desde las fuentes renovables y variables como la eólica y solar, para la obtención de combustible hidrógeno) . (Fig. 24).

ITBA

Power To Gas H₂ Technology

Lic. Ricardo Lauretta
Dr. Pedro Orbaiz

- Electrolizadores Alta Presión, hasta 900 bares
- Almacenamiento Tubos Arrollados Alta Presión
- Motores, Ómnibus

Figura 24: Desarrollos ITBA, Instituto Tecnológico Buenos Aires.

4-Mobility

Problem

Surface urban transport constitutes a major problem for most big cities:

- **Traffic congestions;**
- **Air pollution (health concerns and climate change);**
- **Acoustic pollution;**

Proposed solution

Background: Collaboration between Mercedes Benz Argentina and ITBA.

Objective: Convert a MB OH 1618 L-SB Diesel Bus platform to run as a H₂ fuelled series hybrid bus.

Time frame: 3- 4 years

Figura 25: Conversión bus diesel a hidrógeno, ITBA.

Los temas involucran:

- a) El desarrollo de electrolizadores, como el fabricado para la planta experimental de Pico Truncado, con presión de salida a 30 bares e incluso en otros modelos para alcanzar la presión de 900 bares. Esto evita el empleo de compresor de hidrógeno.
- b) Almacenamiento de hidrógeno en tubos, tipo bobinas, de bajo diámetro, facilitando así el empleo de altas presiones.
- c) Motores de combustión que funcionen con hidrógeno, su aplicación en ómnibus.

laboratorios y expertos a escala global entre los que nos sumamos, seguirán siendo una alternativa para el uso del hidrógeno en el transporte. Los consumos específicos en motores pueden ser del orden de un 20% mayor que los sistemas de pila de combustible. Si es necesario el uso de calefacción en el transporte, la expectativa es que el consumo puede compararse con el de pilas de combustible. Detalles de la implementación y la ubicación de los principales componentes, se brindan en las figuras 25 y 26.

Pasando al ámbito internacional, nos parece interesante citar primeramente el caso de dos países vecinos:

- Brasil - Universidad Federal de Rio de Janeiro, laboratorio H2, COPPE - está desarrollando una

versión de colectivo urbano con pila de combustible y baterías. El consumo medido se ubica en 8-9 kilogramos de H2 para cien kilómetros de recorrido. Los componentes principales y una imagen del colectivo se muestran en la figura 27. La próxima conferencia mundial de energía del hidrógeno – 22nd World Hydrogen Energy Conference (WHEC – fig. 28) – se realizará en Brasil (junio 2018), siendo el director del citado laboratorio, el chairman del evento mencionado.

- Chile desarrolló en mayo pasado su primera conferencia de hidrógeno. Con el apoyo del GIZ de Alemania, analizan el empleo del hidrógeno como combustible simultáneo en minería - esto significa disminuir el consumo de

En el caso de los motores, éstos por su alta confiabilidad, larga duración y bajo costo, para algunos

