

Potencialidades del hidrógeno como vector de energía en Iberoamérica

Miguel A. Laborde y Eduardo A. Lombardo (Argentina)
Fábio Bellot Noronha y Jaime Soares Boaventura Filho (Brasil)
José Luis García Fierro y María Pilar González Marcos (España)



Programa CYTED

Se define como un programa intergubernamental de cooperación multilateral en ciencia y tecnología, que contempla diferentes perspectivas y visiones para fomentar la cooperación en Investigación e Innovación para el desarrollo de la región iberoamericana.

Tiene como objetivo principal contribuir al desarrollo armónico de la región iberoamericana mediante el establecimiento de mecanismos de cooperación entre grupos de investigación de las universidades, centros de I+D y empresas innovadoras de los países iberoamericanos, que pretenden la consecución de resultados científicos y tecnológicos transferibles a los sistemas productivos y a las políticas sociales.

Es un instrumento común de los sistemas de ciencia y tecnología nacionales de la región iberoamericana, generando una plataforma que promueve y da soporte a la cooperación multilateral orientada a la transferencia de conocimientos, experiencias, información, resultados y tecnologías.

CYTED promueve la investigación e innovación como herramientas esenciales para el desarrollo tecnológico y social, así como para la modernización productiva y el aumento de la competitividad para el desarrollo económico.

Secretaría General Programa CYTED
C/ Amanuel, 4
28015 Madrid, España

Ediciones CYTED
Editores: Miguel Ángel Laborde y Fernando Rubiera González
Edición: 2010
ISBN: 978-987-26261-1-2

Diseño: www.labordecomunicacion.com.ar
Impreso en Argentina / Printed in Argentina
Fotocomposición, impresión y encuadernación:
WorldPress Gráfica Digital
Santa Fe 3312 9º Piso, Buenos Aires, Argentina

Prólogo

La Red de Hidrógeno CYTED reúne a más de 200 investigadores de los siguientes países iberoamericanos: Argentina, Bolivia, Brasil, Costa Rica, Colombia, Cuba, Chile, España, México, Portugal y Venezuela. Sus objetivos generales son:

1. Brindar un espacio a la comunidad iberoamericana en donde analizar y discutir los avances relacionados con las tecnologías actuales y futuras de producción de hidrógeno, con particular énfasis en las materias primas y procesos, como así también analizar los avances vinculados al almacenamiento, transporte y seguridad.
2. Articular las potencialidades de los grupos de I+D iberoamericanos dedicados al estudio de nuevos procesos de producción y purificación de hidrógeno, y al desarrollo de nuevos materiales para el almacenamiento y transporte.
3. Vincular a estos grupos de I+D con el sector productivo y con los organismos estatales, con el propósito de establecer herramientas que permitan encontrar soluciones a problemas técnicos, aumentar la capacidad y potenciar el desarrollo de sus miembros, y contribuir progresivamente al desarrollo tecnológico propio en los países iberoamericanos.
4. Realizar acciones de capacitación y formación de recursos humanos que contribuyan a la adecuada preparación de los especialistas iberoamericanos para la asimilación y transferencia de tecnología minimizando los riesgos tecnológicos, ambientales, energéticos y financieros.

Dentro de este marco surgió la idea de escribir este documento destinado fundamentalmente a los administradores y gestores de I+D en Ibero América. Se trata aquí de suministrar en forma concisa y precisa información de carácter universal analizada críticamente con el fin de asistir a los planificadores del área de energía en la gestación de programas de I+D.

Índice

Capítulo 1:	7	Anexos	61
Introducción y objetivos	7	<i>Anexo I. Proyectos de Investigación en los que han participado Organizaciones, Empresas o Grupos de Investigación Españoles financiados en el 6º y 7º Programa Marco de la Unión Europea</i>	61
<i>1.1 Problemática energética y ambiental</i>	7	<i>Anexo II: Empresas Españolas que realizan desarrollos relacionados con las tecnologías del Hidrógeno y Celdas de Combustible</i>	65
<i>1.2 Hidrógeno</i>	8	<i>Anexo III: Centros de Investigación Españoles en los que se desarrollan actividades de I+D relacionadas con las tecnologías del Hidrógeno y Celdas de Combustible</i>	71
<i>1.3 Celdas de combustible</i>	9	<i>Anexo IV. Grupos de Investigación en España que desarrollan su actividad en temas relacionados con las tecnologías de hidrógeno y celdas de combustible</i>	75
<i>1.4 Objetivo de este documento</i>	10	<i>Anexo VII. Identificador de siglas no identificadas en los anexos previos</i>	79
Referencias	10		
Capítulo 2:	11		
Situación en el mundo	11		
<i>2.1. Estados Unidos</i>	11		
<i>2.2. Japón</i>	15		
<i>2.3. Europa</i>	18		
Referencias	24		
Capítulo 3	25		
Estado de la tecnología:	25		
Oportunidades de investigación y desarrollo	25		
<i>3.2. Nuevas tecnologías para la producción de H₂</i>	26		
<i>3.3. Oportunidades de R&D en la producción, purificación y uso del hidrógeno</i>	28		
Referencias	29		
Capítulo 4	30		
Situación en Iberoamérica	30		
<i>4.1. Situación actual y perspectivas del hidrógeno en España</i>	30		
Referencias	32		
<i>4.2. Hidrogeno como vector de energía en Brasil</i>	33		
Referencias	41		
<i>4.3. Situación actual y perspectivas del hidrógeno en Argentina</i>	41		
Referencias	46		
Capítulo 5. Matriz DAFO en Iberoamérica	47		
<i>5.1. Matriz DAFO en España</i>	47		
<i>5.2. Matriz DAFO en Brasil</i>	51		
<i>5.3. Matriz DAFO en Argentina</i>	54		
Capítulo 6:	59		
Conclusiones			

Capítulo I:

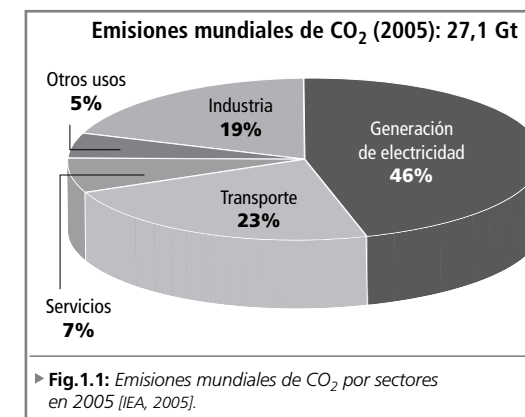
Introducción y objetivos

1.1 Problemática energética y ambiental

El uso continuado de los combustibles fósiles genera cantidades masivas de CO_2 durante el proceso de combustión, que se emiten directamente a la atmósfera. Conforme a las estimaciones de la Agencia Internacional de la Energía, las emisiones totales de CO_2 en 2005 alcanzaron 27,1 Gt [IEA, 2005]. La generación de electricidad contribuyó con el 46%, seguida del transporte con 23%, la industria con 19%, los servicios con 7% y otros usos con 5%, como se muestra en la Figura 1.1. Una buena parte de esta cantidad de CO_2 es absorbida por los océanos, otra parte la consumen las plantas, pero aún queda otra parte que se acumula en la atmósfera. Este proceso de acumulación de CO_2 , así como de otros contaminantes gaseosos, en la atmósfera y continuado a lo largo de décadas, es responsable del efecto invernadero.

Para tener una idea de la magnitud del problema y de su proyección futura, basta con examinar el crecimiento experimentado por el parque automovilístico mundial. Así, mientras la población humana se ha duplicado desde 1950, el número de automóviles se ha multiplicado por siete. En los países desarrollados, la velocidad de crecimiento del parque automovilístico se espera que se estabilice en alrededor del 1% por año; en cambio, en países emergentes, este crecimiento es exponencial. Las estimaciones indican que entre 1990 y 2010 el parque automovilístico de China se habrá incrementado noventa veces, mientras que el de India se habrá multiplicado por 35. Como promedio, cabe esperar que el parque mundial de automóviles se duplique en los próximos 20 años [CEPE, 2007].

La cuestión inmediata que se plantea es cómo se pueden mitigar los efectos contaminantes resultantes del incremento progresivo del tráfico rodado. Las emisiones presentes en los escapes de los motores, tales como hidrocarburos no quemados (HC), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO_x), son las responsables de problemas de contaminación localizados. En los últimos años, los constructores de automóviles han ido incorporando convertidores catalíticos postcombustión, con el objetivo de reducir las emisiones contaminantes localizadas.



Estos dispositivos catalíticos, denominados de tres vías (TWC, "three way catalysts"), son muy eficientes en cuanto que eliminan el 90-95% de las emisiones de CO, NO_x y HC [Shinjoh, 2009]. La emisión más importante es la del dióxido de carbono (CO_2), aún no regulada, pero se espera incidir sobre ella a medio plazo debido a su implicación en el efecto invernadero global en la atmósfera. Puesto que el uso masivo de los combustibles fósiles no va a

desaparecer a corto-medio plazo, resulta imperativo el desarrollo de técnicas que permitan reducir las emisiones de CO_2 a la atmósfera hasta que las energías renovables se implanten de forma extensiva en el sistema energético. Otra forma simple de reducción de las emisiones de CO_2 producidas por el tráfico rodado es aumentar la eficiencia de los motores desde sus niveles actuales de 20-25%, mediante la mejora de los diseños de los motores de combustión y la estructura del propio vehículo.

No sólo el transporte, sino también la generación de electricidad, la industria y los servicios van a demandar cada vez más recursos energéticos. Pero, ante una disminución progresiva de las reservas energéticas probadas de origen fósil, se hace imprescindible la exploración de otras alternativas. Una de las posibilidades, ampliamente defendida por la comunidad científica, es la energía del hidrógeno. De hecho, ya se acuñó el término de "economía del hidrógeno", que vendría a reemplazar a la actual "economía de los combustibles fósiles". Esto supondría que en el futuro el desarrollo tecnológico residiría sobre el hidrógeno y no sobre los combustibles fósiles tal como ocurre en la actualidad.

Estados Unidos, Japón y la Unión Europea apuestan firmemente por un desarrollo social y tecnológico basado en la energía del hidrógeno, teniendo en cuenta las razones siguientes:

Reducción de la dependencia energética. El hidrógeno no es una fuente de energía, sino un portador de la misma (un vector energético), como la electricidad o la gasolina. Puesto que el hidrógeno no se encuentra prácticamente en estado libre sino combinado formando agua, biomasa y petróleo, debe obtenerse necesariamente a partir de fuentes de energía primaria. Las fuentes de energía primaria son muy variadas, entre las que se pueden mencionar las no renovables como: carbón, petróleo, gas natural y energía nuclear; y las energías renovables. Las energías no renovables presentan una distribución geográfica no homogénea, de forma que su disponibilidad y distribución no están totalmente garantizadas. Solamente unos pocos países son los que poseen las reservas de petróleo, gas natural y minerales de uranio, mientras que los grandes consumidores apenas disponen de estos recursos.

Elevada eficiencia energética. La energía química del hidrógeno almacenada en el enlace H-H puede convertirse directamente en electricidad, sin necesidad de emplear un ciclo termodinámico intermedio, lo que representa una gran ventaja frente a la limitación del factor de Carnot. Esta transformación directa se lleva a cabo en las celdas de combustible, que si bien no son la única forma de aprovechar el hidrógeno, poseen la ventaja de alcanzar eficiencias muy superiores a las de los motores de combustión interna.

Ausencia de emisiones de CO_2 . El hidrógeno, como portador de energía, permite llevar al transporte energías limpias hasta ahora impensables, como la solar y la eólica. También puede hacer lo mismo con otras energías renovables y la nuclear que tampoco emiten CO_2 . De esta manera, sería posible eliminar las emisiones de CO_2 en el transporte, responsable en la actualidad del 23% de las mismas.

1.2 Hidrógeno

Como se ha indicado, el hidrógeno no es un recurso energético, sino que debe producirse a partir de diversas fuentes de energía mediante distintas tecnologías. En todos los procesos de producción se debe tener en cuenta tanto el balance económico como el energético, puesto que pueden ensombrecer considerablemente la elevada eficiencia de conversión de los dis-

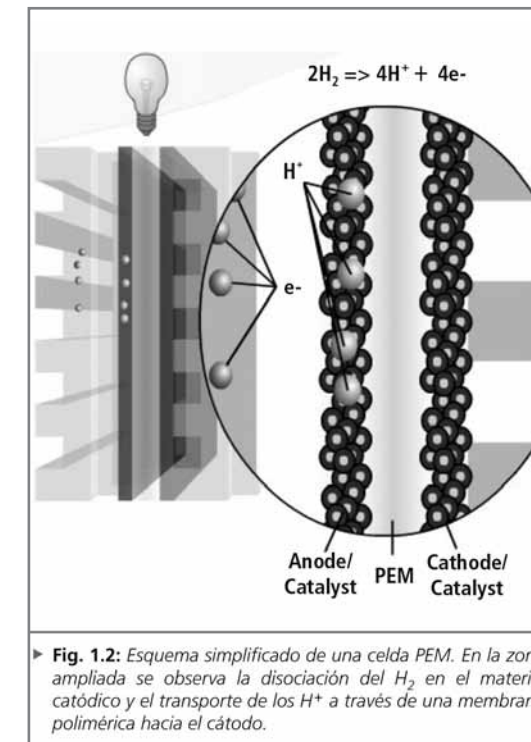
positivos de uso final. Por otra parte, puesto que el hidrógeno se almacena con dificultad, los costes de almacenamiento se deben incluir en el balance global. Por último, como combustible que es, el hidrógeno está sujeto a una normativa de seguridad para su correcta manipulación. El hidrógeno es el carburante ideal, ya que durante la oxidación solamente se produce calor y vapor de agua. Por tanto, se trata de una energía limpia. Además, cuando la energía almacenada en el enlace H-H de la molécula de hidrógeno se libera en forma de electricidad mediante las celdas de combustible, la eficiencia energética del proceso resulta muy superior a la de la combustión [UK Report, 2006]. Ambos factores indican que la tecnología de las celdas de combustible permitirá desarrollar la economía del hidrógeno al mismo tiempo que ofrece el potencial de revolucionar el modelo energético.

1.3 Celdas de combustible

Las celdas de combustible (CCs) son generadores electroquímicos que convierten la energía química almacenada en enlaces químicos (H_2 , metano, metanol, hidrocarburos) en electricidad y calor. Si bien el concepto de celda de combustible data de la mitad del siglo XIX, es en la última década cuando se lleva a cabo una actividad intensa con el objetivo de incrementar la flexibilidad de generación de electricidad y de proporcionar sistemas simples y eficientes de generación de electricidad distribuida [IEA, 2005; CEPE, 2007].

Uno de los factores que más ha favorecido el desarrollo de las CCs ha sido el impacto ambiental que tienen los combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica y en la

automoción. Este tipo de generadores puede ayudar a reducir la dependencia de los combustibles fósiles y a disminuir las emisiones contaminantes a la atmósfera en cuanto que las CCs tienen eficiencias eléctricas más elevadas que los motores térmicos convencionales. Estos dispositivos son pilas galvánicas en las que la energía libre de la reacción química se convierte en electricidad. La estructura básica de las CCs es muy similar: consiste de dos electrodos, separados por un electrolito, y conectados en un circuito externo. Un esquema simplificado de una CC de electrolito polimérico se representa en la Figura 1.2. Los electrodos están expuestos a las corrientes gaseosas o líquidas con el objetivo de suministrar el combustible y el oxidante de



► Fig. 1.2: Esquema simplificado de una celda PEM. En la zona ampliada se observa la disociación del H_2 en el material catódico y el transporte de los H^+ a través de una membrana polimérica hacia el cátodo.

forma efectiva (p. ej. hidrógeno y aire). Una condición indispensable de los electrodos es que sean permeables a los gases y líquidos, por lo que deben ser de naturaleza porosa. Esta particularidad exige la optimización de la estructura del electrodo para cualquier aplicación práctica. Además, el electrolito debe ser lo más impermeable posible a los gases y líquidos. En las CCs de electrolito polimérico (PEMFC) el hidrógeno se oxida en el ánodo y los protones resultantes de la oxidación se transportan a través de la membrana polimérica hacia el cátodo, donde reacciona con el oxígeno formando agua.

Para comparar las CCs con otros sistemas de transformación de energía, como los motores de combustión interna, debe realizarse un análisis de la eficiencia de cada uno de los procesos. Un motor de combustión convierte la energía química en mecánica, que a su vez puede transformarse en energía eléctrica mediante un generador giratorio. La combustión de un hidrocarburo va acompañada por un aumento de la temperatura, debido a que las reacciones de combustión son muy exotérmicas y los productos de la reacción son gases. El aumento de calor produce la expansión de los gases de combustión, que puede producir un trabajo mecánico mediante el movimiento de los pistones en el interior de los cilindros donde tiene lugar la combustión. La eficiencia máxima de este sistema viene dada por la eficiencia de Carnot. Así, en los motores Diésel estas eficiencias son próximas al 25%, y superiores (ca. 50%) para los sistemas más eficientes, p. ej. las turbinas de vapor.

En una CC, que no está sometida al ciclo de Carnot, idealmente la energía libre de la reacción puede convertirse completamente en electricidad. En la práctica, sin embargo, los sobrepotenciales de electrodo determinan eficiencias inferiores al 100% [UK Report, 2006]. Se debe tener en cuenta también que las reacciones electroquímicas mencionadas son exotérmicas, por lo que la utilización conjunta de electricidad y calor (cogeneración) resulta en una eficiencia neta superior. El concepto de cogeneración resulta particularmente atractivo, en términos energéticos, para las aplicaciones estacionarias, como en áreas residenciales, donde el calor (calefacción, agua sanitaria) y la electricidad se aprovechan simultáneamente.

1.4 Objetivo de este documento

El objetivo de este documento es ofrecer un panorama del hidrógeno como vector de energía y analizar, con el mayor rigor científico posible, las fortalezas, las debilidades, las oportunidades y las amenazas que conlleva la aplicación en la región de las nuevas tecnologías asociadas al hidrógeno. Fue elaborado por científicos miembros de la Red pertenecientes a los tres países iberoamericanos que más atención le han prestado al hidrógeno hasta el presente: España, Brasil y Argentina, en ese orden. Los autores anhelan que este documento sea un material de consulta de los funcionarios de gobierno a la hora de la toma de decisiones en el sector energético y medio ambiental.

Referencias

World Energy Outlook, International Energy Agency, 2005.

Foro Mundial para la Armonización de los Reglamentos sobre Vehículos (CEPE - WP.29), documento GRPE-58-02, 2007.

Shinjoh, H., Catal. Surv. Asia, 13 (2009) 184-190.

UK Carbon Reduction Potential from Technologies in the Transport Sector, London, May 2006.

Capítulo 2:

Situación en el mundo

Con el propósito de emplearlos como marco de referencia, en este capítulo se describen los avances alcanzados en las tres regiones del mundo que lideran, a criterio de los autores, los desarrollos tecnológicos asociados al uso del hidrógeno como combustible: Estados Unidos, Japón y Europa.

2.1. Estados Unidos

2.1.1. Conocimiento científico

Por su liderazgo científico-tecnológico, Estados Unidos dispone del conocimiento más profundo y de los mayores logros alcanzados en la tecnología del hidrógeno y las celdas de combustible. En la última década el Departamento de Energía (DoE) ha puesto en marcha el Programa de Celdas de Combustible cuyo objetivo es sobrepasar los obstáculos tecnológicos, económicos e institucionales de forma que se alcance la comercialización de las Celdas de Combustible y otras tecnologías relacionadas. El Programa incluye un equipo amplio de socios académicos, industriales, instituciones y laboratorios nacionales. Además, el Programa se coordina con otros programas en cuatro departamentos dependientes del DoE (Energy Efficiency and Renewable Energy, Science, Fossil Energy, and Nuclear Energy). Después del fuerte impulso dado en 2004 a la investigación y desarrollo en hidrógeno y celdas de combustible, el DoE ha conseguido logros importantes, entre los cuales se destacan:

Reducción de costes de producción de hidrógeno tanto de gas natural como de precursores renovables. Mediante la tecnología de reformado de gas natural se alcanza un coste de fabricación competitivo con la gasolina.

Identificación de nuevos materiales que ofrecen una mejora del 50% en la capacidad de almacenamiento de hidrógeno en automóviles

Validación de las tecnologías del hidrógeno con la incorporación de 140 vehículos equipados con celdas de combustible y despliegue de 20 estaciones con surtidores de hidrógeno.

El Programa tiene una estrategia sencilla que incorpora una aproximación tecnológica con recursos muy focalizados en tecnologías y aplicaciones muy concretas. El Programa persigue el avance de las tecnologías del hidrógeno y celdas de combustible para una gama amplia de aplicaciones, soportando la investigación común a distintas aplicaciones tecnológicas. Los objetivos y los hitos en todas las actuaciones de I+D se desarrollan mediante consulta con expertos de la industria y de la comunidad científica, y las actividades del Programa se seleccionan en base a su capacidad para progresar hacia los hitos definidos. El Programa tiene por objetivo lograr avances técnicos mediante integración de

investigación básica y aplicada, desarrollo de tecnología y validación y demostración de la propia tecnología. La interconexión y retroalimentación en estas áreas ha permitido al Programa identificar más rápidamente los retos para hacer más efectiva la asignación de recursos de I+D.

2.1.2. Proyectos

Con el objetivo de alcanzar la comercialización de las tecnologías del hidrógeno y las Celdas de Combustible el Programa de las Tecnologías de las Celdas de Combustible desarrolla los siguientes proyectos:

Actividades de I+D en producción de hidrógeno. El Programa está desarrollando métodos de producción y suministro de H₂ de bajo coste. El objetivo último es la producción y distribución del H₂ para diferentes aplicaciones domésticas desde una escala grande (producción descentralizada) hasta escala muy pequeña (producción distribuida) dependiendo de la forma que resulte logística y económicamente más atractiva para cada localización geográfica. El objetivo de todas las vías de exploración/distribución consiste en reducir el coste del hidrógeno a 2-3 \$ por galón equivalente de gasolina (gge).

Actividades de I+D en almacenamiento de hidrógeno. Otro objetivo del Programa es el desarrollo de sistemas de almacenamiento de hidrógeno más compactos, con una capacidad de almacenamiento superior, y menos costosos que los convencionales. Tales sistemas deben permitir una autonomía vehicular de 300 millas para todos los automóviles ligeros (4-5 pasajeros) sin límites en el espacio interior ni tampoco con aumento del coste. Estos esfuerzos pretenden desarrollar materiales avanzados con un potencial elevado de almacenamiento de H₂ a presiones bajas y temperaturas próximas a la ambiente al mismo tiempo que sean ligeros y ocupen un volumen reducido.

Actividades de I+D en fabricación. Este esfuerzo está orientado a los procesos y tecnologías de desarrollo y fabricación de elementos que reduzcan los costes de manufactura tanto de las propias Celdas de Combustible como de los sistemas de producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno, al mismo tiempo que se asegure la calidad y seguridad. Estos procesos de bajo coste son instrumentos críticos que necesita la industria para producir hidrógeno y componentes para las Celdas de Combustible y así proporcionar un sistema base de equipamiento doméstico.

Validación tecnológica. El Programa lleva a cabo actividades de validación tecnológica para fijar y validar los resultados del esfuerzo en I+D, p.ej. demostración de fuentes estacionarias de energía, vehículos e infraestructuras de hidrógeno.

Seguridad y estándares. El Programa examina igualmente los requerimientos de seguridad en la producción y distribución del H₂ que son vitales para definir un entorno receptivo del mercado.

Educación. Otro objetivo del Programa consiste en la identificación de las barreras de conocimiento que impidan la aceptación de las tecnologías del hidrógeno. Resulta primordial sobrepasar estas barreras de forma que se puedan implementar con éxito

los proyectos de demostración de hidrógeno a corto plazo, las primeras instalaciones comerciales de celdas de combustible así como la adopción y aceptación a largo plazo que son requeridas para alcanzar el beneficio total de las tecnologías del hidrógeno y las Celdas de Combustible.

Transformación del mercado. Para asegurarse de los beneficios de estos esfuerzos, el Programa lleva a cabo actividades que fomentan el crecimiento del Mercado de las Celdas de Combustible, particularmente en las áreas de copia/ almacenamiento de datos y equipos elevadores. El crecimiento del mercado inicial ayudará a reducir los costes permitiendo la economía de escala que resultará en mayores oportunidades del mercado de las Celdas de Combustible. La mayor parte de los esfuerzos del Programa se han focalizado en esta área hacia la adopción inicial de las Celdas de Combustible mediante apoyo técnico y financiero.

Análisis de sistemas. El Programa desarrolla actividades para asegurar que los esfuerzos puestos en marcha se canalicen por el camino correcto. Estas actividades implican análisis detallados del ciclo de vida extensivos, análisis de emisiones e impacto ambiental que permitan un conocimiento detallado de los factores principales implicados en los sistemas de hidrógeno y Celdas de Combustible. Algunos factores específicos incluyen: los impactos de varias opciones tecnológicas (aspectos energéticos y ambientales "well-to-wheel"), recursos e impactos, coste de elementos, costes clave y huecos tecnológicos, medios alternativos para alcanzar los objetivos del Programa, y beneficios económicos relacionados con la energía.

2.1.3. Financiación del programa

La magnitud de las fuentes de financiación en Estados Unidos de los distintos programas dan una idea bastante aproximada de la apuesta en I+D en los distintos programas de energía. Los datos proporcionados por Hydrogen Program Overview del DoE de 2009 y de 2010 [DoE 2009, DoE 2010], se resumen en la Tabla 2.1 en la que se recopila la financiación de las áreas de hidrógeno/celdas de combustible, energías fósiles, energía nuclear y ciencia básica. También se recopilan las financiaciones totales administradas por el DoE y por el Departamento de Transporte durante el período 2005-2010. A partir de estos datos se puede concluir que el soporte técnico y de recursos humanos en el área de hidrógeno/celdas de combustible crece en el período 2005-2008, se estanca en 2009 y disminuye ca. 10% en 2010.

Cabe señalar el hecho de que el grueso de la financiación del Programa hidrógeno /celdas de combustible en 2009 (59.2 M\$) se orientó hacia las actividades de I+D en almacenamiento, con tan solo la sexta parte (10 M\$) hacia las actividades de I+D en producción y distribución. Resulta significativo el hecho de que el esfuerzo en I+D canalizado hacia el desarrollo de componentes para las Celdas de Combustible superó ligeramente (62.7 M\$) al de almacenamiento de H₂.

La distribución del presupuesto se ha hecho en varios bloques (Figura 2.1): (i), laboratorios nacionales; (ii), sector industrial; (iii), Universidades; y (iv), administración. El presupuesto asignado al Programa conjunto del DoE y del Departamento de Transporte en 2008 alcanzó 279.1M\$, con un peso mayor de los proyectos desarrollados en los Laboratorios Nacionales y en la industria y bastante más reducidos en las Universidades. Esta distribu-

	Financiación en Miles de \$						
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011*
H ₂ y FCs	166.772	153.451	189.511	206.241	200.449	174.000	137.000
Energías Fósiles	16.518	21.036	21.513	24.088	25.000	26.400	12.000
Energía Nuclear	8.682	24.057	18.855	9.668	7.500	5.000	TBD*
Ciencia Básica	29.183	32.500	36.388	36.509	36.509	38.284	38.000
Total DoE	221.155	231.044	266.267	276.506	269.458	243.684	TBD*
Dto. Transporte	549	1.411	1.420	1.425	1.800	1.800	TBD*
TOTAL	221.704	232.455	267.687	277.931	271.258	122.922	-

* En gestión. TBD a ser determinado.

► **Tabla 2.1:** Financiación de las distintas áreas incluidas en el Programa de Hidrógeno y Celdas de Combustible.

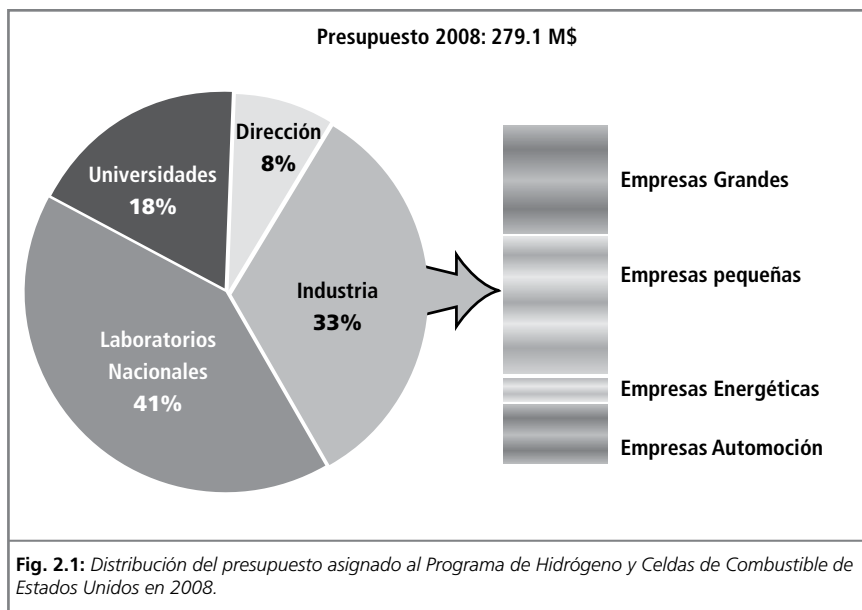


Fig. 2.1: Distribución del presupuesto asignado al Programa de Hidrógeno y Celdas de Combustible de Estados Unidos en 2008.

ción da una idea del impulso que se ha dado a los proyectos de envergadura y al desarrollo del sector industrial relacionado con estas tecnologías. Si además se desglosan los proyectos industriales resulta evidente que se ha dedicado un apoyo importante a las empresas, especialmente a las pequeñas, y mucho menor a las empresas relacionadas con la energía.

Referencias

Hydrogen Program Overview, 2009 DoE Hydrogen Program and Vehicle Technologies Program, Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting, May 18, 2009.

Hydrogen Program Overview, 2010 DoE Hydrogen Program and Vehicle Technologies Program, Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting, June 7, 2010.

2.2. Japón

2.2.1. La estrategia

La presión de las legislaciones ambientales y la fuerte dependencia de los recursos fósiles no disponibles han sido la clave para que Japón definiese una serie de estrategias para su sector de la energía. Estas estrategias incluyen: (i), nueva generación de baterías para uso en automoción; (ii), desarrollo de tecnología de celdas de combustible e infraestructura de edificación; (iii), nueva imagen de combustibles limpios y automoción de bajo consumo; (iv), expansión de biotecnología segura de segunda generación; y (v), concepto de sociedad motorizada avanzada.

La estrategia (i) diseñada para desarrollar la tecnología de baterías avanzadas para automoción esta apoyada por un proyecto de cinco años iniciado en 2008 con una financiación de 59 M\$. El proyecto contempla también la difusión de la tecnología y el establecimiento del método de evaluación.

En la estrategia (ii) se puso en marcha un proyecto de I+D en 2008 de 32 M\$ con una cantidad presupuestada anual similar para los años siguientes. La atención se focaliza básicamente en el ensayo de las celdas de combustible y de los sistemas de distribución de hidrógeno para la implantación futura de la infraestructura del hidrógeno (Advanced, 2009). Como objetivo se establece la fabricación de automóviles al mismo coste que los de gasolina en 2030 (Country update, 2009).

La estrategia (iii) contempla una conferencia para promover el uso del diesel limpio mediante la colaboración de gobierno-industria-academia. Se contempla el desarrollo de una nueva generación de vehículos mediante un proyecto financiado con 5.5 M\$ iniciado en 2008, I+D sobre diesel de nueva generación que incluye tanto la tecnología Gas-to-Liquids como hidrogenación de bio-oils, con un apoyo de 6.7 M\$. El objetivo que se pretende con esta estrategia es poner en el mercado japonés a finales de 2009 automóviles diesel que cumplan las más estrictas emisiones de todos los automóviles.

La estrategia (iv) constituye un plan innovador de fabricación de biocombustibles derivados de lignocelulosa. El proyecto, que contempla la fabricación de bioetanol a partir de celulosa, recibió un apoyo de 144 M\$ en 2008 y garantiza la calidad del combustible y fija como objetivo la producción de etanol con un coste de 1.1 \$/l para 2015 (Biomasa Nippon) y hasta 0.44 \$/l si se produce un salto innovador importante en la tecnología.

Con la estrategia (v) se pretende desarrollar el control automático de los sistemas de conducción de vehículos lo que redundará en una reducción importante del consumo de combustible. El soporte a esta estrategia lo proporciona un proyecto de 10 M\$ iniciado en 2008. El objetivo es duplicar la velocidad promedio de circulación de los automóviles en 2030. A modo de ilustración las velocidades de circulación medias actuales en Tokio y Paris son 18 y 26 km/h, respectivamente.

2.2.2. La hoja de ruta

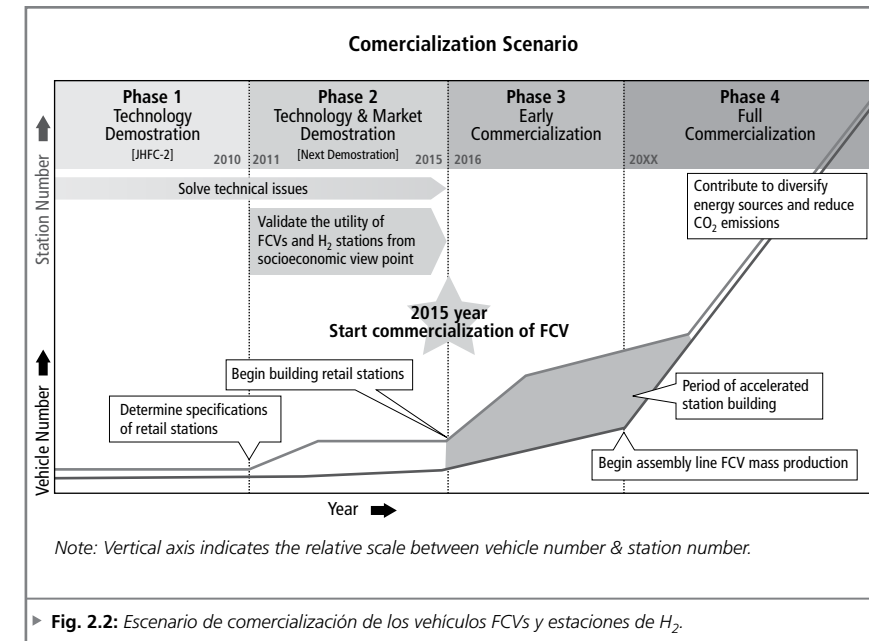
Los principales fabricantes de automóviles japoneses han implantado las celdas de combustible de membrana polimérica para alguno de sus modelos. Honda Motors ha desarrollado el modelo FCX Clarity equipado con una celda de combustible de 100 kW alimentada con el hidrogeno gaseoso almacenado en un tanque a presión de 35 MPa lo que le permite una autonomía de 620 km. De forma similar Toyota en su modelo FCHV-adv ha conseguido una autonomía superior (830 km) mediante la incorporación de una nueva tecnología de materiales para su tanque de hidrógeno a presión que tolera una presión de 70MPa. Los fabricantes líderes de automoción y las empresas del sector de la energía de Japón han elaborado un escenario que contempla la comercialización de los automóviles equipados con celda de combustible (FCVs) y estaciones de servicio de hidrógeno a partir de 2015. Puesto que consideran que el reformado de gas natural va a ser la fuente principal del hidrógeno que alimentará las celdas de combustible, Tokyo Gas y Mitsubishi Heavy Industries establecieron una alianza para desarrollar un método mas económico para producir H₂ que consiste básicamente en un reformador de membrana que produce una corriente de hidrógeno de 40 Nm³/h y 99.99% de pureza con una eficiencia energética del 76%. El sistema operó ininterrumpidamente durante 3000 h. En una nueva fase del proyecto se prevé llegar a 99,999 % de pureza, 80% de eficiencia y aumentar significativamente la durabilidad (Shirasaki, Y. 2009). De alcanzarse estas metas Japón contará con un sistema capaz de producir H₂ por reformado más económico con potencial extensión a diversas materias primas. Este proyecto está parcialmente financiado por NEDO, una división del gobierno del Japón.

La hoja de ruta ha definido cuatro fases para el desarrollo de esta tecnología. La primera comprende la mejora de la tecnología y llega hasta 2015, la segunda que también se extiende hasta 2015 pretende evaluar la tecnología de las celdas de combustible y las estaciones suministradoras de hidrógeno desde el punto de vista socio-económico, la tercera contempla la comercialización de los vehículos FCVs y el inicio del despliegue de las estaciones de hidrógeno y la cuarta está asociada al periodo de aceleración del mercado de los vehículos FCVs y de la construcción masiva de las estaciones de H₂. En la Figura 2.2 se representa el diagrama cronológico de estas cuatro fases [Sato, 2010].

El METI de Japón está proporcionando desde 2009 un apoyo a la comercialización de las celdas de combustible con el objetivo de aumentar la producción y reducir los costes de fabricación (Overview 2010). Si bien los costes estimados en 2009 para un mercado inferior a las 10.000 unidades alcanzaron los 33.000 \$/unidad, las estimaciones para 2015 indican que este coste se reducirá a 5.500 \$/unidad cuando se incorporen unas 300.000 unidades.

2.2.3. Presupuesto del Programa

El presupuesto total del gobierno japonés para el año 2009 para las iniciativas de hidróge-



► Fig. 2.2: Escenario de comercialización de los vehículos FCVs y estaciones de H₂.

no y celdas de combustible alcanzó 433 M\$, lo que representa un incremento de 19% con respecto al presupuesto de 2008 para el mismo objetivo. La parte más importante de este presupuesto se ha dedicado a la promoción de las celdas de combustible para uso residencial (114 M\$), en el que se incluye el subsidio para la construcción de sistemas de celdas de combustible y de cogeneración. Aproximadamente la tercera parte de ese presupuesto (45 M\$) se ha dirigido a proyectos de comercialización, entre los que el proyecto JHFC (Japan Hydrogen and Fuel Cell Demonstration Project) recibió 11 M\$ de apoyo. Finalmente, las actividades de I+D recibieron un impulso notable, entre las que se mencionan:

- Desarrollo estratégico de las tecnologías de PEFC para aplicaciones prácticas con un total de 74 M\$.

- Desarrollo de las tecnologías de producción, transporte y almacenamiento del hidrógeno con 15.5 M\$.

- Investigación fundamental avanzada en materiales destinados al almacenamiento de hidrógeno con 11.1 M\$.

- Centro de excelencia para la investigación de las celdas de combustible poliméricas con 10 M\$.

- Centro de excelencia para la investigación del uso y almacenamiento industrial del hidrógeno con 12.2 M\$.

Referencias

Advanced basic technology for hydrogen storage materials, FC Seminar, Japan, 2009. Country Update-Japan, Presented at 12th IPHE Steering Committee Meeting, Washington DC, USA, 2nd December 2009.

Overview of scenario, roadmap and R&D projects of hydrogen and FCV in Japan, presented at the 2010 Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting, DOE H2 Program, USA, June 4, 2010.

Y. Sato, Overview of Scenario, Roadmap and R+D Projects of Hydrogen and FCV in Japan, METI, 4th June 2010, Japan.

Y. Shirasaki, T. Tsuneki, Y. Ota, I. Yasuda, S. Tachibana, H. Nakajima, K. Kobayashi, Int. J. Hydrogen Energy 34 (2009) 4482.

2.3. Europa

Los proyectos más interesantes son los liderados por la Unión Europea (UE). A continuación se describirán aquéllos que, a nuestro criterio, son los más representativos del continente europeo [Faissolle M., 2010].

2.3.1. Proyecto CUTE. Clean Urban Transport for Europe

El primer emprendimiento conjunto y de envergadura de la UE relacionado con el hidrógeno como vector de energía parece haber sido el proyecto CUTE (Clean Urban Transport for Europe) cuyo objetivo principal fue poner en las calles de 9 ciudades europeas y durante dos años, 27 ómnibus del transporte público equipados con una pila de combustible alimentada con hidrógeno [CUTE web]. Las ciudades involucradas fueron Ámsterdam, Barcelona, Estocolmo, Hamburgo, Londres, Luxemburgo, Madrid, Porto y Stuttgart, elegidas de manera de disponer de un amplio espectro de condiciones operativas que podían encontrarse en el continente europeo. El proyecto se puso en marcha definitivamente en el año 2000, cuando la Comisión Europea logró que varias empresas privadas, entre las que destacan Daimler Chrysler, British Petroleum y Shell Hydrogen, se comprometieran con la iniciativa. Se invirtieron 52 millones de euros de los cuales 18,5 fueron aportados por Bruselas, en lo que se suponía el mayor proyecto del mundo de esas características. En el 2003 comenzó a funcionar en Madrid el primer ómnibus equipado con una pila de combustible.

Los otros objetivos del proyecto eran:

- 1) Diseñar, construir y operar las plantas e infraestructura necesaria para producir hidrógeno como así también las estaciones de servicio de hidrógeno.
- 2) Recopilar datos concernientes a la seguridad, estandarización y comportamiento operativo de los vehículos bajo diferentes condiciones.
- 3) Realizar un análisis técnico, económico y ecológico del ciclo de vida y compararlo con las alternativas convencionales.
- 4) Cuantificar la contribución del proyecto a la reducción de las emisiones de CO₂ de acuerdo al protocolo de Kyoto.

El hidrógeno para alimentar la pila de combustible era producido por electrólisis del agua o por reformado de gas natural. Cada vehículo tenía una potencia aproximada de 250 kW aportados por la pila de combustible. Los vehículos estaban provistos de cilindros de

hidrógeno a una presión de 350 bar. De esta forma el vehículo tenía una autonomía de 200 km, aunque la misma podía variar según la cantidad de pasajeros que transportaba (hasta un máximo de 70).

Los resultados de este proyecto se muestran en la Tabla 2.2 [Saxe, 2008].

Número de instalaciones de mantenimiento	2 nuevas; 7 adaptadas de instalaciones existentes
Número y tipo de estaciones de servicio	
1. electrólisis "in situ"	4
2. reforming "in situ"	2
3. aprovisionamiento externo	3
Hidrógeno cargado (total)	> 192.000 kg
Número de cargas	> 8900
Kilómetros recorridos	841.123
Horas de operación	62.545
Velocidad promedio	12,8 km/h
Consumo promedio de combustible	24,6 kg/100 km
Eficiencia promedio del ómnibus	90%
Eficiencia promedio de estaciones de servicio	87%
Pasajeros transportados	> 4 millones
Número de incidentes de seguridad mayores	ninguno
Número de incidentes de seguridad menores	100 aprox.
Tiempo medio para alcanzar la certificación regulatoria	10 meses
Cantidad de diesel substituido por hidrógeno	450.000 litros
Número de conductores y técnicos entrenados	565
Número de artículos periodísticos	479
Número de anuncios en radio y TV	127
Número de entradas a la página web	6,5 millones

► **Tabla 2.2:** Resultados del proyecto CUTE 2003-2005.

2.3.2. Proyecto ECTOS

El proyecto ECTOS puede tomarse como un antecedente y/o socio del proyecto CUTE pero de menor magnitud ya que involucra a una sola ciudad, Reikiavik, la capital de Islandia. Consistió básicamente en poner en las calles de la ciudad tres ómnibus alimentados con una pila de combustible y cilindros de hidrógeno. La particularidad de este proyecto radica en que el hidrógeno se obtenía de la electrólisis del agua empleando la energía geotérmica. La promoción y coordinación del proyecto la realizó la compañía islandesa New Energy creada específicamente y las otras empresas involucradas fueron Shell, Daimler Chrysler, la compañía de transporte público de Reikiavik y NORsk Hydro. El proyecto demostrativo duró 4 años y su presupuesto fue de 7 millones de euros aproximadamente [www.createacceptance.net].

2.3.3. Proyecto HyWays

Posteriormente a estos proyectos demostrativos y focalizados en el transporte público, se destaca el proyecto HyWays (the European Hydrogen Energy Roadmap) que se desarrolló desde el 2004 al 2007 [Hyways web].

El proyecto contó con un presupuesto de 7.916.238 €; la Unión Europea a través del 6º Programa Marco aportó 4.000.000 €.

HyWays es un proyecto integrado fundado por institutos de investigación, industrias y la Comisión Europea. Su objetivo fue desarrollar y validar un “mapa de ruta” para la introducción del hidrógeno en el sistema energético europeo con énfasis en el sector transporte. Combina banco de datos tecnológicos con análisis económicos y sociales a fin de evaluar escenarios probables para futuros sistemas energéticos basados en el hidrógeno. Estos escenarios están basados en las visiones de los estados miembros sobre la introducción de las tecnologías del hidrógeno como resultado de más de 50 workshops entre científicos y las partes interesadas (“stakeholders”) en cada país. Una aproximación multinacional que cubre el 80% de la superficie de Europa y el 70% de la población aseguran una amplia diversidad en términos de materias primas, condiciones y preferencias regionales y de infraestructura. El mapa de ruta está basado primariamente en el análisis específico de diez estados miembros. Los países seleccionados fueron Alemania, España, Finlandia, Francia, Gran Bretaña, Grecia, Holanda, Italia, Noruega y Polonia los cuales aseguran una amplia cobertura tanto en superficie como en población y representan la diversidad europea. Numerosas empresas vinculadas a diversas industrias (gases, energía, automóviles) participan en este proyecto [Stiller, 2008].