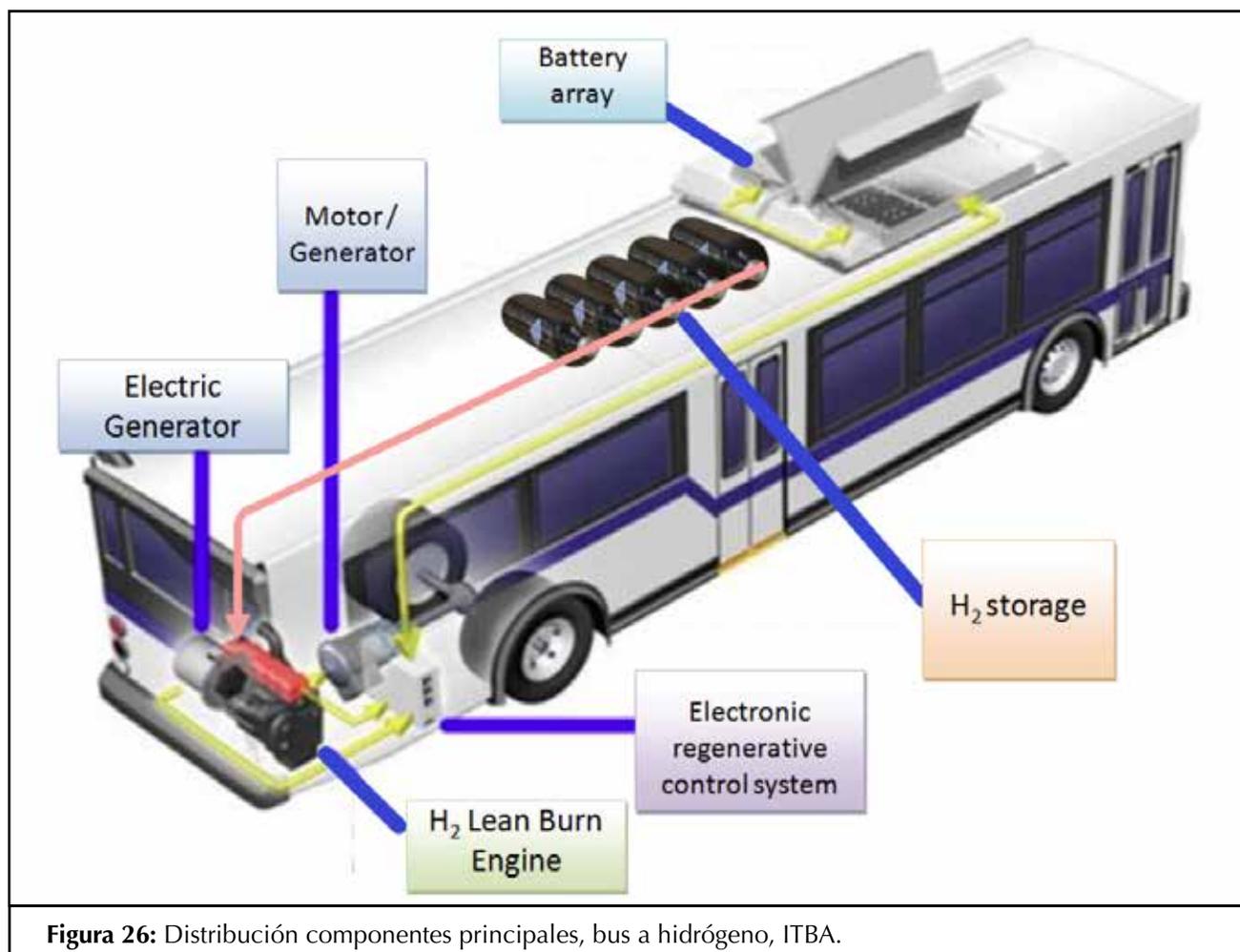


Figura 26: Distribución componentes principales, bus a hidrógeno, ITBA.



Figura 27: Desarrollo bus a hidrógeno con pila de combustible. Lab H2, Universidad Nacional de Río de Janeiro.

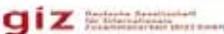


Figura 28: Anuncio Conferencia Mundial Energía de Hidrógeno, Río de Janeiro, Brasil, junio 2018.

diesel en los camiones que transportan el mineral en yacimientos de cobre y de litio, empleando motores de combustión interna con combustible dual, diesel/hidrógeno. Podrían ahorrarse unos dos mil litros de gasoil por camión y por día . (Fig. 29).

Recientemente un conjunto de empresas líderes del mundo se han unido para promover el hidrógeno como combustible. Inicialmente el grupo contó con 13 empresas, habiéndose sumado otras, importantes, a la fecha. Ésta es la primera iniciativa mundial para ayudar a cumplir los objetivos relacionados con el cambio climático.