El plan de acción concebido por HyWays comporta las distintas fases y acciones principales de desarrollo del hidrógeno hasta el 2050 según la Tabla 2.3.

La visión de Hyways para la producción de hidrógeno a gran escala es una planta integrada que produce simultáneamente energía eléctrica e hidrógeno. El aumento de escala de la producción de hidrógeno implica el uso intensivo de recursos fósiles (GN, carbón). Los recursos renovables solo representan un tercio del total. La reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero pasa entonces por la captura y el secuestro del CO₂ (Carbon Capture and Storage).

En cuanto a la demanda regional de hidrógeno para el transporte vehicular, el proyecto prevé su evolución en tres fases:

-Fase I: comienzo con una penetración baja del hidrógeno (fase de demostración) en algunos centros de mayor escala diseminados en Europa. La tecnología se elige caso por caso.

-Fase II: comercialización temprana con 3-6 centros tempranos de usuarios por país (10,000 – 500,000 vehículos de hidrógeno en la UE). Posibilidad de una red de carreteras entre estos centros con varios escenarios de expansión (enfocados en flotas de transporte público o vehículos privados).

-Fase III: Plena comercialización, fase caracterizada por la extensión de los centros de usuarios existentes, el desarrollo de nuevas áreas y la instalación de una red densa local y larga distancia de hidrógeno hasta el 2030.

Los temas importantes de I&D considerados para aplicaciones estacionarias y móviles del hidrógeno y de las celdas de combustibles así como para las infraestructuras adecuadas son:

1. Obtener una reducción significativa de los costos del hidrógeno en el sistema de transmisión

- Mejoramiento de las celdas de combustible PEM (placa bipolar, membrana, catalizador)

- Compuestos periféricos (alimentación de aire, humidificación, válvulas, control y energía, electrónica)
- Almacenamiento a bordo (optimización del actual almacenamiento comprobado del hidrógeno comprimido o líquido, nuevas tecnologías como la crio-compresión o los hidruros metálicos)
- Integración del hidrógeno a los motores de combustión interna
- Optimización del sistema (consenso/trade-off entre los subsistemas para una mayor performance a menor costo)

2. Obtener una reducción significativa de los costos de producción del hidrógeno

- Electrolizadores, sistemas de gasificación de biomasa, captura y secuestro de dióxido de carbono, equipos auxiliares como compresores, válvulas, sensores etc.

3. Integración de los sistemas de hidrógeno

- Integración de los componentes principales (sistema de transmisión, almacenamiento a bordo) y de los equipos auxiliares (equipos de seguridad, válvulas, electrónica) para las aplicaciones móviles del hidrógeno.
- Integración de los componentes principales (FC y almacenamiento in-situ) y de los equipos auxiliares (equipos de seguridad, válvulas, electrónica) para las aplicaciones estacionarias del hidrógeno.
- Integración de las energías renovables y del hidrógeno en sistemas aislados o remotos: conversión y acondicionamiento de energía y almacenamiento (hidruros, adsorbentes porosos, compresión).
- Uso de la red actual de transporte de gas a baja presión para el transporte de hidrógeno.

4. Asegurar la seguridad y la confiabilidad de las aplicaciones del hidrógeno.

- Llenar el vacío actual en cuanto al desarrollo de regulaciones armonizadas, códigos y estándares para el hidrógeno.
- Desarrollar la confianza de los consumidores en el uso del hidrógeno.

5. Cumplir con los requerimientos de sustentabilidad a largo plazo.

- Hidrógeno producido a partir de recursos renovables, combustibles fósiles con CCS (sin emisiones de CO₂) o energía nuclear con un ciclo cerrado de combustible (reactores de generación IV => puesta en marcha al horizonte 2030)

Las principales conclusiones del proyecto son [Seymour, 2008]:

- El empleo del hidrógeno en el transporte tiene un impacto positivo sobre los costos involucrados en la reducción de las emisiones de CO₂
- Para que el hidrógeno ingrese al sistema energético debe superar las siguientes barreras:
- Reducción de costos

Construcción de la infraestructura

Regulaciones, normas, educación, entrenamiento

- Para superar estas barreras es necesario disponer de una intervención de los Estados formulando políticas adecuadas
- El hidrógeno ofrece la oportunidad de incrementar el empleo de las energías renovables en el sector transporte.

- El hidrógeno debe ingresar al sistema energético en el “punto justo”: ni demasiado lentamente porque se estaría subutilizando la infraestructura, ni muy rápidamente porque se necesita tiempo para asimilar la nueva tecnología
- La transición de la fase de I+D a la fase de aplicación es fundamental. Por consiguiente la evolución de los costos y del desarrollo tecnológico debe ser monitoreada cuidadosamente

	2010	2015	2020	2030	2050	
FASES	Desarrollo tecnológico para reducir costos	Tecnología precomercial y preparación del mercado	Comienzo de la comercialización	Materialización de primeros impactos: <ul style="list-style-type: none"> • Nuevas capacidades de provisión de H₂ con bajo contenido de carbón • Mejora en la calidad del aire • Más del 5% de los autos vendidos poseen H₂/PEM 	H ₂ /PEM son competitivos: <ul style="list-style-type: none"> • Creación de nuevos puestos de trabajo • Mas H₂ libre de carbón • Más del 20% de los autos vendidos poseen H₂/PEM 	H ₂ /PEM es la tecnología dominante. Impactos fuertes: <ul style="list-style-type: none"> • 80% de autos y ómnibus de ciudad funcionan con H₂ como combustible • Se reduce en un 80% el CO₂ producido pro el transporte • Para aplicaciones estacionarias, el H₂ se usa en regiones aisladas
TARGET	Flota inicial de 1000 vehículos para 2015		Vehículos: 2,5 millones Costos: <ul style="list-style-type: none"> • H₂: 4 €/kg • PEM: 100 €/kg • Tanque: 10 €/kWh Red de apoyo específica para H ₂ : <ul style="list-style-type: none"> • Incentivos en impuestos de 180 M€/año • Desarrollos estratégicos relacionados con la infraestructura 	Vehículos: 25 millones Costos: <ul style="list-style-type: none"> • H₂: 3 €/kg • PEM: 50 €/kg • Tanque: 5 €/kWh Cambio gradual de apoyos específicos al H ₂ a apoyos genéricos a la sustentabilidad		
POLITICAS REQUERIDAS ACCIONES DE FOMENTO	Red de apoyo específica para el desarrollo de la economía del H ₂ : <ul style="list-style-type: none"> • Crear mercados tempranos subsidiados • Implementar una red de seguimiento de los mercados tempranos • Lograr un equipo de inversores a largo plazo • Programas de educación y de entrenamiento • Armonización de los códigos de regulación y de los estándares 				Incentivos basados en un esquema de apoyos genéricos a la sustentabilidad	

► **Tabla 2.3:** Fases y acciones principales de desarrollo del hidrógeno hasta el 2050.

2.3.4. Proyecto MedHysol

La potencialidad de la cuenca mediterránea en términos de desarrollo de energía solar es 100 veces la demanda energética mundial. Proviene en gran parte del Sahara que recibe como todos los desiertos del mundo 3000 kWh/m² por año de radiación directa. En el año 2005 expertos científicos de Argelia, Túnez, Marruecos, Egipto, Francia, Italia,

Alemania y el Reino Unido recomendaron la creación de un gran proyecto Euro-Magrebí para el desarrollo y la explotación del hidrógeno, empezando por la energía solar en los países del Magreb [Nasse Cherigui, 2009].

El proyecto Medhysol debe desembocar en la construcción de una plataforma piloto de producción de hidrógeno a partir de energía solar con equipos de tamaño significativo (10-100 kW). La segunda etapa del proyecto aplicará tecnologías eficientes y poco costosas para sitios pilotos de mayor escala (1 a 1000 MW). El hidrógeno puede ser producido según los casos a partir del agua por electrólisis [Abbot, 2010] o a partir de hidrocarburos o biocombustibles derivados de biomasa por reformado con vapor.

Se eligió la ciudad de Ghardaïa, cerca de Hasi R'Mel en Argelia, para construir la plataforma MedHysol. El sitio es adecuado para la implantación del proyecto ya que:

- posee altos recursos solares y de agua subterránea explotables
- dispone de la red de gasoductos transmediterránea (Argelia es el primer productor de gas natural para Europa). Cabe señalar que el proyecto contempla el transporte de hidrógeno hacia Europa a través de los gasoductos existentes.

Conviene resaltar que existe un proyecto en el centro de la región Sahara (resulta de una cooperación entre BP, Statoil y Sonatrach) que tiene como objetivo la captura y el almacenamiento geológico del CO₂ proveniente de los yacimientos de gas natural. Argelia está inyectando, desde el 2004, 1,2 millones de toneladas de CO₂ por año en una roca arenosa de aguas subterráneas a 1800 m de profundidad. Se planea que el CO₂ inyectado migre luego hacia las cuencas actuales de gas natural cuando se vayan vaciando. Estas técnicas pueden ser empleadas en la producción de H₂ a partir de combustibles fósiles. En consecuencia este proyecto se considera uno de los proyectos mundiales que pueden catalizar la economía del hidrógeno.

2.3.5. Otros proyectos

La cantidad de proyectos relacionados con el hidrógeno es considerable. Hemos mencionado los que, a nuestro juicio, son los más significativos y que involucran a varios países. No obstante, existen otros proyectos mas pequeños o que involucran a un solo país y que, no obstante, merecen ser mencionados.

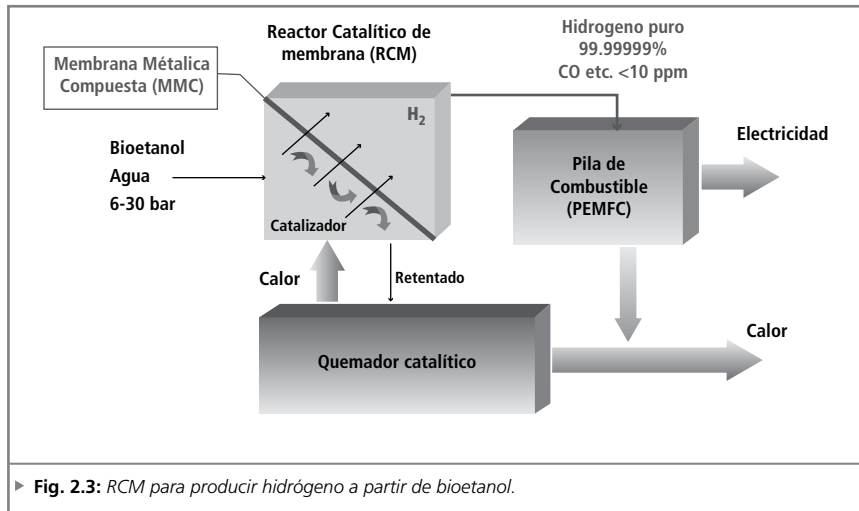
2.3.5.1. Proyecto de producción de hidrógeno con energía eólica: EolHY (Francia 2006-2009)

EolHY es un proyecto de I&D sostenido por la Agence Nationale de la Recherche y que cuenta con varia empresas como socias entre las que se destaca Air Liquide [www.dta.airliquide.com]. De hecho el proyecto se desarrolla en la ciudad de Sassenage, donde funciona el centro de pruebas de esta empresa. El objetivo es desarrollar un sistema integrado de conversión de energía en exceso en hidrógeno. El hidrógeno se almacena durante los periodos de alta producción y luego cuando el viento o la exposición solar bajan, alimenta una pila de combustible que produce 1,5 kW. Esta tecnología podría ser adecuada y competitiva en lugares aislados donde la conexión a la red eléctrica o la distribución de combustible son caras.

2.3.5.2. Reactor catalítico de membrana (RCM) para la producción de hidrógeno a partir de bioetanol [http://www.ceth.fr]

La Compañía Europea de las Tecnologías del Hidrógeno ha desarrollado un reactor de membrana que produce hidrógeno de elevada pureza, apto para alimentar una pila PEM,

a partir de etanol según se muestra en la Figura 2.3. Una alternativa, desarrollada por la misma empresa, consiste en utilizar el reactor de membrana en la etapa de purificación, mas concretamente en la reacción de conversión de monóxido de carbono. En el Anexo I se describen otros proyectos europeos en los que participa España.



► Fig. 2.3: RCM para producir hidrógeno a partir de bioetanol.

Referencias

Abott D. Keeping the Energy Debate Clean: How Do We Supply the World's Energy Needs? Proceedings of the IEEE | Vol. 98, No. 1, January 2010.
 CUTE <http://www.miljobilar.stockholm.se/upload/3222/cutebrochure1.pdf>
 Faissolle M. Perspectivas de uso del hidrógeno como combustible en el futuro. Informe interno Red Hidrógeno CYTED, Buenos Aires, 2010.
<http://www.ceth.fr>
http://www.createacceptance.net/fileadmin/create_acceptance/user/docs/CASE_22.pdf
<http://www.dta.airliquide.com/en/our-offer/hydrogen-energy-1/partnerships-2/eolhy-1.html>
<http://www.hyways.de/>
 Nasser Cherigui A., B. Mahmah, F. Harouadi, M. Belhamel, S. Chader, A. M'Rouai, C. Etievant. Solar hydrogen energy: The European–Maghreb connection. A new way of excellence for a sustainable energy development. Int. J. Hydrogen Energy 34 (2009) 4934–4940.
 Saxe M., A. Folkesson, P. Alvfors. Energy system analysis of the fuel cell buses operated in the project: Clean Urban Transport for Europe. Energy 33 (2008) 689–711
 Seymour E. H., L. Murray, R. Fernandes. Key Challenges to the introduction of hydrogen—European stakeholder views. Int. J. Hydrogen Energy 33 (2008) 3015–3020
 Stiller Ch., P. Seydel, U. Büniger, M. Wietschel. Early hydrogen user centres and corridors as part of the European hydrogen energy roadmap (HyWays). Int. J. Hydrogen Energy 33 (2008) 4193–4208.

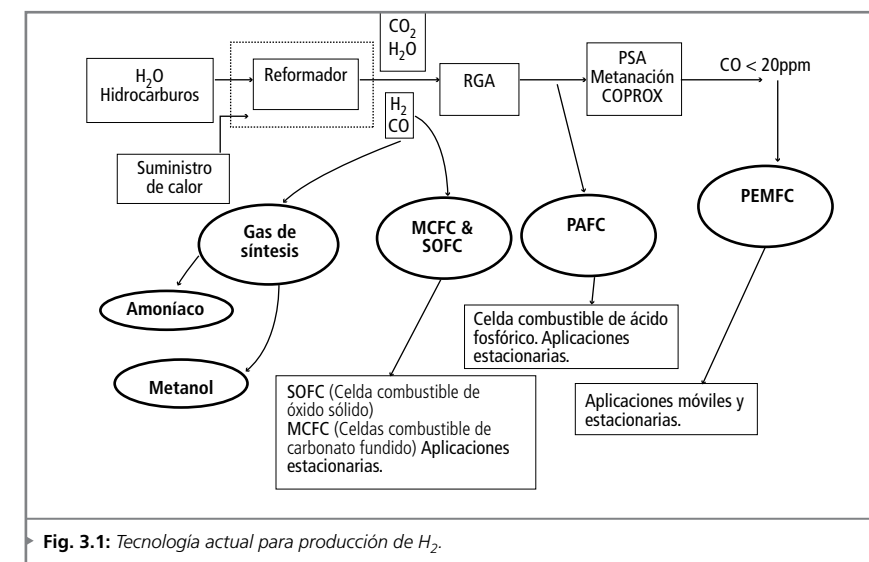
Capítulo 3

Estado de la tecnología:

Oportunidades de investigación y desarrollo

3.1. Tecnologías actuales

La Figura 3. 1 ilustra la tecnología más empleada para producir H₂ a partir de combustibles fósiles, conocida como reformado con vapor de hidrocarburos, mayoritariamente gas natural. El 95% del gas requerido por la industria se produce por esta tecnología. Una mezcla de hidrocarburos y vapor de agua se alimenta al reformador, donde se genera el gas de síntesis, una mezcla de elevado poder reductor compuesta por hidrógeno y óxidos de carbono (H₂/CO/CO₂) a temperaturas de 700 °C o superiores. La salida del reformador ingresa al reactor de conversión de monóxido de carbono o reacción de gas de agua (RGA) que cumple la doble función de generar H₂ adicional y reducir el contenido de CO de la corriente gaseosa hasta aproximadamente 1% (base seca). La mayor parte del H₂ que hoy se usa en la industria sale en la primera o segunda etapa del proceso ilustrado y en muy pequeña proporción es sometido a una intensa purificación final con el objetivo de reducir los niveles de CO. Existen tres alternativas para esta última etapa: el proceso de metanación que emplea un catalizador y que es preferentemente usado en la industria del amoníaco; el proceso PSA (pressure swing adsorption) de reciente aparición en el mercado y la oxidación preferencial de CO (CO PrOx), que aun se encuentra a nivel de desarrollo. Cualquiera de estas alternativas produce un hidrógeno apto para ser empleado en la síntesis de amoníaco. Si el hidrógeno se emplea como alimentación a una pila PEM la exigencia respecto a la purificación es sensiblemente mayor, motivo por el cual estas alternativas mencionadas y otras como el empleo de reactores de membrana están siendo actualmente perfeccionadas.



► Fig. 3.1: Tecnología actual para producción de H₂.

Si se parte de carbón, opción válida para algunos países como China con enormes reservas de este combustible, se debe sustituir el reformado por la gasificación. La otra vía convencional no cubierta por el esquema previo es la electrólisis del agua con una tecnología bien desarrollada cuyos mayores inconvenientes son su fuerte dependencia del costo de la energía eléctrica y el uso de metales nobles para maximizar el rendimiento. Por ello, el H₂ (exento de CO_x) producido por este método es de sólo ca. 5% del total.

3.2. Nuevas tecnologías para la producción de H₂

No se pretende hacer aquí un análisis exhaustivo de todas las propuestas existentes en la bibliografía universal. Una buena aproximación a este tema es el excelente trabajo de Holladay et al. [Holladay, J., 2009] que brinda además una tabla donde califica las tecnologías de acuerdo a su horizonte de aplicación (en uso o disponibles, a corto, mediano y largo plazo). En lo que sigue sólo se mencionarán aquellas tecnologías que se consideran con posibilidad de desarrollo a corto y mediano plazo.

La Figura 3.2 enumera las tecnologías que a nuestro criterio tienen mayores probabilidades de desarrollo con un horizonte no mayor al mediano plazo. Como todavía los combustibles fósiles seguirán siendo la principal fuente de H₂ en los próximos 20-40 años, se debe prestar especial atención a todos aquellos procesos que permitan mejorar el rendimiento y mitigar el impacto ambiental. Por ello, en la primera entrada se pretende resumir los procesos más interesantes que se están desarrollando a partir de hidrocarburos. Claramente para darles viabilidad, es necesario conectarlos con un mayor control de las emisiones de CO_x que pasa no sólo por el secuestro sino también por opciones que eliminan su producción (pirólisis) o que pueden llegar a consumir parte del CO₂ (reformado seco) o a mejorar el balance de CO₂ al aumentar la eficiencia térmica del reformado (reformado autotérmico). El aumento de la eficiencia de los electrolizadores con la reducción o aún eliminación del uso de metales nobles en los electrodos es necesaria no sólo para mejorar la economía del proceso sino también para lograr su sustentabilidad. Concurrentemente, para hacer este proceso competitivo, es necesario asegurar energía eléctrica barata proveniente de fuentes renovables como la hidroeléctrica, eólica o solar. La primera de ellas está demostrado que genera electricidad a un costo que es elevado aún para los mejores electrolizadores disponibles; la segunda requiere condiciones geográficas muy especiales, inversiones importantes y gastos de mantenimiento no despreciable que hacen cuestionable su eficacia, y la tercera a partir de colectores solares en regiones desérticas muy asoleadas es posiblemente la mejor opción. Para un análisis actualizado de estas opciones se remite al lector al trabajo de Abbot [Abbot, D., 2010].

Partiendo de biomasa se han propuesto una gran variedad de opciones y sólo se recogen en la Figura 3.2 aquellas que se consideran con mayor probabilidad de éxito en el mediano plazo. Una de las vías más estudiadas en los últimos años es el reformado de etanol con vapor. El bioetanol se produce económicamente a partir de caña de azúcar y de maíz. También se puede obtener a partir de residuos, en particular los lignocelulósicos a través de procesos enzimáticos que se encuentran en etapa de desarrollo. Esta alternativa presenta dos ventajas: costo cero de la materia prima y se evita la controversia sobre el uso de la tierra para generar energía. En la región se está trabajando a escala piloto en el reformado de etanol con vapor.

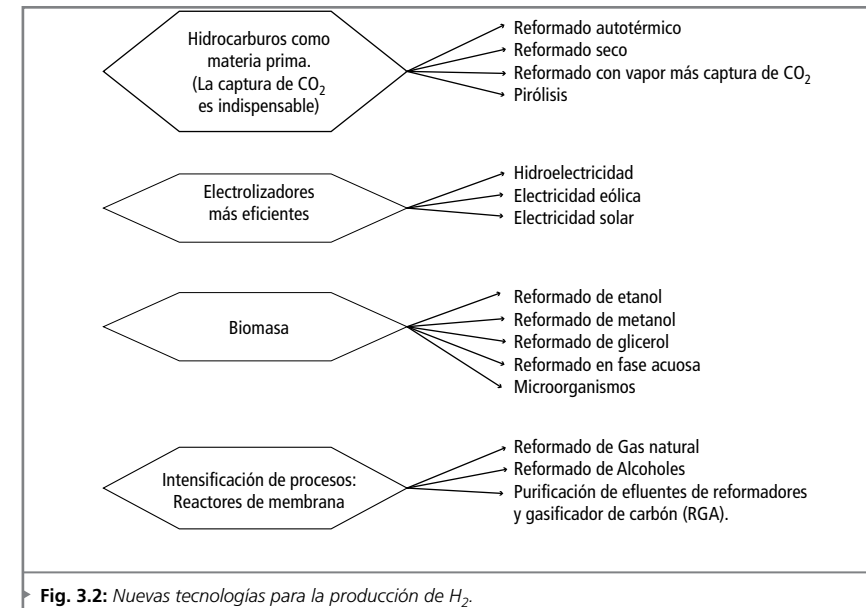


Fig. 3.2: Nuevas tecnologías para la producción de H₂.

El reformado de glicerol resulta interesante porque este alcohol es un producto secundario de la obtención de biodiesel con un mercado poco demandante. Se está estudiando el reformado convencional en fase vapor y a temperaturas elevadas aunque también ha surgido recientemente la alternativa de realizar el reformado de glicerol en fase líquida y altas presiones. Ambas tecnologías están en un estado de desarrollo más incipiente a escala de laboratorio.

Ambos alcoholes, al ser líquidos a temperatura ambiente y no tóxicos, pueden ser considerados como almacenadores de hidrógeno y son más fáciles de transportar y almacenar que el hidrógeno sea en estado gaseoso a altas presiones o líquido a muy bajas temperaturas. El reformado de materiales ligno-celulósicos ha atraído mucha atención en la última década no sólo para producción directa de H₂ sino también para la obtención de biogasolina [Virent Energy, 2010] y de otros productos químicos de valor industrial [Chheda, J., 2007]. Específicamente, para la producción de H₂ debe efectuarse un cuidadoso balance energético y económico que justifique la implementación industrial de este complejo proceso que tiene los dos grandes incentivos que significan el valor insignificante de la materia prima y trabajar a baja temperatura. También en esta categoría aparece la utilización de micro-organismos que se alimentan con biomasa para producir H₂ cuya viabilidad práctica aparece hoy como la más lejana.

La gasificación de la biomasa está ya a una escala industrial incipiente. Su principal limitación es una baja eficiencia energética. Además, para mejorarla se requieren unidades de gran tamaño con una logística adecuada de provisión de biomasa necesaria para mantener una operación continua del sistema. Según la ubicación de la planta, el proceso de recolección de la materia prima puede aportar una contribución importante al balance energético de este sistema. Constantemente se producen variantes de este proceso tendientes a mejorar la eficiencia y solucionar algunos problemas operativos que han sido descritos sintéticamente en recientes publicaciones (Tanksale, A., 2010; Levin, D., 2009).

Cuando se parte de hidrocarburos, carbón o alcoholes, un componente importante del costo del hidrógeno (35%) es la purificación. Por ello, resulta muy atractivo el uso de reactores de membrana donde en el caso de alcoholes o hidrocarburos es posible obtener H_2 99.999% en un solo recipiente. Ello redundaría en una significativa disminución de la inversión (tamaño de planta se reduce 60%), una mayor flexibilidad ante fluctuaciones en la demanda y una mejor operabilidad del sistema. Aquí se ha llegado a escala demostración ($40 \text{ Nm}^3 H_2/h$) en un proyecto de Tokyo Gas co-financiado por el gobierno de Japon [Shirasaki, Y., 2009].

Una opción intermedia que ha llegado a escala banco es conservar el reformado convencional pero realizar la purificación en una sola etapa mediante un purificador de membrana donde se desarrolla la RGA. Esto tiene dos ventajas: i) Se trabaja a menor temperatura con la membrana (400-450°C) con mejora significativa en su vida útil; ii) Se obtiene una corriente de H_2 con 99.999% de pureza y al mismo tiempo otra corriente con alta concentración de CO_2 que facilita su secuestro. Detalles de esta opción han sido publicados recientemente [Damle, A., 2009].

3.3. Oportunidades de R&D en la producción, purificación y uso del hidrógeno

Los especialistas en catálisis, materiales e ingeniería química tienen las mejores oportunidades en estos temas. Como gran necesidad común y que trasciende la producción de hidrógeno aparece el requerimiento de encontrar sustitutos a los metales nobles como catalizadores. Tanto en la generación de H_2 ultrapuro a partir de fuentes renovables como su utilización en CC PEM la demanda de metales nobles es muy elevada y eso genera un aumento de costo de materia prima que amenaza seriamente la viabilidad de la así llamada "economía del hidrógeno".

Enfocando con más precisión distintas áreas con necesidad de encontrar soluciones a sus problemas sigue a continuación un listado no exhaustivo de las mismas.

- En reformado de etanol con vapor se requiere catalizadores capaces de operar con relaciones molares $H_2O/C_2H_5OH < 6$ y preferentemente alrededor de 4, a $T < 650^\circ\text{C}$ y con mínima formación de carbón.
- Hay un largo camino para recorrer en reformado en fase acuosa (APR) para la producción de H_2 . Virent Energy Systems [Virent Energy, 2010] ha anunciado la construcción de una planta piloto para producción de biogasolina basada en las investigaciones del grupo liderado por el Prof. Dumesic de la Universidad de Wisconsin, Madison [Chhedda, J.N., 2007]. Esto permite suponer que hay buenas perspectivas de producir H_2 mediante APR. Con respecto a la obtención de hidrógeno por esta vía el platino parece ser el metal más selectivo pero debido a su costo elevado hay aquí una necesidad no cubierta de encontrar sustitutos en base a metales no-nobles. Una de las principales dificultades estriba además en conseguir una alta selectividad hacia H_2 pues aparece una fuerte competencia de reacciones de hidrogenación que conducen a la formación de alcanos (fundamentalmente metano).
- RGA, se requieren catalizadores más activos que las formulaciones comerciales actuales y en lo posible que no contengan metales nobles.

- COPROX, proceso aún no probado a escala industrial, requiere catalizadores con probada estabilidad y selectividad.
- Electrocatalizadores en base a metales no nobles para la reducción de oxígeno. En una primera etapa se requiere reducir aún más el contenido de metales nobles. Esto es necesario para electrolizadores de agua y para CC PEM.
- Desarrollo de nuevos reactores (pared catalítica, multicanales y de membrana) para lograr:
 - o Intensificación de proceso.
 - o Baja pérdida de carga.
 - o Mejora en la transferencia de calor.
 - o Mezclado rápido.
- La integración energética de plantas productoras de H_2 ultrapuro es condición indispensable para maximizar su rendimiento.
- Desarrollo de procesos donde se acompañe la reacción química con adsorción selectiva de productos para desplazar el equilibrio y capturar CO_2 .
- Reactores multifásicos con miras a su aplicación en reformado en fase acuosa.
- Desarrollo de nuevas membranas compuestas que usen mucho menos Pd.
 - o Durables
 - o Con alta selectividad al H_2 (> 5000).
 - o Flujo mayor a $60 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ con diferencia de presión de 1 atm. y $T = 500^\circ\text{C}$
- Se requieren nuevas membranas poliméricas para CC PEM para sustituir al Nafion. Se está trabajando intensamente en este tema desde hace décadas pero aún no existe una membrana sustituta con mejores prestaciones a nivel comercial.
- Mejores materiales para el almacenamiento de H_2 . Meta: superar en costo y volumen a los cilindros convencionales de 700 Bar manteniendo las mismas características dinámicas de carga y descarga.

Referencias

- Abbot, D., Proc. IEEE, 98(1) (2010) 42-66.
- Chhedda, J.N., G. W. Huber, J.A. Dumesic, Angewandte Chemie, 46(38) (2007) 7164-7183.
- Damle, A., C. Richardson, T. Powers, C. Love, J. Acquaviva, ECS Transactions, 12(1) (2008) 499-510.
- Holladay, J.D., J. Hu, D. L. King, Y. Wang, Cat. Today, 139 (2009) 244-260.
- Levin, D.B., Chahine, R., International Journal of Hydrogen Energy, 35 (10) (2010) 4962-4969.
- Shirasaki, Y., T. Tsunekia, Y. Otaa, I. Yasudaa, S. Tachibanab, H. Nakajimab, K. Kobayashib, International Journal of Hydrogen Energy, 34 (2009) 4482-4487.
- Tanksale, A., Beltrami, J.N., Lu, G.M., "A review of catalytic hydrogen production processes from biomass", Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 166-182.
- Virent Energy Systems, [http://greenenergyreporter.com/renewables/biofuel/virent-energy-systems]

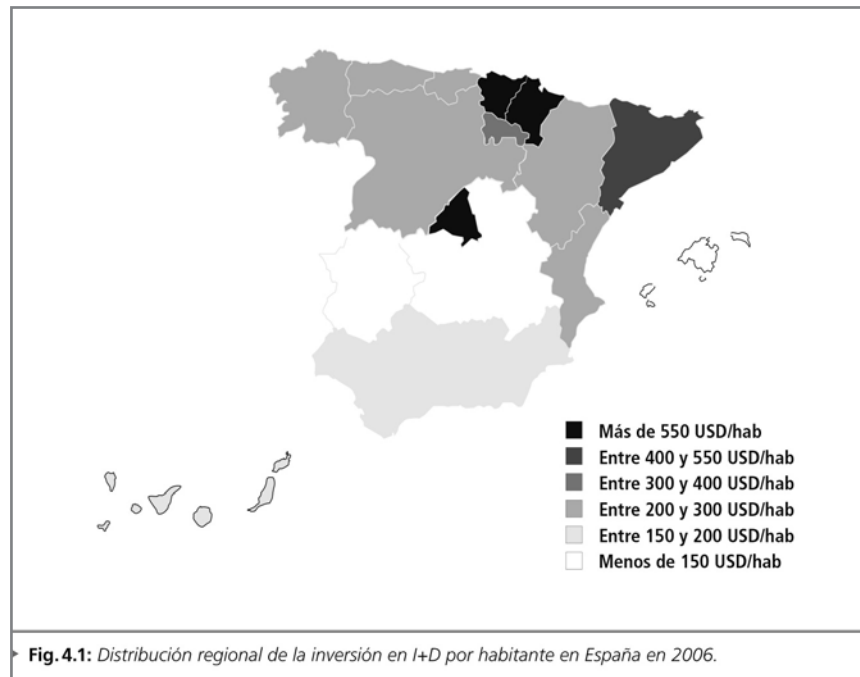
Capítulo 4

Situación en Iberoamérica

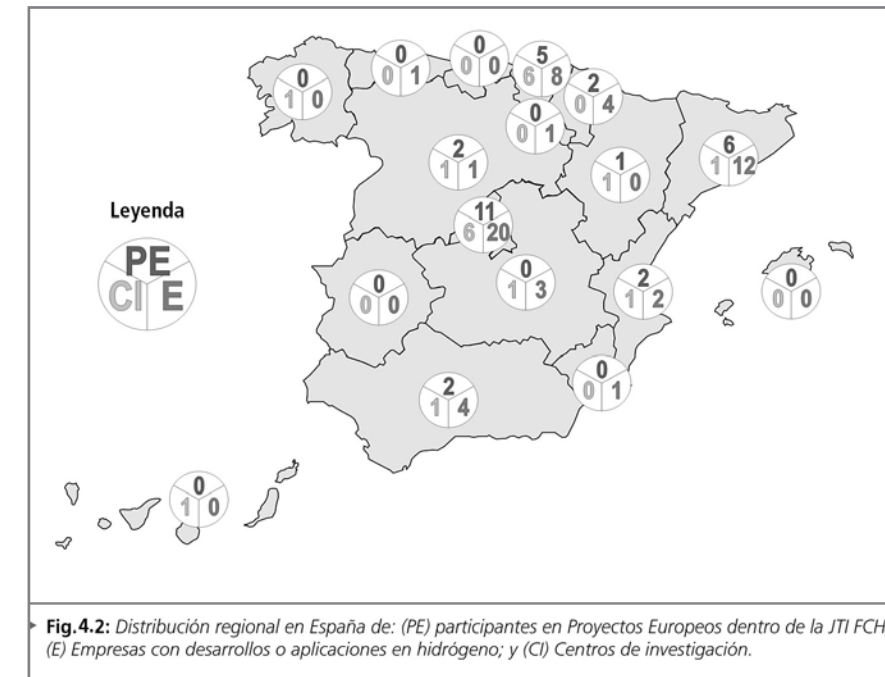
4.1. Situación actual y perspectivas del hidrógeno en España

En el contexto iberoamericano, España es, sin lugar a dudas, el país donde hay un mayor volumen de grupos y empresas trabajando en I+D+i en temáticas relacionadas con el hidrógeno, y donde mayores inversiones se están realizando. Sin embargo, realizar un análisis en profundidad resulta bastante difícil, como resultado de la compleja estructura existente en España en materia de I+D+i.

España, como integrante de la Unión Europea, participa de las políticas europeas de investigación, estructuradas dentro de los Programas Marco. En el ámbito nacional, se definen los Planes Nacionales de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica, donde se marcan líneas prioritarias a medio plazo. Además, España está organizada en 17 Comunidades Autónomas, con gobiernos que tienen también competencia en investigación. En cualquier caso, la inversión en I+D+i no está uniformemente distribuida en el territorio nacional, como puede desprenderse de la Figura 4.1 [COTEC, 2008; INE], donde puede observarse que se concentra en Madrid y la zona norte del país. Esta distribución de carácter general se mantiene en los temas relacionados con el hidrógeno y las pilas de combustible. Desde el Gobierno central, los fondos en I+D+i se distribuyen principalmente a través de



los Ministerios de Ciencia e Innovación (MICINN) e Industria, Turismo y Comercio (MITYC). Con el fin de mejorar la planificación de las actuaciones a medio plazo, y con la experiencia adquirida en los sucesivos Programas Nacionales y los resultados de la iniciativa Ingenio 2010, se elaboró la Estrategia Nacional en Ciencia y Tecnología 2007–2015 [ENCYT, 2007], que integra a todos los agentes del Sistema Español de Ciencia y Tecnología, incluidas las Comunidades Autónomas. La iniciativa Ingenio 2010 ha cambiado la filosofía tradicional de la política de I+D+i en España, pasando a financiar proyectos en grandes líneas de investigación, de larga duración, de grupos/redes/consorcios, con importante participación privada y mayor riesgo comercial, con vistas a la convergencia con Europa. Incluye los programas Consolider y Cénit en I+D, y el plan Euroingenio, con el cual se ha fomentado la participación española en las actividades del 7º Programa Marco. En el 7º Programa Marco de I+D de la Unión Europea se desarrollan las Iniciativas Tecnológicas Conjuntas (JTI) dentro del Espacio Europeo de Investigación. Los proyectos relacionados con hidrógeno y pilas de combustible se agrupan en la JTI denominada FCH (Fuel Cells and Hydrogen), incluida dentro de la investigación en Energía [UE], y aprobada en mayo de 2008 por el Parlamento Europeo. Esta Iniciativa Tecnológica Conjunta busca facilitar y acelerar el desarrollo de sistemas energéticos europeos basados en el hidrógeno y las pilas de combustible, y tiene previsto un presupuesto de 1.300 M USD entre 2008 y 2017. En ella participan Empresas Privadas y Centros Públicos de Investigación mayoritariamente europeos. De entre los 67 proyectos en esta área, en el 6º y 7º Programas Marco, España participó en 27 de ellos. Los títulos de estos Proyectos y una breve reseña de los objetivos que contempla cada uno se recopilan en el Anexo I. En el conjunto de estos proyectos participan un total de 31 entidades españolas, entre empresas privadas, fundaciones, universidades y centros públicos de investigación, cuyas sedes centrales se encuentran distribuidas



geográficamente como se indica en la Figura 4.2.

Dentro del actual VI Programa Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008–2011, incluido en el ENCYT, no se ha establecido un área específica de hidrógeno y pilas de combustible, sino que quedaría incluida en el área de desarrollo e innovación tecnológica sectorial, en el sector clave de “Energía” y, hasta cierto punto, en los de “Medio ambiente y ecoinnovación” y “Transporte e infraestructuras”; y en el área de acciones estratégicas en “Energía y cambio climático” [MICINN].

En este panorama, se encuentran las 57 Empresas españolas con Desarrollos o Aplicaciones en Hidrógeno [UE; AeH2] cuya distribución regional (de Sedes Sociales) se muestra también en la Figura 4.2. La relación completa de estas empresas se incluye en el Anexo II.

Centros de Investigación

Además de las empresas mencionadas, varios Centros de Investigación están desarrollando las tecnologías del hidrógeno y pilas de combustible. Se incluyen aquí Centros Tecnológicos, Organismos Públicos y Entidades sin Ánimo de Lucro [UE; MICINN; AeH2; Red de Pilas de Combustible, Baterías Avanzadas e Hidrógeno CSIC-Universidad], cuya distribución geográfica (no se incluyen Universidades, ni se especifican centros del CSIC) se muestra también en la Figura 4.2. La relación de estos Centros de Investigación así como una breve reseña de las actividades de investigación que desarrollan se recopila en el Anexo III.

Finalmente, la investigación más fundamental en el campo del hidrógeno y las celdas de combustible se realiza por numerosos Grupos de Investigación en Universidades y Organismos Públicos de Investigación [AeH2; Red de Pilas de Combustible, Baterías Avanzadas e Hidrógeno CSIC-Universidad; HYCELTEC II, 2009]. La relación de estos grupos y una breve reseña de las líneas de actuación se recogen en el Anexo IV.

Referencias

- COTEC, Fundación para la Innovación Tecnológica. Tecnología e Innovación en España. Informe COTEC, 2008 [<http://www.cotec.es>]
- INE, Instituto Nacional de Estadística [<http://www.ine.es>]
- ENCYT, Estrategia Nacional en Ciencia y Tecnología 2007–2015, 2007 [<http://www.micinn.es>]
- UE, Unión Europea. Proyectos Europeos dentro de la JTI FCH en el 6º y 7º Programas Marco [http://ec.europa.eu/research/energy/eu/projects/index_en.cfm]
- MICINN, Ministerio de Ciencia e Innovación [<http://www.micinn.es>]
- AeH2, Asociación Española del Hidrógeno [<http://www.aeh2.org>]
- Red de Pilas de Combustible, Baterías Avanzadas e Hidrógeno CSIC-Universidad [<http://www.redpilas.csic.es>]
- HYCELTEC II. Delegate Manual, 2009 [<http://www.hyceltec2009.utad.pt>]
- PTE-HPC, Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno y las Pilas de Combustible. Asamblea General, 2009 [<http://www.ptehpc.org>]

4.2. Hidrógeno como vector de energía en Brasil

4.2.1. Un resumen histórico

Las iniciativas del Gobierno Brasileño para el desarrollo de la economía del hidrógeno están focalizadas en el Programa de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Economía del Hidrógeno (ProH2), antiguo Programa Brasileño de Sistemas de Celdas de Combustible (PROCaC) [MCT, 2010], creado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT), y la Guía para una infraestructura de la economía del hidrógeno en Brasil, creada por el Ministerio de Minas y Energía (MME) [MME, 2010].

Hasta el año 2001, las acciones en las áreas de hidrógeno y celdas de combustible eran ejecutadas en forma dispersa, en varias instituciones y con financiamientos de diferentes agencias y empresas. Esta situación llevó al Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT) a realizar un trabajo de prospección con el objetivo de identificar las competencias científicas y tecnológicas y las investigaciones y proyectos en funcionamiento en estas áreas.

Este trabajo sirvió como base para la creación del Programa Brasileño de Sistemas de Celdas de Combustible (PROCaC) a través de la Resolución MCT n.º 731 del 14 de noviembre de 2002. Este programa fue estructurado en forma de redes de I + D, procurando promover la coordinación de las acciones y proyectos de cada institución, estructurar un plan para recomponer y compatibilizar la infraestructura de I + D ya instalada, fomentar la capacitación de recursos humanos; implementar un sistema de informaciones e intercambio de conocimientos entre los diversos grupos y especialistas e incentivar la participación de empresas brasileñas en el proceso de absorción de esta tecnología. En el 2005, el PROCaC pasó a denominarse Programa de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Economía del Hidrógeno (ProH2) para representar una mayor amplitud del programa.

Desde su lanzamiento, el Programa fue implantado gradualmente por medio de la liberación de recursos para la mejora de la infraestructura de los laboratorios, de una concesión de becas de maestría y de doctorado promoviendo la formación de recursos humanos específicos y de la implantación de redes de investigación, desarrollo y proyectos integrados entre las diversas instituciones participantes.

En 2006 y 2007 fueron liberados los recursos para la implementación de las tres primeras redes de I + D: (i) red de hidrógeno y combustibles; (ii) red de celdas de combustible de tipo PEM; (iii) red de celdas de combustible de tipo SOFC. La elección de estas redes para la implementación de proyectos de investigación del PROH2 se debió a la competencia ya existente en estas tres áreas. Varios grupos ya estaban trabajando en electroquímica, en sistemas de producción electrolítica de hidrógeno, en nuevos materiales y óxidos cerámicos y en el desarrollo de catalizadores para procesos termoquímicos.

La Tabla 4.1 muestra las inversiones realizadas en los últimos años (2001–2008) en proyectos en las áreas de hidrógeno y celdas de combustible, financiados por la FINEP, CNPq, FAPESP y otras empresas y organismos.

Actualmente, el programa tiene cerca de 40 grupos de investigación en todo el Brasil, contratados por convenios con FINEP, y actuando en el desarrollo de ciencia y tecnología en hidrógeno y celdas de combustible.

La implantación del PROCaC y el correspondiente aumento en las inversiones se reflejaron directamente en un aumento en la producción científica sobre hidrógeno, como se puede ver en la Figura 4.3. Se aprecia un fuerte aumento de las publicaciones en revistas indexadas a partir de 2002. Durante los últimos años, se produjo también un aumento en

el número de tesis de maestrías y de doctorados sobre el tema de hidrógeno.

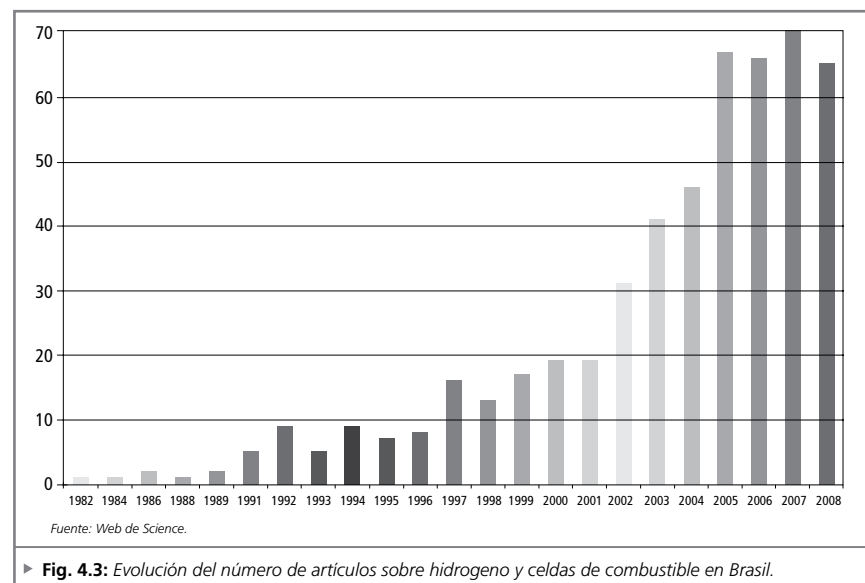
Además del PROH2, el Ministerio de Minas y Energía en el 2005 elaboró la Guía para una infraestructura en la Economía del Hidrógeno en Brasil. El documento tiene como objetivo principal definir las acciones para introducir el hidrógeno en la matriz energética brasileña en el 2020.

Este documento establece las siguientes premisas para la creación de un mercado para el hidrógeno:

- Reducción del impacto ambiental, principalmente aquellos originados por la contaminación atmosférica en grandes centros urbanos;
- Reducción de la dependencia de combustibles fósiles;
- Producción, en el corto plazo, de hidrógeno a partir de gas natural;
- Producción, en el mediano plazo, de hidrógeno a partir de fuentes renovables de energía, con énfasis en el empleo del etanol;
- Desarrollo de base tecnológica para lograr confiabilidad en los consumidores.;
- Sustentabilidad económica en el desarrollo del mercado para el hidrógeno;
- Planeamiento para lograr la participación de la industria nacional de bienes y servicios en el desarrollo de la nueva economía.