Hidrógeno en el transporte minero chileno a partir de ERNC

| | |
|------------------------------|---|
| Proyecto | Fomento de la Energía Solar – Enfoque en CSP/CST y PV a gran escala |
| Contenido | Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear |
| País | Chile |
| Contraparte | Ministerio de Energía de Chile |
| Duración del proyecto | 2014 – 2019 |

CONTEXTO

En los últimos años, las ERNC en Chile han aumentado de manera muy importante, específicamente la eólica y la solar, pasando a constituir más del 9% de la potencia instalada en los dos sistemas interconectados del país(*). Considerando lo que se puede obtener a partir de energía solar en el centro norte de Chile (en los peaks durante el día), la que puede ser utilizada en aplicaciones industriales a gran escala, en forma directa o indirecta (energía eléctrica generada en plantas solares).

Una de estas aplicaciones es la generación de hidrógeno a partir de energía proveniente del sol o del viento, el cual se puede utilizar en transporte minero y almacenamiento energético.



SITUACIÓN MINERA, CONSUMO Y EMISIONES

La minería en su conjunto constituye uno de los sectores económicos más importantes del país, aportando actualmente en forma directa casi 12% del PIB chileno. A su vez la minería tiene un alto consumo de combustibles, 78.000 TJ de diésel anuales, de los cuales casi el 88% corresponde a consumo en transporte en la mina rajo.



USO DEL HIDRÓGENO EN MOTORES DIESEL

La introducción de hidrógeno en motores de combustión se ha estudiado por largo tiempo. Se afirma que la introducción de porcentajes de hidrógeno (entre 15%-60%) en motores de combustión diésel modificados, además, de desplazar el consumo de combustible, permite reducir emisiones (HC, CO, CO₂), siempre que se apliquen medidas de reducción de los NOx. Considerando el alto consumo de diésel en la minería, la reducción de consumo de combustible fósil en este sector económico sería muy importante, lo que a su vez significará avanzar en pos de una minería con mayor sustentabilidad.

Figura 29: Camiones para minería funcionando a hidrógeno, proyecto Chile 2017.

Trece empresas líderes, unidas para promover el hidrógeno como combustible

Importantes compañías formaron el Hydrogen Council (Consejo del Hidrógeno) para promover la utilización del hidrógeno como vector - carrier de energía. En la primera iniciativa mundial para ayudar a cumplir los objetivos relacionados con el cambio climático.



El Hydrogen Council (Consejo del Hidrógeno) tiene la determinación de posicionar el hidrógeno entre las soluciones clave en la transición hacia un sistema energético limpio y bajo en carbono.

Figura 30: Consejo Empresarial Mundial del Hidrógeno, 2017.

El Hydrogen Council, tiene la determinación de posicionar el hidrógeno entre las soluciones clave en la transición hacia un sistema energético limpio y bajo en carbono . (Fig. 30).

El sector que más interés y dedicación muestra es el del transporte. Podríamos decir que entre los países líderes en el desarrollo de vehículos impulsados por hidrógeno vía pila de combustible, se encuentran Alemania y Japón. El surgimiento muy rápido de las baterías eléctricas recargables, mayoritariamente de ion litio, en algunas opiniones pareciera desplazar al hidrógeno y las pilas de combustible. Sin embargo, especialistas como directivos de la firma

BMW de Alemania señalan claramente que la batería aporta soluciones para corto rango del vehículo y permite aprovechar la recuperación de la energía de frenado. El hidrógeno y las pilas de combustible aparecen como la solución con mejores parámetros de performance para distancias por encima de determinado rango . (Fig. 31).

La fuerte penetración de los EV (electric vehicles), vehículos eléctricos, se muestra en la figura 32. En solo cinco años se están ofreciendo unos diez modelos y marcas. En la figura 33 se muestran modelos de camiones livianos, medianos y pesados que funcionan con batería. Las formas de carga pueden ser desde

la catenaria, tipo trolebus, por inducción o por conexión eléctrica en sistemas AC o DC con rangos de potencia desde unos pocos KW, domésticos, a 300 KW para la denominada recarga rápida. Las eficiencias y costos de infraestructura son temas de análisis con costos asociados diversos. En la figura 34 se muestran colectivos urbanos eléctricos a batería. El rango que involucra a estos dos medios de transporte normalmente va desde 200 hasta 300 km.