Agencia	Valor (US\$)
FINEP – proyectos de investigación	15.930.477,44
FINEP – infraestructura	1.467.882,88
PNUD	9.587.416,31
EMTU	1.326.334,76
Empresas	2.039.493,56
Petrobras	581.652,36
CNPq	2.965.665,24
FAPESP	11.581.667,73
ANEEL/CHESF	2.777.356,22
Total	48.257.946,51

► **Tabla 4.1:** Inversiones en hidrógeno y en celdas de combustible (2001-2008) en dólares (cambio - 30 diciembre 2008).



► **Fig. 4.3:** Evolución del número de artículos sobre hidrógeno y celdas de combustible en Brasil.

4.2.2. Programa de Ciencia, Tecnología e Innovación para una economía del hidrógeno (ProH2)

El ProH2 fue creado en consonancia con las prioridades estratégicas del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT) presentadas en su Plan de Acción para Ciencia, Tecnología e Innovación (PACT&I). Este plan establece líneas de acción para una consolidación institucional del sistema nacional de C,T&I, formación y capacitación de recursos humanos para C,T&I, establecimiento de una infraestructura y fomento de la investigación científica y tecnológica, y particularmente, la consolidación de I + D + I para una economía del hidrogeno.

El principal objetivo del ProH2 es desarrollar acciones integradas y cooperativas de C,T&I que permitan la creación de una tecnología nacional en sistemas energéticos basados en celdas de combustible, orientadas a la producción de energía eléctrica de manera eficiente y con bajo impacto ambiental. Estas acciones integradas deben abarcar:

- Investigación básica y tecnológica;
- Proyectos tecnológicos demostrativos;
- Apoyo al desarrollo de materiales y prototipos (pre-comercial)

El ProH2 también aborda tópicos como normas y patrones, seguridad operativa, concientización de la sociedad y formación de recursos humanos.

El foco del ProH2 está en la aplicación de sistemas de celdas de combustible para generación de energía eléctrica distribuida en sistemas aislados y em vehículos para transporte colectivo urbano. En la fase actual, el programa prioriza dos tipos de celdas de combustible: PEM y SOFC.

La producción de hidrogeno será hecha preferentemente a partir de etanol, aunque otras fuentes como biomasa, residuos y fuentes renovables (solar, eólica, hidráulica) serán consideradas también. Las fuentes fósiles, como gas natural, podrían ser utilizadas, dentro de la escala de prioridades establecida por la Guía para una economía del hidrógeno del MME. El programa generó las siguientes directivas generales:

- Creación y operación de redes cooperativas de C,T&I en celdas de combustible y en hidrógeno, incluyendo universidades, institutos y centros de investigación, incubadoras y empresas;
- Apoyar la revitalización y mejora de la infraestructura de investigación de las instituciones involucradas en el ProH2;
- Fomentar la formación y el entrenamiento de recursos humanos, con énfasis en el post grado en Brasil y en el post doctorado en centros de excelencia en Brasil y en el exterior.
- Implementar proyectos de demostración de diferentes sistemas de celdas de combustible y de tecnologías de producción de hidrogeno, con prioridad para las tecnologías desarrolladas en el ProH2;
- Implementar proyectos de demostración integrados que privilegien el uso de combustibles renovables nacionales, con especial énfasis en el reformado de etanol.
- Fomentar el establecimiento de normas y patrones para la certificación de productos, procesos y servicios relativos a las tecnologías de hidrógeno y celdas de combustible.
- Mantener y disponer de información sobre los grupos de investigación, la infraestructura, los proyectos y empresas involucradas con las tecnologías del hidrógeno en Brasil.

4.2.3. Las redes del PROH2.

El programa fue estructurado en cinco redes de investigación y desarrollo:

- Red de Producción y almacenamiento de Hidrógeno;
- Red de Celdas de Combustible de Electrolito Polimérico (PEMFC);
- Red de Celdas de Combustible de Óxido Sólido (SOFC);
- Red de Sistemas, Integración y Aplicación;
- Red de Utilización.

A continuación, serán descritas las tres primeras redes, que son las que más tiempo están en funcionamiento.

4.2.3.1- Red de Producción y almacenamiento de Hidrógeno

La red de producción y almacenamiento de Hidrógeno involucra a 14 instituciones de todo el Brasil (los nombres de las instituciones correspondientes a cada sigla están descritas en el anexo V): INT; IPEN; ITP; UNICAMP; UEM; USP / São Carlos; UFBA; UFF; UFRGS; UFRJ/COPPE; UFRJ/EQ; UFRN; UFSCar. La Figura 4.4 muestra la ubicación geográfica de estas instituciones en el territorio brasileño.

Los proyectos en ejecución dentro de la red están orientados al desarrollo en forma integrada de tecnologías de producción de hidrógeno para su empleo en celdas de combustible a partir de gas natural, etanol y otras fuentes renovables de energía como la biomasa, la producción biológica de hidrógeno y la electrólisis. El diagrama de la Figura 4.5 muestra las diferentes líneas de trabajo en la red.

El desarrollo de nuevos catalizadores estables y selectivos para las etapas de reformado y purificación de la corriente de hidrógeno es objeto de estudio de varios trabajos. Nuevos procedimientos de preparación, tendientes a obtener nano partículas y también un mejor control de su distribución de tamaños, podrá contribuir a la eliminación de barreras importantes tales como la desactivación de los catalizadores. Estos proyectos comprenden tests en escala banco hasta el "scaling up" de catalizadores y el montaje de prototipos. El reformado de la biomasa y de líquidos derivados de la biomasa, como el etanol, es objeto de especial atención. Tecnologías como el reformado en fase acuosa de glicerina, un subproducto del proceso de producción de biodiesel, o el reformado del bio-óleo, proveniente de la pirólisis rápida de la biomasa, pueden convertirse en rutas alternativas de producción de hidrógeno a partir de fuentes renovables.

4.2.3.2- Red de Celdas de Combustible de Electrolito Polimérico (PEMFC).

La Red PEM reúne doce instituciones de investigación: IPEN, USP/São Carlos, USP/Ribeirão Preto, UFRJ/IMA, UFRJ/IQ, UFMA, UFBA, UFPA, UNESP/Araraquara, UNESP/Bauru, IPT y CEPEL. Estas instituciones se encuentran geográficamente distribuidas en casi todo el territorio nacional, pero con una significativa concentración en el eje Rio - São Paulo como muestra la Figura 4.6.

Resultados significativos obtenidos en estos proyectos muestran un desarrollo de una membrana de Nafion® modificada con nano-tubos de óxido de titanio para PEMFC operando a temperaturas de 130°C; el electrolito presenta un potencial dos veces superior al de una membrana no modificada (Figura 4.7) [Linardi, 2010]. Otro gran esfuerzo es el desarrollo de electrocatalizadores para la oxidación directa de etanol a baja temperatura; en este caso se desarrolló una aleación de Pt-Rh utilizando dos métodos diferentes de preparación (impregnación, IM, y reducción de ácidos metálicos con ácido fórmico, MAF). Se observó una perceptible disminución del potencial de inicio de reducción del etanol principalmente para una aleación Pt-Rh MAF (Figura 4.8) [Lima, 2008].



Fig. 4.4: Grupos de investigación en producción de hidrógeno, distribuido en el territorio nacional.

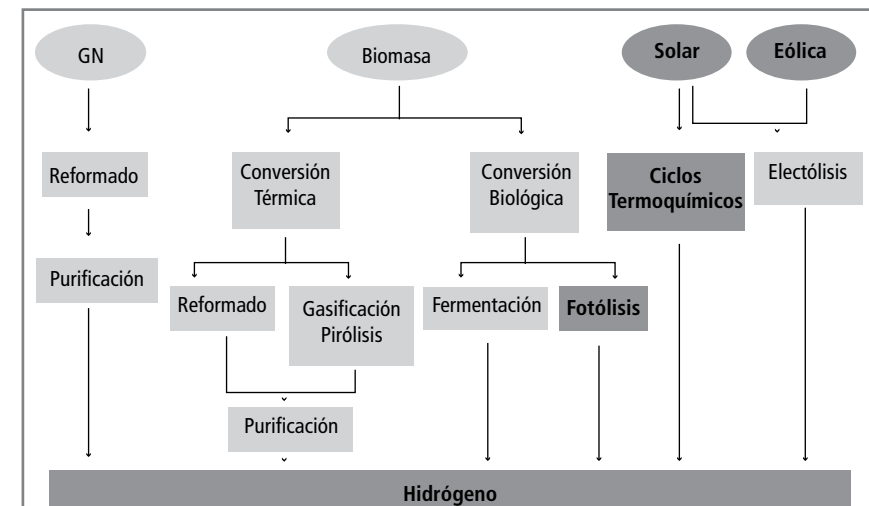
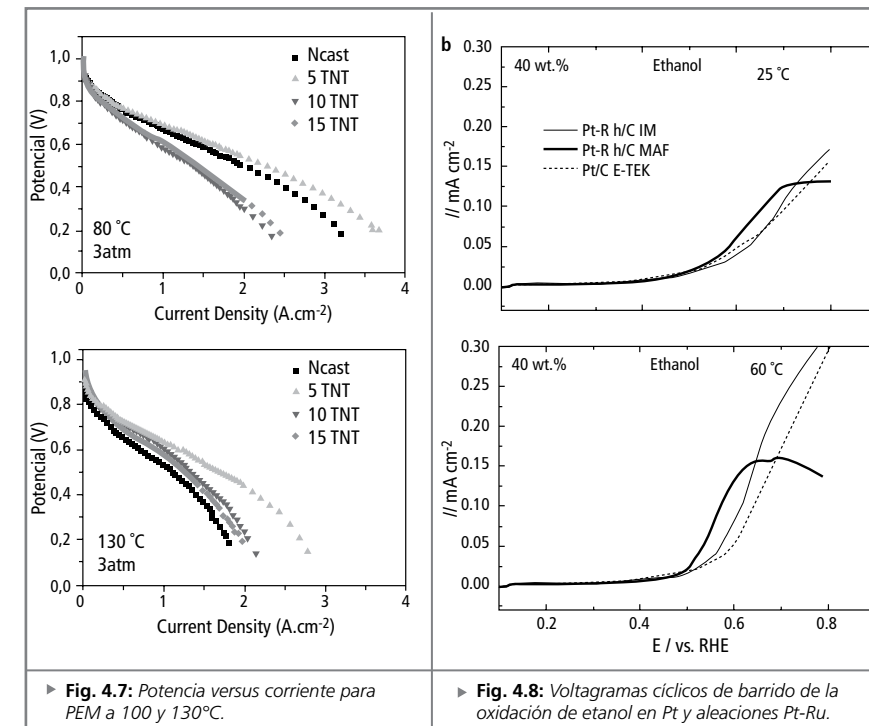
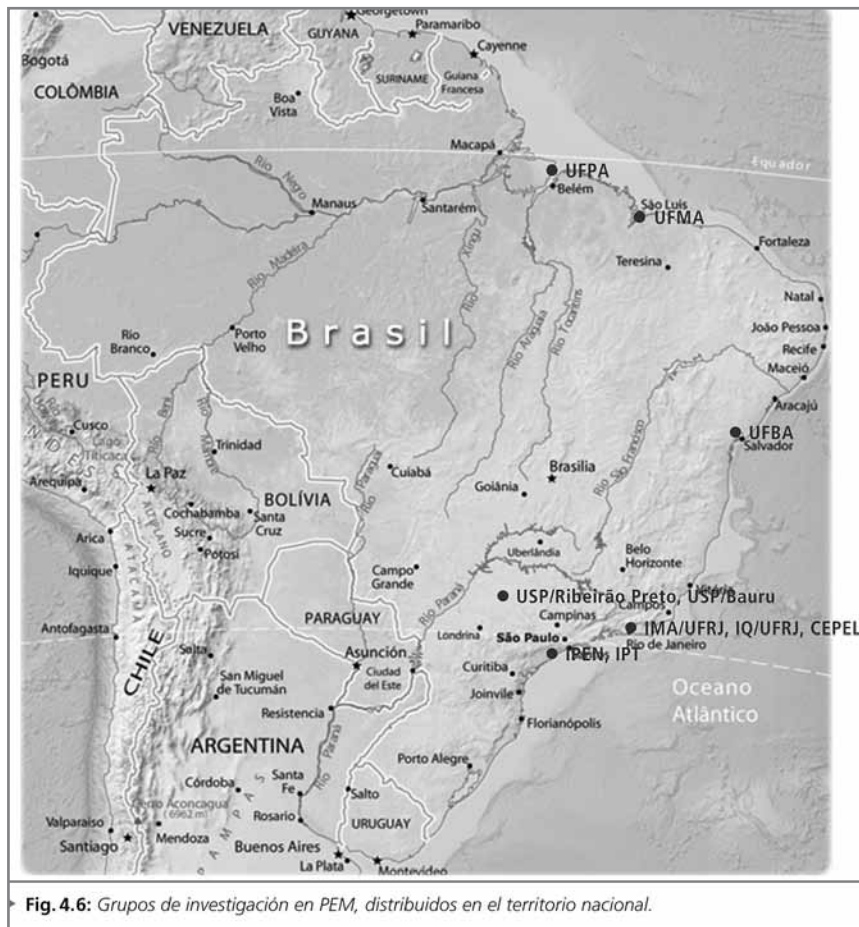


Fig. 4.5: Rutas de producción de hidrógeno a partir de diferentes fuentes. Las rutas más claras están siendo estudiadas actualmente.

4.2.3.3- Red de Celdas de Combustible de Óxido Sólido (SOFC) (Red PaCOS)

La red PaCOS congrega nueve instituciones de investigación: UFRJ/COPPE, UENF, UFRN, UGMG, UFScar, UFBA, UFSC, UNESP/Botucatu e IPEN. Estas instituciones se encuentran geográficamente distribuidas en casi todo el territorio nacional, como muestra la Figura 4.9. El objetivo general de la Red PaCOS es bastante amplio, contemplando desarrollo, tests y caracterización de insumos, componentes y dispositivos completos de celdas de combustible de óxido sólido, con el propósito de dominar todas las etapas tecnológicas necesarias para su comercialización. Los proyectos desarrollados en esta red se describen a continuación. Primero, la síntesis y caracterización de electrolitos a base de YSZ, ánodos a base de níquel soportado en YSZ y cátodos a base de compuestos de LSM e YSZ, todos estos materiales obtenidos en forma de polvo y pastillas. Este proyecto también aborda la obtención de interconectores a base de cromita de lantano, bien como "composites" de YSZ, ceria y niobia para uso como electrolito. Segundo, la preparación de "films" de LSM depositados por el método de "spay-pyrolysis" para uso como cátodo de SOFC. A partir de este material, se prepararán células unitarias con configuración planar, incluyendo los interconectores.



Tercero, la obtención de suspensiones estables de materiales sólidos utilizados en la estructura de la pila SOFC, y la preparación de celdas unitarias por el método *tape-casting*. Finalmente, y en base a los resultados obtenidos en los otros proyectos, montar y testear una pila para operar a temperaturas intermedias (600-850°C). La estructura de la Red PaCOS también incluye la formación de mano de obra especializada, a través de maestrías y doctorados.

4.2.4. Proyectos de demostración

Paralelamente a los proyectos financiados en el ámbito de las redes del programa PROH2, otros proyectos sobre hidrógeno y celdas de combustible con diferentes fuentes de financiamiento, se están llevando a cabo. Se citarán, a modo de ejemplos, tres grandes proyectos.

El primero de ellos consiste en la construcción de un prototipo de ómnibus urbano eléctrico híbrido de 12 metros, con chasis de piso bajo. Utiliza un motor eléctrico alimentado por un conjunto de celdas de combustible tipo PEM de baja potencia (~70kWe) y por dos baterías de litio y super capacitores; el hidrógeno se almacena en cilindros de fibra de carbono y aluminio [EMTU, 2010]. El emprendimiento fue financiado por FINEP, Petrobras, CNPq y FAPERJ (Fundación de Amparo a la Investigación del Estado de Río de Janeiro). El ómnibus fue diseñado por COPPE / UFRJ y las celdas de combustible fueron construidas por la empresa brasileña Eletrocell. El proyecto tiene entre sus socios técnicos a las empresas Weg, Rotarex, Busscar, Guardian, EnergiaH, Energysat, Controllato, Manvel y Hubz. Los tests con el ómnibus comenzaron en Río de Janeiro, en mayo de 2010.

En julio de 2009, la EMTU/SP (Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos) colocó en

existen varias plantas de producción cautiva de hidrógeno según se detalla en la Tabla 4.2. En tanto en el ámbito del CONICET y de las universidades estatales, existían grupos de I+D trabajando en los procesos de producción de hidrógeno a partir de hidrocarburos y alcoholes, en algunos casos a través de convenios con la empresa YPF. Se investigaba sobre nuevos catalizadores, diseño de reactores y simulación de procesos.

A mediados de los años 80 y debido a la escasez de recursos fósiles y al deterioro del medio ambiente como consecuencia del uso indiscriminado de los combustibles tradicionales, se comienza a visualizar al hidrógeno como vector de energía. Y en este sentido es el Dr. J.C. Bolcich, por ese entonces Jefe del Grupo de Metalurgia del Centro Atómico Bariloche el primero en instalar este concepto en la Argentina. Bolcich comenzó dirigiendo, en sucesivos años, trabajos finales de carrera de estudiantes del Instituto Balseiro en el tema de hidruros metálicos para almacenamiento de hidrógeno. Posteriormente, en 1990 el Dr. Hernan Peretti, de regreso de una estadía en el extranjero, comienza a colaborar con él. Bolcich fue el fundador de la Asociación Argentina del Hidrógeno [Asociación Argentina del Hidrógeno. web], el presidente y organizador de la Conferencia Mundial sobre Hidrógeno realizada en 1998 en Buenos Aires y por primera vez en Latinoamérica y el impulsor de la ley de hidrógeno (ver mas adelante). Actualmente lidera la Planta experimental de Hidrógeno de Pico Truncado en la Patagonia, la cual produce hidrógeno por electrólisis del agua usando energía eólica.

A mediados de los 80 también comienzan las investigaciones en todo el mundo relacionadas con la obtención del hidrógeno a partir de materias primas renovables. En nuestro país el PINMATE, en la Universidad de Buenos Aires, empieza a trabajar sobre la producción de hidrógeno por reformado con vapor de etanol como consecuencia de un contrato firmado entre UBATEC y COPERSUCAR, una cooperativa de ingenios azucareros de Brasil.

Empresa	Localización	Producto final	Capacidad (t/a)	Producción de H ₂ (Nm ³ /h)
Profértil	Bahía Blanca	Amoniaco, urea	690000	186000
PASA S.A.	Campana	Amoniaco, urea	115000	1145
Fábrica militar	Río Tercero	Amoniaco	12000	122
YPF S.A.	Ensenada	Metanol	25000	3600
YPF S.A.	Plaza Huinul	Metanol	400000	57500
Resinfor Metanol S.A.	Gral San Martín	Metanol	50000	7190
YPF S.A.	Luján de Cuyo	JP		
Siderca	Campana	Hierro esponja		70200
Siderar	San Nicolás	Hierro esponja		
Air Liquide		Gases especiales		
AGA		Gases especiales		

► **Tabla 4.2:** Empresas productoras de hidrógeno.

4.3.2. El hidrógeno en el nuevo siglo

A finales del siglo pasado y comienzos de éste las investigaciones en todo el mundo sobre producción, usos y almacenamiento del hidrógeno como vector de energía se incrementaron significativamente tanto en los ámbitos universitarios como en las grandes corporaciones relacionadas con las industrias de la energía y automotriz. Paralelamente se produce un crecimiento notable de desarrollos relacionados con las pilas de combustible. Como reflejo de la situación internacional, en Argentina surgen nuevos grupos dedicados a investigar en hidrógeno y en pilas de combustible. Se organizan foros y congresos sobre estos temas entre los cuales se destaca el organizado en forma conjunta por las Academias Nacionales de Ciencias Exactas e Ingeniería en el año 2003 que culmina en un libro titulado "Hidrógeno y la energía del futuro" editado por ambas academias [Dubois y col., 2004]. En el 2005 el Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable (IEDS) dependiente de la CNEA y por iniciativa de su director el Dr. Daniel Pasquevich, organizó el primer congreso sobre Hidrógeno y Fuentes sustentables de Energía (HYFUSEN) que se realizó en San Carlos de Bariloche. Posadas y San Juan fueron las sedes en 2007 y 2009 y el número de asistentes y de trabajos fue creciendo en cada convocatoria. La particularidad de HYFUSEN es que, en forma simultánea al congreso, se imparten cursos de difusión para alumnos de los colegios secundarios y estudiantes universitarios con el propósito de introducirlos en la temática del hidrógeno [IEDS web].

El gobierno nacional, a principios del año 2000, impulsa a través de la Secretaría de Ciencia y Tecnología el desarrollo de áreas prioritarias y en ese sentido apoya proyectos de I + D relacionados con las energías renovables, entre éstos la construcción de una planta piloto de producción y purificación de hidrógeno a partir de la biomasa en dependencias de la FIUBA. La creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCYT) profundiza esta tendencia, en particular cuando este organismo define áreas de investigación y desarrollo prioritarias y decide estimular la innovación y el desarrollo tecnológico. En el 2005 el MINCYT lanza una convocatoria de proyectos de áreas estratégicas (PAE) y en el marco de la misma se aprueba y se financia un PAE sobre "Producción, purificación y aplicaciones del hidrógeno como combustible y vector de energía". Este proyecto reúne a más de 120 investigadores argentinos que trabajan sobre estas temáticas. Las instituciones involucradas son CONICET, CNEA y UBA. Las empresas que apoyan este proyecto son ENARSA, CONUAR, EDENOR e INVAP. Los institutos que trabajan en el proyecto son: Centro Atómico Bariloche y Centro Atómico Constituyentes, ambos de la CNEA; CINDECA, CINSO, INCAPE, INGAR, INIFTA, INTEQUI y PLAPIQUI, centros del CONICET localizados en las provincias de San Luis, Santa Fe y Buenos Aires. Los grupos universitarios que forman parte de este proyecto pertenecen a la Facultad de Ingeniería de la UBA (Laboratorio de Procesos Catalíticos), las Universidades Nacionales de La Plata, Litoral, de San Luis, del Sur y la Tecnológica Nacional Regional La Plata (ver Figura 4.10). El Estado, por medio de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y empleando diversos instrumentos de financiación, aportará durante cuatro años 3 millones de dólares aproximadamente [PAE web].