Un concepto práctico y conveniente ha sido el denominado "Range Extender". Esto significa que con un "grupo electrógeno a bordo", basado en pila de combustible e hidrógeno, o eventualmente motor de

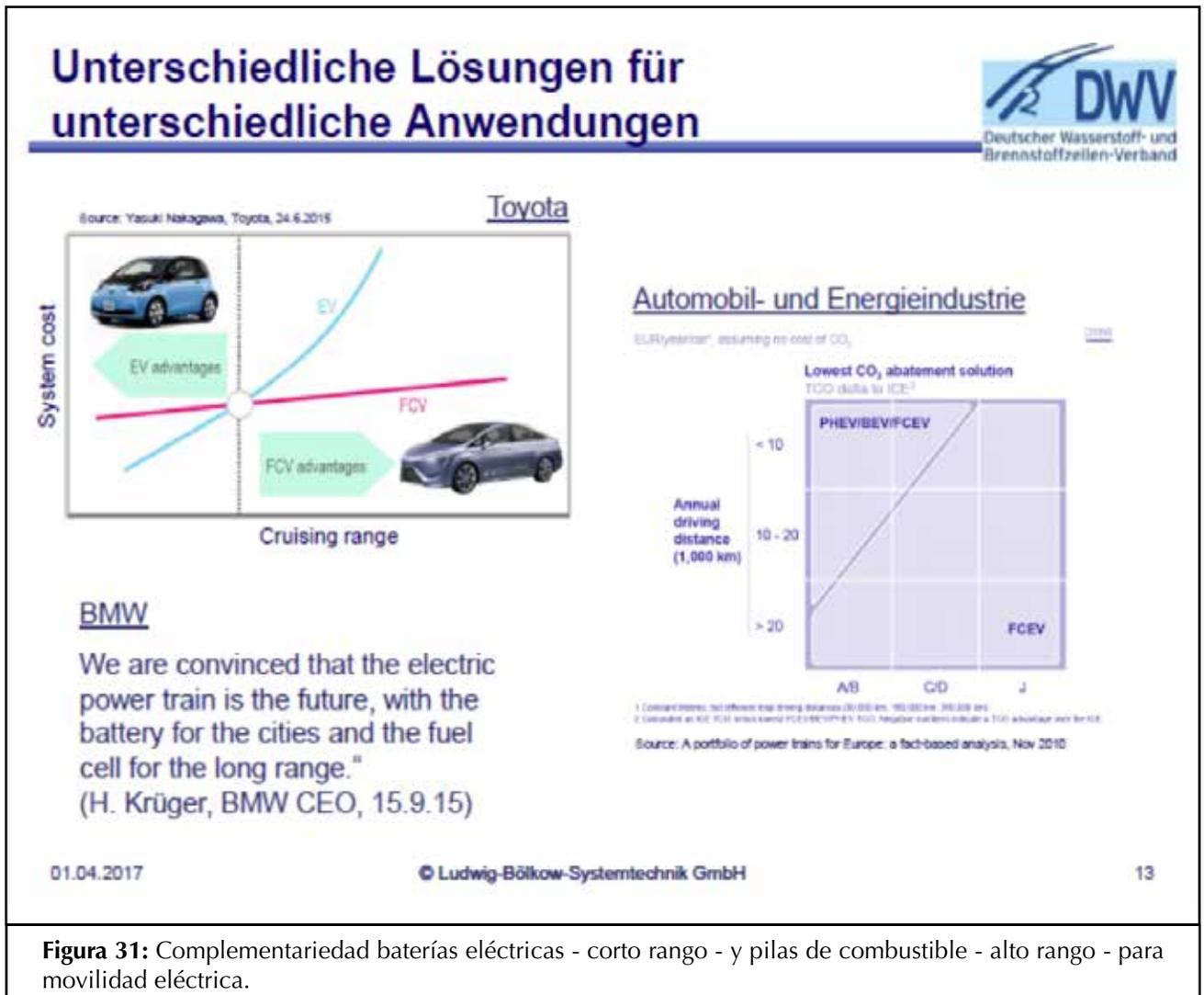


Figura 31: Complementariedad baterías eléctricas - corto rango - y pilas de combustible - alto rango - para movilidad eléctrica.



Figura 34: Buses eléctricos a batería.

combustión interna e hidrógeno, se pueden optimizar los aportes del hidrógeno con las baterías de ion litio, entre otras. Se extiende el rango posible a varios cientos de kilómetros agregando solamente mayor capacidad de almacenamiento de hidrógeno a bordo. Con H2 se consigue una recarga muy rápida y menores costos para las estaciones de servicio, como así también un mejor aporte para servicios de calefacción y aire acondicionado. El sistema brinda una ampliación de la capacidad para incorporar mayor generación eléctrica renovable a partir del sol y el viento.

Una serie de vehículos eléctricos con pila de combustible están siendo mostrados en producciones de pequeña escala y a fabricarse desde el 2020 en un rango mayor de unidades anuales – mayores a 10.000 - incluyen a fabricantes Europeos, Japoneses y Americanos . (Figs. 35 y

36). Entre los automóviles hoy en marcha, se muestran el Honda Clarity y el Toyota Mirai, con rangos de hasta 600 kilómetros, tiempos de recarga de hidrógeno de 3 minutos,

velocidades máximas sostenidas similares a los vehículos actuales . (Figs. 37, 38 y 39).



Figura 35: Extendedor de rango para colectivos mediante pilas de combustible e hidrógeno.



Figura 36: Desarrollo de vehículos eléctricos con pila de combustible.



Figura 37: Automóvil eléctrico con pila de combustible, Honda Clarity, rango 600 km, tiempo carga H2: 3 minutos.



Figura 39: Primer vehículo Japonés, Toyota Mirai (futuro) con pila de combustible e hidrógeno. Rango 600 km, tiempo de carga: 3 minutos.

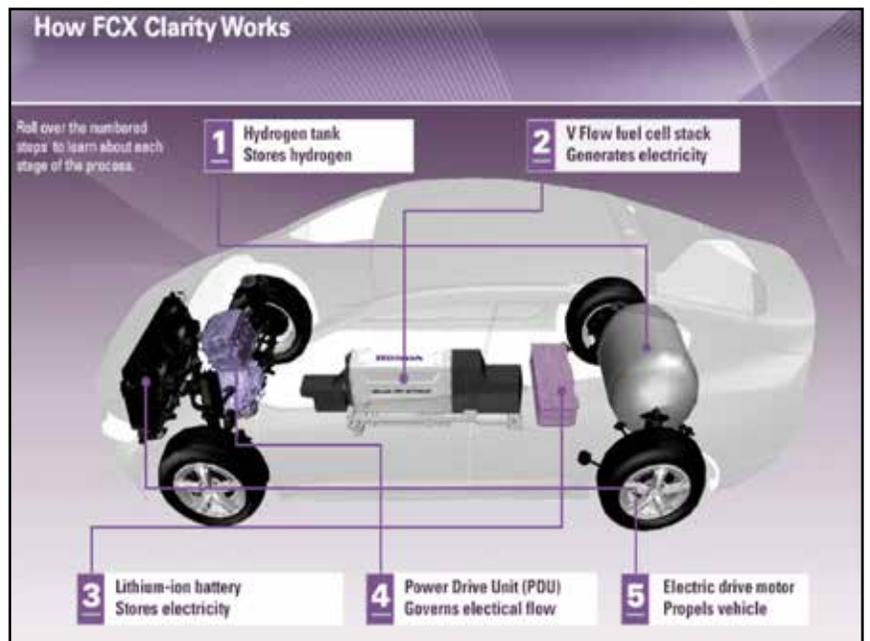


Figura 38: Distribución componentes principales Honda Clarity.