Los objetivos generales del proyecto son:

1. Brindar un espacio a los grupos de I&D identificados con esta temática en donde analizar y discutir los avances relacionados con: i) las tecnologías actuales y futuras de producción y purificación catalíticas de hidrógeno, con particular énfasis en las materias primas y procesos, ii) los avances vinculados al almacenamiento, adecuación de calidad, transporte

y seguridad del hidrógeno, iii) el desarrollo y ensayo de los materiales empleados en las pilas de combustible para fuentes móviles y estacionarias con énfasis en el electrolito (la membrana polimérica en el caso de celdas PEM y la membrana cerámica en el caso de celdas SOFC).

2. Articular las potencialidades de los grupos de I&D argentinos dedicados al estudio de nuevos procesos de producción y purificación de hidrógeno, al desarrollo de nuevos materiales para su almacenamiento y transporte y al desarrollo de nuevos materiales para pilas de combustible, componentes y prototipos de las mismas, para fuentes móviles y estacionarias.

3. Vincular a estos grupos de I&D con el sector productivo y con los organismos estatales, con el propósito de establecer herramientas que permitan encontrar soluciones a problemas técnicos, aumentar la capacidad y potenciar el desarrollo de sus integrantes, y contribuir progresivamente al desarrollo tecnológico propio.

4. Realizar acciones de capacitación y formación de recursos humanos que contribuyan a la adecuada preparación de los especialistas argentinos para la asimilación y transferencia de tecnología minimizando los riesgos tecnológicos, ambientales, energéticos y financieros.

5. Desarrollar tecnología propia en lo que se refiere a generación, purificación, compresión y almacenamiento de hidrógeno y a las pilas de combustible, preferentemente las de membrana polimérica y las de óxido sólido. Las características de este proyecto se resumen en la Tabla 4.3.

Al margen del PAE, existen otros grupos trabajando en hidrógeno y pilas de combustible. Un consorcio compuesto por el Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable de CNEA, la Universidad Tecnológica Nacional Regional Buenos Aires y la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires estudia un combustible híbrido gaseoso (mezcla de GNC e Hidrógeno) para medios de transporte público de pasajeros y de carga [IEDS web].

En enero de 2009 comenzó a funcionar el primer Módulo Argentino de Energía Limpia (MAEL I), para proveer de energía a la Base Esperanza en la Antártida. El MAEL I produce energía eléctrica a partir del viento, que es utilizada para calefaccionar, cocinar y hacer

INSTITUCIONES	GRUPOS DE I+D+I	PRESUPUESTO OTORGADO u\$s
CONICET	CAB (CNEA)	Coordinación: 26.700
CNEA	CAC (CNEA)	PME: 1.230.000
UBA	CINDECA (CONICET-UNLP)	PID: 1.000.000
EMPRESAS	CITEFA	PICT: 1.000.000
ENARSA	INCAPE (CONICET-UNL)	PRH: 1.000.000
INVAP	INGAR (CONICET-UTN)	PRAMIN: 200.000
EDENOR	INIFTA (CONICET-UNLP)	PRIETEC: 367.000
CONUAR	INTEQUI (CONICET-UNSL)	+ 120 PERSONAS, ENTRE INVESTIGADORES Y BECARIOS
	LPC (FIUBA)	
	PLAPIQUI (CONICET-UNS)	

Tabla 4.3: Características del PAE Hidrógeno.

funcionar motores a hidrógeno. Con este proyecto la Argentina se convierte en el segundo país en instalar equipos de hidrógeno en la Antártida. El MAEL I es un desarrollo que surge del trabajo conjunto entre el Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA), la Planta Experimental de Hidrógeno de Pico Truncado, la Asociación Argentina del Hidrógeno y la Escuela Superior Técnica del Ejército y está destinado a proveer con energía limpia a sitios aislados. Se alimenta con energía eólica para poder producir y almacenar hidrógeno y oxígeno a 30 bar, sin usar compresores.

A nivel institucional, el Poder Legislativo sancionó en el año 2006 la Ley N° 26.123 que declara de interés nacional el desarrollo de la tecnología, la producción, el uso y aplicaciones del hidrógeno como combustible y vector de energía. En el artículo 3° se destacan los objetivos:

- a) Desarrollar y fortalecer la estructura científico- tecnológica destinada a generar los conocimientos necesarios para el aprovechamiento de los recursos energéticos no convencionales.
- b) Incentivar la aplicación de tecnologías que permitan la utilización del hidrógeno, en especial para el desarrollo de proyectos experimentales y las transferencias de tecnologías adquiridas.
- c) Incentivar la participación privada en la generación y producción del hidrógeno propendiendo a la diversificación de la matriz energética nacional, priorizando aquellos emprendimientos en donde el beneficio sea significativo en términos de desarrollo de la industria nacional, utilización de mano de obra local y captación de recursos humanos nacionales de alta especialización e innovación tecnológica.
- d) Promover la formación de recursos humanos y el desarrollo de ciencia y tecnología en

materia de energía de hidrógeno, comprendiendo la realización de programas de promoción de emprendimientos de innovación tecnológica.

e) Promover la cooperación regional, especialmente con los países que integran el MERCOSUR e internacional, en el campo de la generación y utilización del hidrógeno, mediante el intercambio de conocimientos científicos y técnicos y propender a la transferencia de tecnologías desarrolladas, observando los compromisos de no contaminación asumidos por la República Argentina.

f) Fomentar el desarrollo de un plan educativo nacional para concientizar a la población en la necesidad de disminuir la contaminación ambiental y de los usos y alcances del hidrógeno como

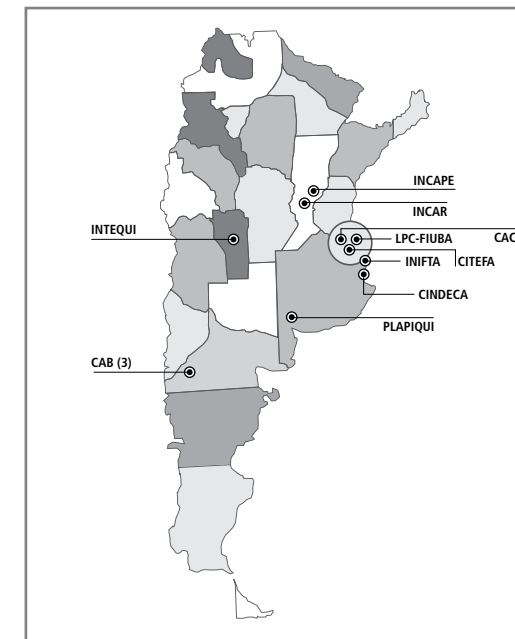


Fig. 4.10: Distribución geográfica de los integrantes del PAE.

combustible y vector energético.

g) Impulsar el estudio de la obtención del hidrógeno a partir del uso de energías renovables y no renovables, el montaje de plantas pilotos para la generación de energía a partir del hidrógeno mediante procesos no contaminantes.

h) Incentivar el desarrollo y producción de equipos individuales e industriales que utilicen el hidrógeno como portador único o combinado de energía.

Lamentablemente, al momento de redactar este documento y luego de más de tres años de sancionada por el Poder Legislativo, la ley todavía no está reglamentada, tarea que es de responsabilidad de la Secretaría de Energía de la Nación.

Referencias

Asociación Argentina del Hidrógeno. www.aah2.org.ar/

Dubois R., R. Perazzo y W. Triacca Editores. Producción de hidrógeno a partir de hidrocarburos y alcoholes. Publicado por ANCFN y ANI, Buenos Aires, 2004, 194 pags. ISBN 987-96759-1-6

IEDS. Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable. www.cab.cnea.gov.ar/ieds/

PAE. Proyecto de Area Estratégica . Producción, purificación y aplicaciones del hidrógeno como combustible y vector de energía. www.redhidrogeno.com.ar

Capítulo 5. Matriz DAFO en Iberoamérica

5.1. Matriz DAFO en España

La Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno y las Pilas de Combustible realizó un análisis DAFO sobre la situación del hidrógeno en España [PTE-HPC, 2009]. Para ello consideró los diferentes aspectos de producción, almacenamiento y distribución, así como los diferentes sectores de aplicación. El análisis interno de fortalezas y debilidades, y el externo de oportunidades y amenazas queda resumido en los siguientes puntos.

Fortalezas

1. Relacionadas con la producción de hidrógeno mediante métodos electrolíticos

Existe conocimiento, experiencia, recursos, capacidad de desarrollo y un tejido empresarial en tecnologías relacionadas con la producción de hidrógeno mediante procesos electrolíticos basados en energías solares y eólicas.

2. Relacionadas con la producción de hidrógeno mediante métodos no electrolíticos

Los métodos termoquímicos implantados en España presentan rendimientos elevados, generan hidrógeno puro, son económicamente competitivos y disponen de una masa crítica de investigación importante.

3. Relacionadas con la producción de hidrógeno convencional y nuclear

Existe un sustrato científico y capacidad de fabricación de componentes de apoyo a las tecnologías de reformado de combustibles y gasificación. Además, existen empresas gasistas y se dispone en España de una planta líder en tecnología de gasificación de combustibles.

4. Relacionadas con el almacenamiento y la distribución de hidrógeno

Existen empresas españolas fuertes en distribución de gas natural, se dispone de tres instalaciones de distribución de hidrógeno, se ha ganado experiencia en el uso de gas natural en el transporte y en las estaciones de distribución de hidrógeno del Proyecto CUTE, y hay un apoyo de los grupos de I+D así como de la plataforma PTE-HPC como instrumento de discusión de temas relacionados con el hidrógeno.

5. Relacionadas con la aplicación del hidrógeno en el transporte

La experiencia de empresas españolas en proyectos de demostración y desarrollo (CUTE, CITYCELL y HYCHAIN), un fuerte tejido industrial en el sector de los componentes del automóvil, un conocimiento sectorial importante, un alto nivel de las ingenierías españolas en la integración de sistemas y balances de planta, una industria importante de fabricación y montaje de vehículos, una cierta experiencia tecnológica en vehículos de baja potencia eléctricos adaptables a pila de combustible, así como una creciente independencia de determinados ámbitos del sector transporte (ferroviario, aeronáutico, etc.) para elaborar sus planes de I+D en España.

6. Relacionadas con la aplicación del hidrógeno en dispositivos de baja potencia

Existe ya tecnología competitiva en varias aplicaciones a "Early Markets", proporciona elevada autonomía y bajo mantenimiento en aplicaciones remotas y potencialidad rápida de recarga en aplicaciones móviles.

7. Relacionadas con la aplicación estacionaria del hidrógeno

Hay una representación española importante en proyectos europeos asociados a las aplicaciones estacionarias de hidrógeno y pilas de combustible (FIRST, EFFECTIVE), alto interés para su aplicación en sistemas aislados y, en especial, para almacenar energía en combinación con energía no controlable de fuentes sostenibles (fotovoltaica, eólica, etc.) y demanda para uso de hidrógeno en grandes motores térmicos usados en aplicaciones estacionarias. Además, la generación distribuida presenta beneficios en cuanto a autonomía y fiabilidad de suministro energético local frente a posibles fallos en la red eléctrica, las pilas de combustible son silenciosas y no contaminantes, reducen el peso y tamaño con respecto a las baterías para la misma cantidad de energía disponible, y se puede usar su energía residual.

Debilidades

1. Relacionadas con la producción de hidrógeno mediante métodos electrolíticos

No se dispone de fabricantes nacionales de electrolizadores y componentes, no existe prima a la producción de hidrógeno a partir de Energías Renovables ni una normativa estandarizada aplicable a estas instalaciones, el rendimiento para la producción de hidrógeno y la vida útil de los dispositivos siguen siendo reducidos, y no se dispone de una tecnología de electrolisis adecuada.

2. Relacionadas con la producción de hidrógeno mediante métodos no electrolíticos

Los procesos termoquímicos son corrosivos y su coste es muy elevado, los procesos fotobiológicos son de difícil aplicación comercial, y la fotólisis del agua es cara y todavía no está desarrollada.

3. Relacionadas con la producción de hidrógeno convencional y nuclear

El coste derivado de las emisiones de CO₂ o el coste asociado a su almacenamiento puede afectar a la producción de hidrógeno vía energía convencional, no existen políticas fiscales, financieras y económicas definidas para el hidrógeno, no existe una tecnología gasista propia ni reactores nucleares experimentales, y tampoco se dispone de instalaciones de producción de hidrógeno líquido ni de fabricación de catalizadores y de membranas.

4. Relacionadas con el almacenamiento y distribución de hidrógeno

La implicación empresarial en I+D en España aplicada al almacenamiento es muy deficiente, la componente académica del I+D pesa más que la parte aplicada, no existen empresas ni grupos de investigación líderes para proyectos de envergadura, hay carencia de instalaciones de licuefacción y redes de hidrógeno, y además los principales fabricantes de automóviles tienen plantas de producción pero no centros de ingeniería.

5. Relacionadas con la aplicación del hidrógeno en el transporte

Los proyectos de demostración existentes son puntuales, las empresas españolas tienen experiencia muy limitada en tecnologías de hidrógeno y pilas de combustible, el presupuesto es escaso y las empresas españolas y europeas fabricantes de componentes de pilas en el área de transporte son muy pocas, los componentes de las pilas de combustible son caros y poco fiables, la tecnología de procesado de fuel y reformado en el propio vehículo no está totalmente resuelta, y hay carencia de planes de mercado por parte de las empresas así como de una política relativa al transporte alternativo y normativas de seguridad y calidad.

6. Relacionadas con la aplicación del hidrógeno en dispositivos portátiles

Este tipo de tecnología se percibe como cara, hay limitada disponibilidad de hidrógeno barato y de elevada pureza, y una escasa trayectoria industrial en este campo.

7. Relacionadas con la aplicación estacionaria del hidrógeno

No existe la tecnología de almacenamiento de gran capacidad, segura y de bajo coste que justifique su rentabilidad para este tipo de aplicaciones, la gestión eficaz de la energía es más compleja que en los sistemas energéticos convencionales, no existen bancos de ensayo de alta potencia, y hay muy pocas empresas españolas implicadas en fabricación y uso estacionario de pilas de combustible.

Oportunidades

1. Relacionadas con la producción de hidrógeno mediante métodos electrolíticos

En el desarrollo de electrolizadores de gran tamaño (parques eólicos), hay oportunidad para la producción de hidrógeno a partir de Energías Renovables, gran potencial de desarrollo industrial y de generación de empleo, mercado en el desarrollo del hidrógeno como método para almacenar energía, negocio para el desarrollo empresarial de cara a aprovechar el conocimiento científico y tecnológico existente, conciencia social en el apoyo a los combustibles limpios, y desarrollo de electrolizadores de mayor potencia que aprovechen la energía termosolar.

2. Relacionadas con la producción de hidrógeno mediante métodos no electrolíticos

Desarrollo de una fuente limpia de energía que emplea materia renovable, utilización de biomasa y recursos autóctonos, y valorización de ciertos residuos (purines).

3. Relacionadas con la producción de hidrógeno convencional y nuclear

Desarrollo de tecnología de reformado catalítico de combustibles fósiles, relevo de tecnologías de producción de hidrógeno más o menos obsoletas en empresas gasistas, y posibilidad de fomentar la aplicación de la energía nuclear.

4. Relacionadas con el almacenamiento y distribución de hidrógeno

Potenciación de las redes de transporte y distribución de energía del país, integración de técnicas renovables de generación energética, creación de una infraestructura desplegada en torno a las estaciones de suministro actuales y los productores industriales, planteamiento de la posibilidad de mallado en la península ibérica, y desarrollo de una infraestructura para vehículos eléctricos.

5. Relacionadas con la aplicación del hidrógeno en el transporte

Aprovechar los avances en la tecnología y la infraestructura de la hibridación en vehículos y sus sinergias, acoplamiento de unidades de potencia al hidrógeno y pilas de combustible con unidades auxiliares de potencia, aprovechamiento de los nichos de oportunidad así como proyectos de demostración, tendencia europea a que el centro de los municipios se electrifique, y oportunidad para los fabricantes de componentes que podrían orientarse hacia nuevas tecnologías.

6. Relacionadas con la aplicación del hidrógeno en dispositivos de baja potencia

Eliminación de barreras relativas al hidrógeno, existencia de tres grupos industriales nacionales desarrollando tecnología con soporte de conocimientos tecnológicos, y existencia de diversos integradores nacionales apostando por las pilas de combustible.

7. Relacionadas con la aplicación estacionaria del hidrógeno

Ventajas de la generación distribuida frente a las redes tradicionales centralizadas, y

supresión de las pérdidas asociadas al transporte de energía, aprovechamiento de los avances en la tecnología de la generación de energía con fuentes renovables e integración con el hidrógeno, almacenamiento local de energía en forma de hidrógeno, uso del gas natural en pilas de combustible de alta temperatura en cogeneración como transitorio durante el periodo del Protocolo de Kyoto, utilización de hidrógeno en motores de combustión interna y turbinas de pequeña potencia, que facilitará la introducción del hidrógeno en el sistema energético, al ser una tecnología ya disponible, posibilidad de utilización de grandes motores de combustión interna o de turbinas de gas para generación eléctrica en polígonos industriales, y exploración de la aplicación a sistemas insulares en base a su condición de aislamiento y lejanía.

Amenazas

1. Relacionadas con la producción de hidrógeno mediante métodos electrolíticos

El número de proveedores de tecnologías de electrolizadores es tan reducido que no hay competitividad, el coste del hidrógeno renovable no es competitivo frente al convencional (3-8 veces superior), hay una percepción social de peligro del uso del hidrógeno, y no hay necesidad de uso de hidrógeno ya que no existe mercado.

2. Relacionadas con la producción de hidrógeno mediante métodos no electrolíticos

El mercado asociado al desarrollo sostenible es ahora sólo promesa de futuro asociada al desarrollo de las energías renovables, la biomasa depende de condicionantes externos, hay incertidumbre en la financiación de los proyectos, la implicación empresarial es muy reducida, y además hay competencia con otras energías subvencionadas.

3. Relacionadas con la producción de hidrógeno convencional y nuclear

La posible no aceptación social de las tecnologías de confinamiento del CO₂, descolgarse del desarrollo tecnológico gasista y nuclear, y la oposición a la energía nuclear.

4. Relacionadas con el almacenamiento y distribución de hidrógeno

Percepción social de peligro, pérdida de oportunidades y liderazgo tecnológico frente a otros países en temas de almacenamiento, y la posible exclusión de España de la red europea de hidrogeneras, dado el escaso apoyo de Francia a esta iniciativa.

5. Relacionadas con la aplicación del hidrógeno en el transporte

La pérdida de liderazgo por no tener una previsión de mercado debido a la falta de interés por parte de la industria, no enfrentar las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible frente al vehículo eléctrico, y la imposibilidad de acercar el coste del hidrógeno renovable al convencional.

6. Relacionadas con la aplicación del hidrógeno en dispositivos de baja potencia

Que el sector de automoción de hidrógeno y pilas de combustible no prospere, que se implanten las baterías de ión-litio, y que no se consigan los objetivos de durabilidad/coste para la generación estacionaria-doméstica.

7. Relacionadas con la aplicación estacionaria del hidrógeno

El bajo interés de las empresas energéticas por perder su posición asociada a un sistema de generación centralizado, el elevado precio actual de los componentes y el alto coste de inversión inicial para el desarrollo de la tecnología, el mayor interés social en la aplicación al transporte, dispositivos portátiles u otras aplicaciones, y la ausencia de estudios de gran envergadura referentes a los nichos de mercado en aplicaciones estacionarias.

5.2. Matriz DAFO en Brasil

Fortalezas

1. Producción de hidrógeno

Existen muchos grupos realizando investigaciones sobre la producción de hidrógeno a través del reformado de gas natural, etanol y glicerol. Algunos proyectos involucran el montaje y operación de unidades piloto a partir del desarrollo obtenido en escala laboratorio. La producción de hidrógeno a partir de biomasa a través de tecnologías como la gasificación y la pirólisis tiene un gran potencial y es de gran interés para el Brasil debido a la abundancia de este recurso. También existe un fuerte conocimiento y amplia experiencia sobre la tecnología de electrólisis del agua. La producción de hidrógeno por esta vía usando fuentes renovables de energía como la solar o la eólica también tiene un gran potencial.

2. Almacenamiento y distribución de hidrógeno

Existe una buena red de distribución de gas natural ya instalada en el territorio nacional. Existe también una larga tradición de uso del gas natural en el transporte urbano. Hay una red de distribución de etanol ya instalada en todo el país lo que facilitaría el uso de este alcohol como un transportador de energía para generación distribuida.

3. Utilización del hidrógeno

La aplicación del hidrógeno en el transporte está focalizada en el transporte colectivo puesto que el país tiene un importante parque industrial instalado para la producción de ómnibus urbanos. Actualmente, existen dos proyectos de demostración en marcha, con grandes perspectivas de expansión. En Brasil hay un gran potencial para las aplicaciones estacionarias de pequeño porte de las celdas de combustible, particularmente en conjunto con fuentes intermitentes de generación de energía como pequeñas centrales hidroeléctricas, paneles fotovoltaicos y generadores eólicos donde el hidrógeno funcionaría como un almacenador de energía. El sistema de generación distribuida puede ser muy importante para atender las necesidades de comunidades remotas en un país con las dimensiones de Brasil. Existen también varios grupos trabajando en el desarrollo de celdas de combustible tipo PEM y SOFC.

Debilidades

El análisis de las debilidades sobre la situación del hidrógeno estuvo basado en el documento elaborado por el Centro de Gestión y Estudios Estratégicos (CGEE), que busca obtener subsidios para las políticas de competitividad para el período 2010 – 2025 [Hidrogênio Energético no Brasil, documento técnico, agosto 2010, número 7]. Estas debilidades se corresponden con cuellos de botella tecnológicos y económicos que deben superarse. En este sentido, son presentadas propuestas para vencer estas barreras existentes.

1-Producción de hidrógeno

- 1.1- La falta de un mercado para el hidrógeno energético;
- 1.2- Los altos costos de producción de hidrógeno;
- 1.3- Falta de políticas fiscales para estimular el desarrollo de la industria del hidrógeno;
- 1.4- Las empresas nacionales productoras de equipos relacionados con las tecnologías del hidrógeno son empresas pequeñas, que tienen restricciones financieras para ampliar su capacidad de producción;

1.5- Competencia con empresas extranjeras;

1.6- Falta de códigos, normas y patrones para las tecnologías de producción de hidrógeno energético.

Varias son las acciones políticas que pueden proponerse para incentivar el desarrollo de un mercado de hidrógeno energético y la reducción del costo de producción del hidrógeno a partir de fuentes renovables, tales como:

- (i) agregar al gas natural el hidrógeno producido a partir de fuentes renovables;
- (ii) reducir la tarifa de electricidad para la producción de hidrógeno por electrólisis del agua y reducir los impuestos incidentes sobre el etanol empleado para producir hidrógeno por reformado;
- (iii) estimular, a través de incentivos fiscales, la producción descentralizada de hidrógeno a partir de fuentes renovables;
- (iv) financiar a pequeñas y medianas empresas para la compra de equipos para la producción de hidrógeno;
- (v) realizar proyectos de demostración de tecnologías de hidrógeno financiados por el gobierno como una forma de estimular el desarrollo de empresas de base tecnológica nacionales;
- (vi) implantar un mecanismo de compras estatales para incentivar las tecnologías del hidrógeno, similar a los programas que están en funcionamiento como Proinfa y Luz para Todos;
- (vii) apertura de convocatorias de subención económica para empresas relacionadas con la tecnología del H₂;
- (viii) incentivar a empresas de base tecnológica a participar en las redes de ProH2.
- (ix) reglamentar el mercado de generación y utilización de energía eléctrica distribuida;
- (x) adoptar las normas internacionales sobre producción y utilización de hidrógeno energético para su aplicación en Brasil;
- (xi) crear centros capacitados para certificar los equipos desarrollados en el país;
- (xii) crear la Asociación Nacional del Hidrógeno;

2-Almacenamiento y distribución de hidrógeno.

2.1- Los costos de transporte de hidrógeno por gasoductos son elevados y el volumen de hidrógeno a transportar es aun bajo;

2.2- No existen fabricantes nacionales de equipos relacionados con el almacenamiento y transporte de hidrógeno, como compresores y recipientes a presión;

2.3- Falta de regulación para el transporte y almacenamiento de hidrógeno líquido;

2.4- Hay muy pocos grupos de investigación dedicados al almacenamiento y transporte de hidrógeno;

Propuestas para superar las barreras existentes en almacenamiento y distribución de hidrógeno:

- (i) Fomentar la investigación vinculada con el desarrollo de materiales para el almacenamiento de hidrógeno (hidruros metálicos, materiales nano estructurados, aleaciones metálicas);
- (ii) Establecer un marco regulatorio para el transporte del hidrógeno;
- (iii) Incentivar el desarrollo industrial de equipos para el almacenamiento de hidrógeno;

3- Utilización del hidrógeno

3.1- La falta de un mercado para el hidrogeno energético;

3.2- Reducir los costos de producción de hidrógeno;

3.3- Difundir la tecnología entre la sociedad

Propuestas para superar las barreras existentes en la utilización del hidrógeno:

- (i) La reducción de costos puede lograrse a través de inversiones en programas de I+D+I en institutos de investigación y en universidades, como se hace en el ProH2.
- (ii) El mercado puede crearse a través de encomiendas gubernamentales para proyectos de demostración; dos mercados serían los prioritarios: el de generación distribuida de energía con celdas PEM y SOFC y el del transporte colectivo (ómnibus);
- (iii) Recurrir a incentivos fiscales para crear una política industrial del sector;
- (iv) Desarrollo de políticas con el objetivo de difundir la tecnología de celdas de combustible en escuelas, empresas y universidades.

Oportunidades

La gran disponibilidad de energías renovables existentes en Brasil como solar, eólica y biomasa, representa una excelente oportunidad para la creación de un mercado de hidrógeno energético y para una reducción de los costos de producción. En este contexto, la generación distribuida de energía representa otra buena oportunidad para introducir la tecnología del hidrógeno. Hoy, en Brasil, existe una infraestructura bien establecida para la producción y distribución de etanol en todo el territorio brasileño, lo que es fundamental para la generación distribuida a partir de esta materia prima. Una buena oportunidad para expandir el mercado de las tecnologías del hidrógeno sería explorar ciertos nichos donde las celdas de combustible presentan ventajas competitivas, como por ejemplo el sector de las telecomunicaciones.

Hay un gran interés en la sociedad por consumir energía obtenida a partir de fuentes renovables.

Existen recursos humanos con conocimiento científico y técnico en las universidades y en los institutos de investigación que serán fundamentales para el desarrollo de nuevas tecnologías del hidrógeno.

Amenazas

El costo del hidrógeno producido a partir de fuentes renovables es muy elevado y la energía eléctrica generada a partir del mismo no es competitiva con la generada a partir de las tecnologías convencionales. La falta de un mercado para el hidrógeno energético no estimula la entrada de empresas a este mercado. Actualmente, existen muy pocas empresas dedicadas a la fabricación de celdas de combustible y a reformadores y sus capacidades de producción son muy bajas. Otro factor que contribuye al desinterés de las empresas en invertir en este sector es la falta de una política industrial con incentivos fiscales. Las tecnologías de hidrógeno sufren hoy la competencia de las tecnologías basadas en las baterías de ión litio y, en particular, el descubrimiento de nuevas reservas de petróleo hizo disminuir el interés del gobierno por el hidrógeno.

5.3. Matriz DAFO en Argentina

El análisis DAFO sobre la situación del hidrógeno en Argentina se realiza aquí considerando los aspectos de: producción, almacenamiento y distribución, y diferentes sectores de aplicación, teniendo en cuenta tanto el análisis interno, de fortalezas y debilidades, como el externo, de oportunidades y amenazas, existentes en el momento actual.

Las **Fortalezas** se podrían resumir de la siguiente forma:

1. Relacionadas con la producción de hidrógeno:

- Hay un buen conocimiento de las tecnologías de "reformado" aplicables a la producción de hidrógeno.
- Se está desarrollando conocimiento en el reformado de etanol a escala banco.
- Existen grupos de I+D trabajando en el reformado de glicerol
- La producción de hidrógeno mediante procesos electrolíticos a partir de energías renovables tiene un gran potencial, ya que se dispone de vastos recursos solares y eólicos.
- El rendimiento obtenido en la mayoría de los procesos en desarrollo es aceptable.
- Hay un buen nivel de investigación en catalizadores aplicables en las respectivas tecnologías.
- Se pueden establecer sinergias con la gasificación de biomasa.

2. Relacionadas con el almacenamiento y distribución de hidrógeno:

- Existen grupos consolidados de I+D trabajando en este aspecto.
- Existe una amplia red de transporte y distribución de gas natural, lo que proporciona experiencia previa en cuanto a distribución de gases.
- Hay experiencia en el uso de gas natural en flotas de transporte urbano, lo que facilita la transición al hidrógeno.

3. Relacionadas con la aplicación del hidrógeno en el transporte:

- Hay capacidad técnica a nivel nacional, ya que hay un fuerte tejido industrial en el sector de los componentes del automóvil.
- Hay una industria importante de fabricación y montaje de vehículos.

4. Relacionadas con la aplicación del hidrógeno en dispositivos de baja potencia y portátiles:

- Tienen potencial para proporcionar elevada autonomía y bajo mantenimiento en aplicaciones remotas.
- Potencialidad de rápida recarga en aplicaciones móviles.

5. Relacionadas con la aplicación estacionaria del hidrógeno:

- La alta eficiencia energética de las pilas de combustible y la posibilidad de aprovechamiento del calor residual incrementa la eficiencia energética asociada al uso en los sectores residencial e industrial.
- Hay un alto interés para su aplicación en sistemas aislados y, en especial, para almacenar energía en combinación con energía no controlable de fuentes sostenibles (solar, eólica, etc.).
- La generación distribuida presenta beneficios en cuanto a autonomía y fiabilidad de

suministro energético local frente a posibles fallos en la red eléctrica.

- Su funcionamiento es silencioso y no contaminante frente a otros sistemas de generación de energía eléctrica.
- Frente a baterías tradicionales, las pilas de combustible ofrecen una relevante reducción de peso y de tamaño para la misma cantidad de energía disponible.
- Con frecuencia es posible usar la energía residual, por ejemplo, como flujo térmico de agua caliente sanitaria o calefacción de edificios.
- Existe demanda para uso de hidrógeno en grandes motores térmicos empleados en aplicaciones estacionarias (mezclas de H₂ y GNC).

Con respecto a las **Debilidades**, se podrían señalar las siguientes:

1. Relacionadas con la producción de hidrógeno:

- El costo derivado de las emisiones de CO₂ o el costo asociado a su almacenamiento puede afectar a la producción de hidrógeno vía combustibles fósiles.
- No existen políticas fiscales, financieras y económicas definidas para el hidrógeno.
- Han pasado casi cuatro años de la sanción de una ley de hidrógeno y aun no ha sido reglamentada.
- No hay una tecnología propia de fabricación de catalizadores y de membranas.
- Falta de capacidad de producción de hidrógeno líquido.
- No se dispone de fabricantes nacionales de electrolizadores y componentes.
- Desde el punto de vista normativo/político, no existe una prima a la producción de hidrógeno a partir de Energías Renovables, o una reducción/eliminación de tasas relativas al uso de hidrógeno como combustible.
- También desde este punto de vista, no existe una normativa estandarizada aplicable a estas instalaciones.
- Procesos como reformado de alcoholes se encuentran en estadios iniciales de desarrollo, lo que impide la transferencia de tecnología.

2. Relacionadas con el almacenamiento y distribución de hidrógeno:

- Hay una escasa implicación empresarial en I+D aplicado al almacenamiento, por lo que la transferencia tecnológica es muy deficiente.
- No hay suficiente actividad en temas de aplicación, frente a la investigación básica, por parte de los investigadores.
- El territorio está, en promedio, poco poblado, y existen vacíos de población.

3. Relacionadas con la aplicación del hidrógeno en el transporte:

- El sistema productivo no tiene experiencia en tecnologías de hidrógeno y pilas de combustible, ni en componentes e integración de los mismos.
- Hay poco presupuesto específico para temas de hidrógeno y pilas de combustible en el transporte.
- El costo de la pila de combustible y del hidrógeno puro, así como de la ingeniería asociada al desarrollo y mantenimiento de este tipo de vehículos, es elevado.

4. Relacionadas con la aplicación del hidrógeno en dispositivos de baja potencia y portátiles:

- Este tipo de tecnología se percibe como costosa.

- Hay limitada disponibilidad de hidrógeno barato y de elevada pureza.

5. Relacionadas con la aplicación estacionaria del hidrógeno:

- La inexistencia de tecnología de almacenamiento de gran capacidad, alta eficiencia, segura y de bajo costo, que justifique su rentabilidad para este tipo de aplicaciones.
- La gestión eficaz de la energía supone una mayor complejidad y costo del sistema: alimentación, control hídrico, recuperación de energías residuales, acondicionamiento térmico, etc.
- No existe tecnología propia en pilas de combustible capaz de cubrir el suministro de potencia eléctrica de una vivienda.
- Cualquiera fuese la aplicación, el hidrógeno es percibido como un riesgo para la mayoría de la población
- No existe una política clara del gobierno tendiente a fomentar al hidrógeno como vector de energía.

Como **Oportunidades**, se pueden señalar las siguientes:

1. Relacionadas con la producción de hidrógeno:

1. Desde el punto de vista tecnológico, hay una oportunidad de desarrollo de electrolizadores de gran tamaño, orientados a su empleo en parques eólicos y solares.
2. Desde el punto de vista normativo/político, es el momento estratégico para el fomento de las Energías Renovables, de cara a la diversificación energética, a la reducción de la dependencia energética exterior y a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.
3. La sociedad está concientizada en el apoyo a los combustibles limpios.
 - Desarrollo de una fuente limpia de energía, que emplea materia renovable y no produce emisiones de CO₂.
 - Utilización de biomasa, con los beneficios económicos, sociales y medioambientales que esto implica.
 - Existen RRHH capacitados para intentar un desarrollo tecnológico propio

2. Relacionadas con el almacenamiento y distribución de hidrógeno:

- Potenciación de las redes de transporte y distribución de energía del país.
- Integración con técnicas renovables de generación energética para suplir la variabilidad de éstas; proporcionar una visión original del despliegue de infraestructura: producción descentralizada por renovables para atender población dispersa.

3. Relacionadas con la aplicación del hidrógeno en el transporte:

- Aprovechar los avances en la tecnología y la infraestructura de la hibridación en vehículos y sus sinergias.
- La mejor opción de futuro en automoción es el hidrógeno y las pilas de combustible, a través de unidades auxiliares de potencia.
- Aprovechar el desarrollo de las Energías Renovables para proponer proyectos conjuntos.
- Promover acuerdos de desarrollo conjunto con los grandes actores del mercado e identificar nichos de oportunidad donde aportar valor añadido.
- Aprovechar los nichos de oportunidad (vehículos de baja potencia, ferrocarril, embarcaciones de recreo, electrónica de potencia, integración de renovables, balance de planta, industria auxiliar, bancos de ensayo, nuevo utillaje, etc.), así como los proyectos de

demostración, los eventos sociales, etc.

4. Relacionadas con la aplicación del hidrógeno en dispositivos de baja potencia y portátiles:

- Eliminación de barreras relativas al hidrógeno, tales como: desarrollo de sistemas de almacenamiento de hidrógeno eficaces (hidruros químicos); o desarrollo de sistemas de generación compactos (electrolisis).

5. Relacionadas con la aplicación estacionaria del hidrógeno:

- Ventajas de la generación distribuida frente a las redes tradicionales centralizadas, y supresión de las pérdidas asociadas al transporte de energía.
- La disminución de costos en la pila de combustible convertirá esta tecnología en una alternativa para la producción de energía térmica y eléctrica.
- La utilización de hidrógeno en motores de combustión interna y turbinas de pequeña potencia facilitará la introducción del hidrógeno en el sistema energético, al ser una tecnología ya disponible.
- Para las aplicaciones estacionarias no hay limitaciones de espacio, y utilizar pilas de mayor temperatura supone una ventaja, por el aprovechamiento del calor residual para cogeneración, con diferentes tipos de pilas de combustible y combustibles.
- Establecer desde el gobierno nacional y desde los gobiernos provinciales programas orientados a concientizar a la población en el uso del hidrógeno como fuente de energía.

En relación con las **Amenazas**, se pueden identificar las siguientes:

1. Relacionadas con la producción de hidrógeno:

- La biomasa depende de condicionantes externos (política agraria común, variabilidad, etc.).
- El mercado asociado al desarrollo sostenible es, por ahora, promesa de futuro asociada al desarrollo de las Energías Renovables.
- Hay incertidumbre en relación a la financiación de los proyectos.
- La competencia existente con otros vectores energéticos subvencionados.

2. Relacionadas con el almacenamiento y distribución de hidrógeno:

- Percepción social de peligro.
- Pérdida de oportunidades y liderazgo tecnológico frente a otros países en temas de almacenamiento, lo que es especialmente importante en la industria de componentes para el automóvil.

3. Relacionadas con la aplicación del hidrógeno en el transporte:

- La pérdida de liderazgo por no tener una previsión de mercado, debido a la falta de interés por parte de la industria.
- No contextualizar las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible frente a la propuesta del vehículo eléctrico: el panorama está cambiando y el sector debe adaptarse.
- Que el precio del hidrógeno no llegue a ser competitivo frente a otros combustibles alternativos.

4. Relacionadas con la aplicación del hidrógeno en dispositivos de baja potencia y portátiles:

- Las baterías de ión-litio
- Que el sector de automoción de hidrógeno y pilas de combustible no prospere y no alcance la esperada reducción de costos con la consecuente implantación del hidrógeno.
- El bajo interés de las empresas energéticas por perder su posición asociada a un sistema de generación centralizado.
- La no contemplación de la pila de combustible asociada a la eficiencia energética global de la aplicación.

Capítulo 6: Conclusiones

La producción de petróleo comenzará a disminuir dentro de 40 o 50 años, hay reservas de gas natural y de carbón probadas para 60 y 130 años respectivamente. El uso continuado de los combustibles fósiles genera cantidades masivas de CO₂ durante el proceso de combustión, que se emiten directamente a la atmósfera. Una forma de mitigar los efectos contaminantes resultantes es incrementar gradualmente el uso de energías renovables o amigables con el medio ambiente. Para las fuentes estacionarias, desde el punto de vista técnico, estas energías están en condiciones de reemplazar o complementar a los combustibles fósiles. Si su empleo no es aun mayor se debe a una cuestión de precios, cuestión que se irá resolviendo a medida que los recursos fósiles se vayan agotando.

A nuestro juicio, las dificultades técnicas para las fuentes móviles no están aun resueltas ya que solo existen como combustibles alternativos el etanol y el biodiesel, cuyo empleo masivo podría generar conflictos por el uso extensivo de la tierra. Surge como alternativa el hidrógeno como combustible vehicular, que es además un insumo fundamental para la industria química y petroquímica, y en particular para producir fertilizantes nitrogenados. El hidrógeno no es hoy una solución pero lo será a mediano y largo plazo [Abbot, 2010]. Y esta afirmación está corroborada cuando se analizan los montos involucrados y las empresas participantes en los proyectos existentes en EEUU, Japón y Europa (ver Capítulo 2). La comparación con los proyectos existentes en Iberoamérica (Capítulo 4) muestra claramente la brecha que separa a nuestra región con el mundo "desarrollado". Y si comparamos las actividades en torno al hidrógeno en los tres países de nuestra región cuyos gobiernos le han dado alguna relevancia al tema, las diferencias también están claras: España, Brasil y Argentina en ese orden. Con apreciables diferencias con el resto de los países iberoamericanos pero los tres muy lejos también de los países centrales. Estas diferencias tienen un justificativo histórico, la región iberoamericana y la latinoamericana en particular, no se han caracterizado por poseer desarrollos tecnológicos propios y mucho menos en el campo de la energía y de la industria química. Por ende, si se compara la matriz DAFO de cada país (Capítulo 5) se observa que las amenazas, debilidades y oportunidades son similares en los tres; las diferencias están, fundamentalmente, en las fortalezas. No obstante y como se ha intentado demostrar en este documento y en otra publicación de esta Red [Laborde y Rubiera, 2010], Iberoamérica posee recursos humanos, grupos de I + D, equipamiento e infraestructura para llevar adelante proyectos que conduzcan a desarrollos tecnológicos propios. Hay que aprovechar la oportunidad que brinda este cambio de paradigma y utilizar con la mayor sabiduría posible los recursos naturales y humanos de cada región porque la historia nos demuestra que en los países que poseen tecnología propia sus ciudadanos pueden aspirar a una mejor calidad de vida.

Aquí vale la pena traer a colación tres experiencias concretas en Iberoamérica que demuestran que cuando hay una política de estado que perdura en el tiempo, es posible que nuestros países desarrollen tecnología de punta a nivel mundial.

Argentina. En la década del '50 se crea la Comisión Nacional de Energía Atómica que recibe un continuo apoyo gubernamental por décadas, lo cual lleva al desarrollo de tecnología nuclear lo que, en la década del '70, genera un spinoff, la empresa INVAP de ingeniería, que exporta tecnología y compite con éxito con compañías prestigiosas del

hemisferio norte.

Brasil. El exitoso programa de bioetanol combustible comienza a mediados de los '70 y se transforma en el modelo internacional por excelencia. Casi simultáneamente COPPE¹ y Petrobras comienzan un agresivo programa de desarrollo de tecnología para exploración y producción de petróleo offshore. Hoy tienen una de las mejores tecnologías a nivel mundial en este tema. Y gracias a este proyecto conjunto se logró el autoabastecimiento de petróleo y se pusieron en operación decenas de plataformas offshore diseñadas y construidas en Brasil.

España. También a finales de la década del '70 se crea la Plataforma Solar de Almería. En las últimas dos décadas, este marco de referencia ha permitido desarrollar proyectos de energía solar que han incorporado también a otros países europeos y a EE.UU. Y con la participación del sector privado (Abengoa Solar) se han construido dos instalaciones termosolares ya operativas que se ampliarán y completarán en 2013 con una potencia de 300 MW.

Referencias

Abbot, D., Proc. IEEE, 98(1) (2010) 42-66

Laborde M., Rubiera González F. La energía del hidrógeno. Ediciones CYTED 2010 <http://redhidrogenocyted.com.ar/>

¹ Instituto de Posgrado e Investigaciones en Ingeniería (Río de Janeiro, Brasil).

Anexos

Anexo I. Proyectos de Investigación en los que han participado Organizaciones, Empresas o Grupos de Investigación Españoles financiados en el 6° y 7° Programa Marco de la Unión Europea

Proyecto de Investigación con Objetivo Específico (STREP): GENFC "Generic Fuel Cell Modelling Environment" (2003-2008), tiene por objetivo el desarrollo de una herramienta genérica para modelar celdas y sistemas de celdas de combustible para equipos de desarrollo. Lo lidera Alemania, y participa REDHADA, S.L. (www.redhada.com) por parte de España.

Proyecto Integrado (IP): STORHY. "Hydrogen Storage Systems for Automotive Application" (2004-2008), tiene por objetivo el estudio y mejora de tecnologías de almacenamiento de hidrógeno para automoción. Liderado por Alemania, participan CIDAUT (www.cidaut.es) e INTA (www.inta.es) por parte de España.

Proyecto Integrado (IP): HYWAYS. "Development of a Harmonised European Hydrogen Energy Roadmap by a Balanced Group of Partners from Industry, European Regions and Technical and Socioeconomic Scenario and Modelling Experts" (2004-2007), tiene por objetivo Desarrollar el Mapa Europeo de Energía del Hidrógeno, incluyendo análisis comparativo de opciones de suministro y escenarios energéticos. Liderado por Alemania, participan ACCIONA Biocombustibles, S.A. (www.accion-energia.com); INTA (www.inta.es); EHN Combustibles Renovables, S.A. (www.ehn.es) y Repsol YPF, S.A. (www.repsol.com) por parte de España.

Proyecto de Investigación con Objetivo Específico (STREP): HYDROSOL II. "Solar Hydrogen via Water Splitting in Advanced Monolithic Reactors for Future Solar Power Plants" (2004-2007), es continuación de HYDROSOL (5° Programa Marco), y tiene por objetivo la realización técnica y evaluación de un reactor termoquímico solar basado en monolitos cerámicos con pares redox de óxidos metálicos para la ruptura termoquímica del agua en dos etapas. Lo lidera Grecia y participa CIEMAT (www.ciemat.es) por parte de España.

Proyecto-Acción de Coordinación (CA): INNOHYP-CA. "Innovative High Temperature Routes for Hydrogen Production" (2004-2006), tiene por objetivo la coordinación de esfuerzos en las tecnologías de producción de hidrógeno y proponer una hoja de ruta para programas de investigación a corto, medio y largo plazo. Liderado por Francia, participan Empresarios Agrupados Internacional, S.A. (www.empre.es) y CIEMAT (www.ciemat.es) por parte de España.

Proyecto de Investigación con Objetivo Específico (STREP): FCTESQA. Fuel Cell Testing, Safety, Quality Assurance" (2005-2006), tiene por objetivo la investigación pre-normativa, objetivos y validación mediante "round robin test" de protocolos y metodologías de prueba industriales, con vistas a la normalización. Liderado por Italia, participa

INTA (www.inta.es) por parte de España.

Proyecto Integrado (IP): ROADS2HYCOM. “Research Coordination, Assessment, Deployment and Support to HyCom” (2005-2008), tiene por objetivo la coordinación, asesoramiento y seguimiento de la investigación en el campo del hidrógeno para uso estacionario y de transporte, apoyando en la planificación de futuras iniciativas en el 7º PM y más allá (HyCom), para desarrollar comunidades de hidrógeno y estimular el crecimiento en los mercados de tecnología del hidrógeno. Liderado por Reino Unido, participa NTDA Energía, S.L. (www.ntdaenergia.com) por parte de España.