Junto con el surgimiento de la oferta de automóviles a hidrógeno, es imprescindible el establecimiento de respectivas estaciones de servi-

cio. Alemania, como país pionero en la materia, ya cuenta con cincuenta HRS (hydrogen refuelling stations) (Fig. 40) En la figura 41

se muestra - a escala Europea - ocho países que participan en el programa FCH JU – fuel cell hydrogen joint undertaking.

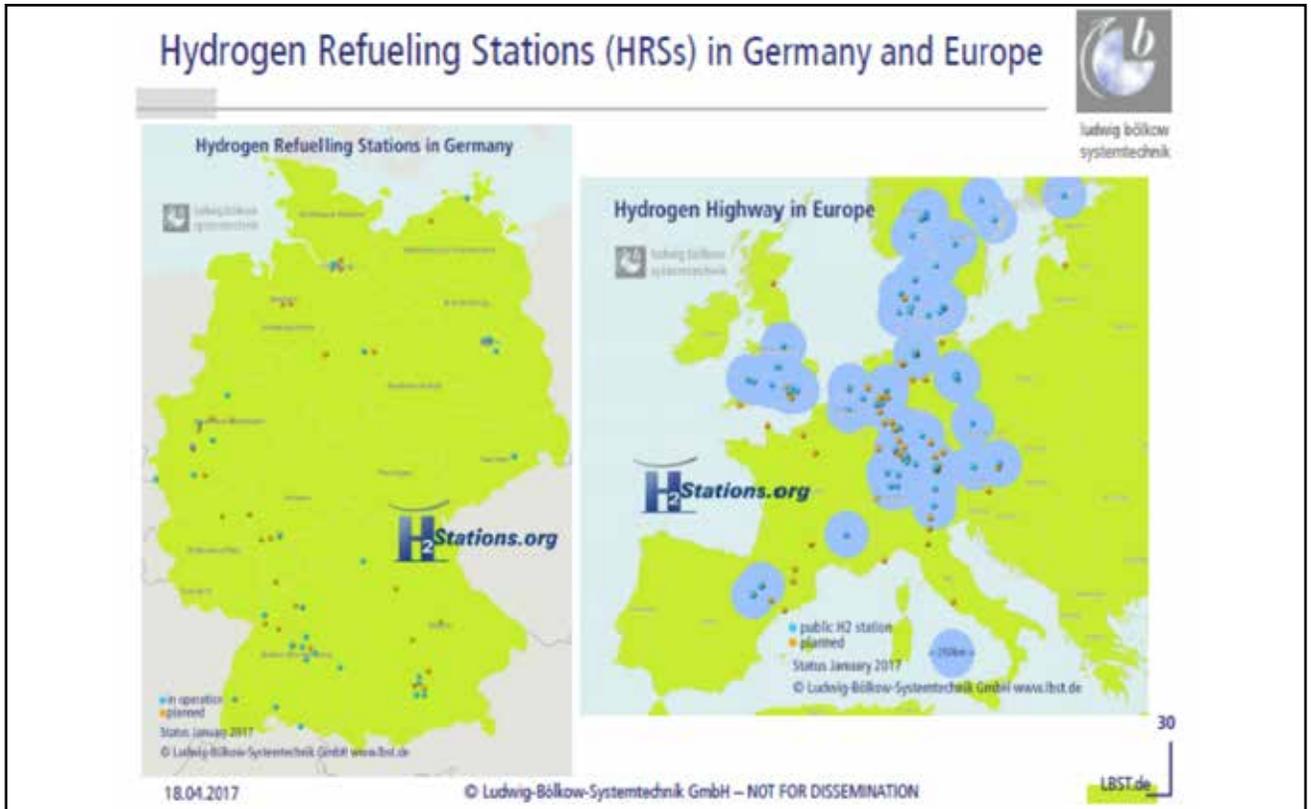


Figura 40: Cincuenta estaciones de servicio para hidrógeno, Alemania, 2017.



Figura 41: Proyectos de demostración de buses con pila de combustible e hidrógeno en Europa.

Como ejemplo de camión a hidrógeno, se muestra un Scania con rango de 500 kilómetros. (Fig. 42) También Toyota tiene su modelo (Project Portal) de 670 hp buscando mejorar el aire en adyacencia a grandes puertos, hoy con atmósfera contaminada por el uso del transporte de contenedores con camiones diesel, para los puertos de Long Beach y Los Ángeles. Esto es para tener en cuenta en el caso de Buenos Aires.



Figura 42: Camión Scania a hidrógeno, pila de combustible.



Figura 43: Estación de servicio, despacho multi-combustible, Frankfurt, Alemania - alimentación H2 por ducto.

Otra firma Americana, Nikola, ha presentado su modelo de camión a hidrógeno con pila de combustible, junto al anuncio de construir más de 300 estaciones de servicio

para asegurar la recarga de combustible en estos camiones.

Estaciones de servicio tipo y en operación en las ciudades de

Frankfurt, Munich, Berlin & Hamburgo en Alemania, en Long Beach & Torrance, California, USA, y en Tokio, se muestran en las figuras 43, 44, 45 y 46.



Figura 44: Estaciones de servicio para H2 en varias ciudades de Alemania.



Figura 45: Estaciones de servicio para H2 en Torrance y Long Beach, California.

A modo de balance, en la figura 47 publicado por la DWV - Deutsche Wasserstoff Verband, Asociación Alemana del Hidrógeno – se muestran las metas de instalación en seis

países Europeos, California, Corea del Sur y Japón. En conjunto hacia el año 2025 debieran encontrarse instaladas cerca de un mil quinientas estaciones de servicio para carga

de hidrógeno.

A fin de mostrar el enorme potencial del hidrógeno, se exponen algunos usos tales como:



Figura 46: Tres estaciones de servicio para H2 en Japón.



Figura 47: Programa nueve países para instalación estaciones de servicio hidrógeno hasta 2025.



Christening ceremony of the first AIP submarine at HDW in Kiel

Figura 48: Submarino Alemán a hidrógeno y pilas de combustible. Todo eléctrico y silencioso.

- Submarino, origen Alemán, que emplea H₂ almacenado en forma de hidruros y pilas de combustible para la generación eléctrica . (Fig. 48)
- Autoelevadores empleados en la cadena de supermercados Walmart, Estados Unidos, en sustitución de los forklift a baterías, para el movimiento de productos alimenticios . (Fig. 49).
- Aplicación en transporte de pasajeros por ferrocarril, tranvías y trenes eléctricos, con un primer anuncio en China, seguido recientemente por otro en Alemania. Se trata en una primera etapa de trenes de mediano porte que utilizan pilas de combustible e hidrógeno . (Fig. 50)
- Usos en cohetes, vectores, para poner satélites y naves espaciales en órbita. Acá se usa hidrógeno líquido criogénico, por brindar



Figura 49: Auto-elevadores a hidrógeno con pila de combustible, movimiento de alimentos en supermercados.

la mayor energía por unidad de masa. Caso de los cohetes Saturno de la NASA, USA, décadas del 1970-1980 . (Fig. 51).

- Tomando parte de la experiencia anterior, algunos países - entre los que se incluye Rusia - contemplan a futuro el uso del hidrógeno en la aviación aero-comer-

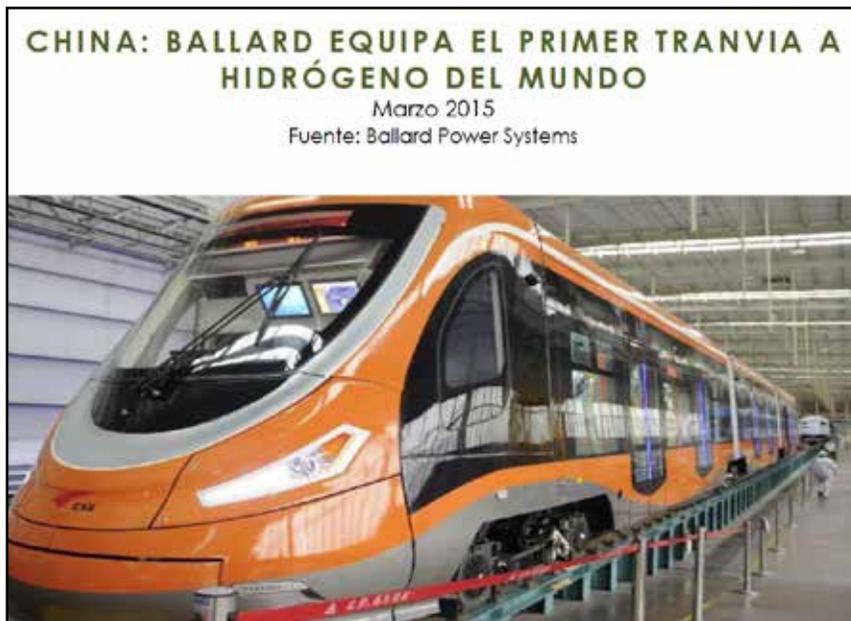
cial. La mayor densidad másica del hidrógeno, unas tres veces superior al combustible actual, facilitaría y ahorraría combustible en aeronaves subsónicas con capacidad para 800 pasajeros, y también se proyecta a aviones de pasajeros supersónicos . (Fig. 52)

Finalmente, se presentan las conclusiones de esta presentación:

■ **CONCLUSIONES 1**

Tres décadas de actividades en I + D / académicas. Planta experimental de H2 Pico Truncado.

- Políticas de estado, establecimiento de leyes para promoción de



CHINA: BALLARD EQUIPA EL PRIMER TRANVIA A HIDRÓGENO DEL MUNDO

Marzo 2015

Fuente: Ballard Power Systems

Figura 50: Tranvía a hidrógeno con pila de combustible, China 2015.



Figura 51: Histórico cohete Saturno a hidrógeno, década del 70, NASA - USA.



Figura 52: Futura aviación comercial a hidrógeno subsónico con muy alta capacidad de pasajeros. Supersónico con velocidades proyectadas hasta Mach 4.

energías renovables, generación distribuida, hidrógeno.

- Programa nacional Renovar, 2400 MWatt – 2016, ofertas por más de 6000 MWatt – proyección 2020 de 10.000 MWatt.

- Importante meta: reducción emisiones GEI (gases de efecto invernadero).

- Creación empresa Argentina con planta eólica-hidrógeno integral, Hychico, compromiso ambiental.

- Conferencias mundiales WHEC:

1998 Argentina - 2008 Australia - 2018 Brasil - 2028 Chile ?

- AAH - Argentina - colaboraciones y convenios con Canadá, Alemania DWV y Japón HESS.

- Promoción IAHE y fortalecimiento de acciones regionales.

- Propuesta proyectos de inversión en hidrógeno, Argentina – Brasil - Chile. Ejemplo: transporte público de pasajeros.

■ **CONCLUSIONES 2**

“EL CAMBIO CLIMÁTICO – UN DESAFÍO MUNDIAL”

de Alieto Aldo Guadagni y Miguel Angel Cuervo

La acumulación de gases contaminantes afecta el clima de tal manera que cada año es más caluroso que el anterior. Además, se registran impactos negativos en todos los continentes que ponen en riesgo el suministro de agua y alimentos, el medio ambiente y la salud. Si no

modificamos el patrón de consumo energético con nuevas energías limpias, el clima continuará deteriorándose. Pero la buena noticia es que es tecnológicamente posible un nuevo modelo energético que acompañe el crecimiento económico sin perjudicar nuestro ambiente.