Proyecto Integrado (IP): FLAME-SOFC. “Fuel Flexible, Air-Regulated, Modular, Electrically Integrated SOFC System” (2005-2009), tiene por objetivo el desarrollo de un sistema innovador micro-CHP basado en Pilas SOFC capaz de operar con distintos combustibles, GN de diferentes calidades y LPG, pero también líquidos, y que cumpla con todos los requisitos técnicos y de mercado europeos. Liderado por Alemania, participan Ikerlan, S.Coop. (www.ikerlan.es) y Fagor Electrodomésticos, S.Coop.Ltda. (www.fagor.com) por parte de España.

Proyecto Integrado con Objetivo Específico (STREP): NEMESIS. “New Methods for Superior Integrated Hydrogen Generation System” (2005-2008), tiene por objetivo el desarrollo de un generador de hidrógeno a pequeña escala, de combustible flexible (gaseoso y líquido), partiendo de la tecnología Hexion existente. Liderado por Alemania, participa Repsol YPF, S.A. (www.repsol.com) por parte de España.

Proyecto Integrado con Objetivo Específico (STREP): HYTHEC. “High Temperature Thermochemical Cycles” (2005-2009), tiene por objetivo la investigación del potencial efectivo para la producción de hidrógeno a gran escala del ciclo termoquímico S-I y compararlo con el ciclo híbrido S Westinghouse (WH). Liderado por Francia, participa Empresarios Agrupados Internacional, S.A. (www.empre.es) por parte de España.

Proyecto Integrado con Objetivo Específico (STREP): HYAPPROVAL. “Handbook for Approval of Hydrogen Refuelling Stations” (2006-2008), tiene por objetivo el desarrollo de un manual para facilitar la aprobación de Estaciones de Recarga de Hidrógeno (HRS), finalizar las guías técnicas comenzadas con EIHP2 y contribuir al estándar internacional en desarrollo en ISO TC 197. Liderado por Alemania, participa INTA (www.inta.es) por parte de España.

Proyecto-Acción de Coordinación (CA): HYLIGHTS. “A Coordination Action to Prepare European Hydrogen and Fuel Cell Demonstration Projects” (2006-2009), tiene por objetivo facilitar la planificación de HyCom, asesorando proyectos de demostración finalizados/ en realización sobre hidrógeno/pilas de combustible, sobre todo en transporte. Liderado por Alemania, participa Repsol YPF, S.A. (www.repsol.com) por parte de España.

Proyecto Integrado (IP): HYFLEET-CUTE. “Hydrogen for Clean Urban Transport in Europe” (2006-2009), tiene por objetivo la continuación de la flota de vehículos de pilas de combustible de los proyectos CUTE y ECTOS, desarrollo y demostración de un nuevo pre-prototipo híbrido y desarrollo, construcción y demostración de una flota de 14 autobuses impulsados con motor de combustión interna a hidrógeno en el servicio regular de Berlín, incluyendo la infraestructura requerida para hidrógeno, como parte de la Plataforma Europea de Hidrógeno y Celdas de Combustible. Liderado por Alemania, participan Repsol YPF, S.A. (www.repsol.com); Empresa Municipal de Transportes de Madrid, S.A. (www.emtmadrid.es); y Transports de Barcelona, S.A. (www.tmb.net) por parte de España.

Proyecto Integrado (IP): HYCHAIN MINI-TRANS. “Deployment of Innovative Low Power

Fuel Cell Vehicle Fleets to Initiate an Early Market for Hydrogen as an Alternative Fuel in Europe” (2006-2011), tiene por objetivo el despliegue de flotas de vehículos de celdas de combustible innovadoras en cuatro países europeos operando con H₂ para alcanzar un volumen de vehículos (180) suficientemente alto como para disminuir costes y superar los principales obstáculos. Liderado por Francia, participan IBERDROLA, S.A. (www.iberdrola.es); EISE Domenech, S.A. (www.domenech-sa.com); Univ. San Pablo – CEU (www.uspceu.com); Rücker Lypsa, S.L. (www.rueckerlypsa.es); Nacional Motor, S.A.U. (www.derbi.com); CIEMAT (www.ciemat.es); Air Liquide España, S.A. (www.es.airliquide.com); y BESEL, S.A. (www.besel.es) por parte de España.

Proyecto Integrado (IP): DYNAMIS. “Towards Hydrogen and Electricity Production with Carbon Dioxide Capture and Storage” (2006-2009), tiene por objetivo la preparación del terreno para instalaciones europeas a gran escala para producir hidrógeno y electricidad a partir de combustibles fósiles con captura y almacenamiento geológico de CO₂. Liderado por Noruega, participa ENDESA Generación, S.A. (www.endesa.es) por parte de España.

Proyecto Integrado (IP): SOFC600. “Demonstration of SOFC Stack Technology for Operation at 600 °C” (2006-2010), tiene por objetivo la investigación básica y desarrollo de materiales y procesos para producir componentes de pilas avanzadas a bajo coste, particularmente ánodos, cátodos y electrolitos, así como la integración de estos componentes en las celdas. Liderado por Holanda, participan NTDA Energía, S.L. (www.ntdaenergia.com); y Aplicaciones Energéticas de Cerámicas Avanzadas, S.L. por parte de España.

Proyecto de Investigación con Objetivo Específico (STREP): SOLHYCARB. “Hydrogen from Solar Thermal Energy: High Temperature Solar Chemical Reactor for Co-Production of Hydrogen and Carbon Black from Natural Gas Cracking” (2006-2010), tiene por objetivo la exploración de una ruta no convencional para la obtención eficiente de hidrógeno con energía solar concentrada, con descomposición térmica del GN en un reactor solar de alta temperatura, produciendo negro de carbono, sin emisiones de CO₂. Liderado por Francia, participan SOLUCAR Investigación y Desarrollo (SOLUCAR R&D), S.A.; y SOLUCAR Energía, S.A. (www.solucar.es; www.abengoasolar.com) por parte de España.

Proyecto Integrado (IP): CACHET. “Carbon Dioxide Capture and Hydrogen Production from Gaseous Fuels” (2006-2009), tiene por objetivo desarrollar tecnologías para reducir de forma significativa (a 25 – 40 USD/t) el coste de la captura de CO₂ durante la producción de H₂ como combustible de vehículos a partir de GN, componente mayoritario en el sistema energético europeo. Liderado por Reino Unido, participan ENDESA Generación, S.A. (www.endesa.es); y CSIC (www.csic.es) por parte de España.

Proyecto-Acción de Apoyo Específico (SSA): HYWAYS-IPHE. “Benchmarking of the European Hydrogen Energy Roadmap HyWays with International Partners” (2006-2008), tiene por objetivo el asesoramiento y la comparación de los esfuerzos de desarrollo del Mapa Europeo de Energía del Hidrógeno preparado por HyWays, dentro de los países que forman parte del International Partnership for the Hydrogen Economy (IPHE). Liderado Alemania, participa ACCIONA Biocombustibles, S.A. (www.acciona-energia.com) por parte de España.

Proyecto-Red de Excelencia (NOE): HYSAFE. “Safety of Hydrogen as an Energy Carrier” (2006-2008), tiene por objetivo la contribución a la transición segura hacia un desarrollo más sostenible en Europa, facilitando la introducción segura del hidrógeno como vector energético en el futuro. Liderado por Alemania, participa la Universidad Politécnica de Madrid (www.upm.es) por parte de España.

Proyecto-Acción de Coordinación (CA): CARISMA. "Coordination Action of Research on Intermediate and High Temperature Specialised Membrane Electrode Assemblies" (2007-2008), tiene por objetivo el desarrollo de una tecnología de Ensamblaje-Membrana-Electrodo (MEA) y su demostración en una pila de combustible de último modelo adaptada a las demandas de alta temperatura, con áreas de celda realistas y niveles de potencia representativos. Liderado por Francia, participa la Fundación CIDETEC (www.cidetec.es) por parte de España.

Proyecto Integrado (IP): HYSYS. "Fuel Cell Hybrid Vehicle System Component Development" (2007-2008), tiene por objetivo la investigación en componentes de bajo coste para sistemas de celdas de combustible y propulsión eléctrica a usar en futuros vehículos híbridos (a medio plazo), sobre dos plataformas de vehículos con diferente concepción. Liderado por Alemania, participa CSIC (www.csic.es) por parte de España.

Proyecto Integrado (IP): BICEPS. "Biogas Integrated Concept. A European Program for Sustainability" (2007-2011), tiene por objetivo llevar a escala de demostración la generación de electricidad, calor y refrigeración a partir de biogases, en dos sistemas de celdas de combustible de carbonato fundido (MCFC) de 1 MW, que se mejorarán de forma importante dentro del proyecto. Liderado por Italia, participa CESP Ingeniería Urbana, S.A. Servicios Medioambientales (www.cespa.es) por parte de España.

Proyecto de Colaboración (CP): ZEOCELL. "Nanostructured Electrolyte Membranes Based on Polymer-Ionic Liquids – Zeolite Composites for High Temperature PEM Fuel Cell" (2008-2010), tiene por objetivo el desarrollo de una membrana de electrolito nanoestructurada basada en una matriz bidimensional de polímero y dos capas de zeolita. Liderado por España, participan Universidad de Zaragoza (www.unizar.es), CEGASA (www.cegasa.com) y Fundación CIDETEC (www.cidetec.es) por parte de España.

Proyecto de Colaboración (CP): HCYCLES. "Materials and Components for Hydrogen Production by Sulphur Based Thermochemical Cycles" (2008-2010), tiene por objetivo la mejora de materiales y componentes para los pasos clave en los ciclos termoquímicos para la generación de hidrógeno nuclear o solar basados en azufre (híbrido S y S-I), para acercar la ruptura termoquímica del agua a aplicación. Liderado por Alemania, participa Empresarios Agrupados Internacional, S.A. (www.empre.es) por parte de España.

Proyecto de Colaboración (CP): SOLARH2. "European Solar-Fuel Initiative-Renewable Hydrogen from Sun and Water. Science Linking Molecular Biomimetics and Genetics" (2008-2012), tiene por objetivo el estudio integrado básico para producir hidrógeno renovable de fuentes medioambientalmente seguras (energía solar y agua). Liderado por Suecia, participa Institut Català d'Investigació Química (ICIQ) (www.iciq.es) por parte de España.

Proyecto de colaboración (CP): EFFIPRO. "Efficient and Robust Fuel Cell with Novel Ceramic Proton Conducting Electrolyte" (2009-2012), tiene por objetivo el desarrollo de electrolitos y electrodos para PCFCs basadas en nuevos óxidos conductores de protones tipo LaNbO_4 y similares, que son estables químicamente y mecánicamente robustos. Liderado por Noruega; participa CSIC (www.csic.es) por parte de España.

Anexo II: Empresas Españolas que realizan desarrollos relacionados con las tecnologías del Hidrógeno y Celdas de Combustible

Abelló Linde, S.A. (www.abellolinde.es; www.linde.com/hydrogen). Filial española del grupo Linde Gas, desarrolla y suministra toda la tecnología relacionada con el hidrógeno. Es la mayor empresa fabricante de plantas de hidrógeno del mundo y suministra hidrógeno para infinidad de aplicaciones, incluyendo soluciones de producción de H_2 on-site mediante electrolizadores y reformado con vapor. Dispone de sistemas adecuados para asegurar la distribución económica y el almacenamiento de hidrógeno, tanto gaseoso como líquido, y de soluciones tecnológicas en infraestructuras de hidrógeno para la automoción, hidrogeneras para el suministro y repostaje de H_2 gas desde 350 a 700 bar, e hidrogeneras para el suministro y repostaje de H_2 líquido.

Acciona Biocombustibles, S.A. (www.acciona-energia.com) es líder mundial en el sector de las energías renovables. Centra sus actividades, entre otras, en producción de hidrógeno a partir de energías renovables. Participa activamente en el Proyecto Sphera en la producción de hidrógeno mediante energía eólica. Colabora con la Universidad Pública de Navarra (www.unavarra.es), en la producción de hidrógeno por electrolisis con electricidad de origen eólico, y mantiene diversas iniciativas encaminadas a explorar y demostrar la viabilidad técnica y económica del hidrógeno. Ha abierto en Navarra (España), una estación de servicio que suministra biocombustibles y preparada para dispensar hidrógeno. Participa en los proyectos HYWAYS y HYWAYS-IPHE.

Air Liquide España, S.A. (www.es.airliquide.com). Filial del grupo Air Liquide, líder mundial en la producción y comercialización de gases industriales. Ha desarrollado un saber-hacer único en el dominio del conjunto de la cadena del hidrógeno. Posee más de 200 unidades de producción en el mundo, y cuenta con 1.700 km de canalizaciones de hidrógeno y 12 redes de canalización en el mundo. Contribuye a un gran número de proyectos y eventos para hacer progresar la investigación y la innovación, pero también para preparar la aceptación ciudadana del hidrógeno. Ha desarrollado los depósitos de almacenamiento y transporte de hidrógeno líquido a -253°C . Con su filial Cryospace, Air Liquide construye los depósitos de hidrógeno y oxígeno líquido que alimentan el cohete europeo Ariane. Air Liquide es el coordinador del proyecto europeo HYCHAIN-MINTRANS, que propone la creación simultánea de flotas de vehículos urbanos propulsados por pilas de combustible alimentadas por hidrógeno y de una infraestructura original de distribución del hidrógeno. En este proyecto, Air Liquide está desarrollando botellas de hidrógeno con un sistema de conexión rápida (clip-on) que alimentarán algunos vehículos del proyecto (scooter, silla de ruedas, ciclomotor, etc.), y asegurará la cadena de distribución del hidrógeno. Air Liquide, junto con sus socios Gas Natural y Repsol YPF, fueron pioneros ya en 2003 al poner en marcha la esH2, la primera hidrogenera de España, realizada para la EMT de Madrid. Esta iniciativa se inscribió en los proyectos europeos CUTE (Clean Urban Transport for Europe) y CITYCELL, cuyo objetivo era demostrar la viabilidad del hidrógeno como vector de energía para el transporte público urbano. Dispone también de una estación de servicio de hidrógeno permanente para demostraciones en Sassenage (cerca de Grenoble, en Francia),

ciudad en la que está implantada su filial Axane que diseña, desarrolla y comercializa pilas de combustible.

AJUSA (www.ajusa.es). Con más de 10 años de experiencia en la investigación y desarrollo de pilas de combustible tipo PEM alimentadas a hidrógeno. Dentro del Proyecto Scooter, ha desarrollado el Balance de Planta completo para la sustitución de las baterías de un scooter con motorización eléctrica de fabricación estándar por un sistema con PEM (modelo FC010, refrigerada por aire, con una potencia de 1.000 W, de fabricación nacional). Ha trabajado en la aplicación a un coche ligero con capacidad para 6 pasajeros (Proyecto Don Qhyxote Car), en el desarrollo de una estación de servicio de hidrógeno (Proyecto Don Qhyxote H2 Station), y en la aplicación a una vivienda unifamiliar (Proyecto Don Qhyxote Home), todo ello integrado en la ciudad del hidrógeno. Dentro del Departamento I+D Nuevas Tecnologías, AJUSA dispone de una planta piloto de fabricación de pilas de combustible PEM y sus componentes, que es el embrión de la futura planta industrial de producción. Tiene solicitadas Patentes para la MEA de los modelos FC006 y FC010 de pilas de combustible.

Ames, S.A. (www.ames.es) se dedica a la sinterización de metales para la fabricación de piezas metálicas de precisión en grandes series.

Anisol Equipos, S.L. (www.anisol.es). En el campo del hidrógeno, H2Scan está especializada en el suministro de sistemas de medición específicos de hidrógeno: detectores fijos y portátiles de fugas y analizadores en línea.

Aplicaciones Energéticas de Cerámicas Avanzadas, S.L., participa en el proyecto europeo SOFC600, sobre desarrollo de pilas de combustible SOFC.

ARIEMA Energía y Medio Ambiente, S.L. (www.ariema.com) es spin-off del INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial), es líder en consultoría sobre tecnología de hidrógeno y pilas de combustible, y actúa como Secretaría Técnica de la Asociación Española del Hidrógeno.

BESEL, S.A. (www.besel.es) comercializa Pilas de Combustible y Generadores de Hidrógeno, y proporciona soporte y asistencia técnica. Realiza estudios, ingeniería e instalaciones llave en mano de integración de energías renovables y de sistemas de ahorro y eficiencia energética en la edificación y la industria. Trabaja en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías y soluciones en energías renovables, con especial acento en la incorporación del hidrógeno y las pilas de combustible. Desarrolla dispositivos de electrónica de potencia para las nuevas tecnologías, y sistemas de monitorización y control de última generación para procesos y productos (OEM). Participa en el proyecto europeo HYCHAIN-MINTRANS.

Boeing R&T Europe (www.boeing.es) es pionera en utilización de biocombustibles sostenibles, fabricación de células solares por parte de su filial Spectrolab, y uso de hidrógeno en pilas de combustible. Ha utilizado por primera vez en 2008 un sistema de pila de combustible PEM y una batería de ión-litio en un vuelo de un avión tripulado propulsado por pilas de combustible de hidrógeno. Continúa investigando otras tecnologías relacionadas con pilas de combustible, incluidas las de óxido sólido.

Cabot, S.A.U. (www.cabot-corp.com). Filial de Cabot Co., desarrolla electrocatalizadores para aplicación en celdas de combustible. Sus catalizadores estándar Dynalyst incluyen Pt/C y aleaciones de Pt soportado sobre carbón, fabricados con la tecnología Reactive Spray. Esta tecnología la utilizan tanto los equipos que trabajan con pilas de combustible como los fabricantes y suministradores de componentes en la fabricación de MEAs.

Carbuos Metálicos, S.A. (www.carbuos.com; www.airproducts.com/h2energy) produce y comercializa gases industriales, medicinales y de alta pureza. Forma parte del grupo Air Products, líder mundial en el suministro de hidrógeno y otros gases. Desarrolla nuevas tecnologías para su uso en el transporte, como las hidrogeneras, y suministra infraestructura para pilas de combustible estacionarias. Otros proyectos incluyen los contratos para abastecer de hidrógeno a los submarinos de pila de combustible de las armadas alemana, griega y coreana. En Zaragoza, en 2005, se utilizó por vez primera la tecnología de repostado Air Products Serie 100 para suministrar hidrógeno a un autobús. Desde 2008, Carbuos Metálicos mantiene la única hidrogenera pública en funcionamiento en España, diseñada y construida por la compañía con motivo de la ExpoZaragoza 2008. Cuenta con producción de hidrógeno por electrólisis, una estación compresora Air Products Serie 200, almacenamiento a 420 bar y un surtidor para repostar vehículos a 200 y 350 bar. En el marco del proyecto Hércules (Sevilla), ha instalado una hidrogenera para el repostado a 350 bar de un vehículo 4x4 híbrido de pila de combustible. Participa en Parque Eólico Sotavento (Lugo)—Gas Natural, Proyectos Hydrohybrid y RES2H2 (Gran Canaria)—ITC Canarias, Proyecto Hidrotec (Bilbao)—Tecnalia, Planta piloto (Valencia)—ITE, Proyecto Aeropila (Valladolid)—Besel, y Planta solar fotovoltaica (Huelva)—INTA.

CEGASA (Celaya, Emparanza y Galdós, S.A.) (www.cegasa.com) fabrica pilas para el mercado nacional y europeo. Participa en proyectos tales como el proyecto europeo ZEOCELL de mejora de membranas para PEM.

CEPSA (www.cepsa.es) produce y utiliza hidrógeno en diversos procesos en sus instalaciones fabriles. Posee dos plantas de hidrógeno de 55.000 t/año cada una y una planta de Reformado de Naftas Ligeras en la Refinería "La Rábida" que produce unas 27.000 t/año de hidrógeno, y otra en la refinería de "Gibraltar-San Roque" con una capacidad de cerca de 15.000 t/año.

CESPA Ingeniería Urbana, S.A. Servicios Medioambientales (www.cespa.es). Grupo empresarial participado íntegramente por el Grupo Ferrovial y dedicado a la prestación de servicios medioambientales y a la gestión y tratamiento de residuos en España y Portugal. Participa en el proyecto europeo BICEPS, para el desarrollo de pilas de combustible tipo MCFC alimentadas con biogás.

Clan Tecnológica, S.L. (www.clantecnologica.es) desarrolla y vende sistemas de generación de gases *in-situ*. Especialista en generación de hidrógeno, recientemente ha desarrollado un nuevo generador de hidrógeno pequeño con tecnología PEM, pensado para pequeñas aplicaciones en pilas de combustible y para almacenar hidrógeno en botellas de metal hidruro o botellas vacías normales de gases, que produce hidrógeno con una pureza de 99,9999% y 11 bares de presión. En sistemas industriales, posee e integra soluciones en generación de hidrógeno por electrólisis de agua desionizada con disolución cáustica. Ofrece soluciones de varios centenares de m³/h, purezas de más de 99,999% y presiones desde 5 a 300 bares. El último desarrollo que está llevando a cabo es una hidrogenera para automóviles.

CLH, S.A. (www.clh.es) es líder de transporte y almacenamiento de productos petrolíferos, con una red de oleoductos de más de 3.800 km y 38 instalaciones de almacenamiento.

Copreci, S. Coop. (www.copreci.es). desarrolla y suministra componentes a la industria de los electrodomésticos.

EHN Combustibles Renovables, S.A. (www.ehn.es) lidera actividades en el área de biomasa (combustión, biocombustibles, etc.). Ha participado en numerosos proyectos, in-

cluido el proyecto europeo HYWAYS.

EISE Domenech, S.A. (www.domenech-sa.com). Especializada en formación de recursos humanos, participa en el proyecto europeo HYCHAIN-MINITRANS.

ELASTORSA (www.elastorsa.com). Fabricantes de mezclas de caucho para mercados de todo tipo: automóvil, construcción, ingeniería, maquinaria, etc.

ELCOGAS, S.A. (www.elcogas.es) es líder de la tecnología GICC (Gasificación Integrada en Ciclo Combinado) en Europa. Su central de GICC en Puertollano (Ciudad Real) es la mayor planta GICC de carbón del mundo. Cuenta con una planta piloto de captura de CO₂ (utilizando la tecnología de pre-combustión) y producción de H₂ de 14 MW. El proyecto forma parte de la iniciativa nacional denominada Proyecto Singular Estratégico PSE-CO₂. La planta piloto permitirá estudiar rendimiento de catalizadores, optimización, separación CO₂-H₂, mejora de la integración de la captura de CO₂ en una planta GICC, etc. Se ofrece como centro de experimentación de proyectos sobre usos del gas de síntesis, separación y tratamiento de CO₂, purificación y uso del H₂.

Empresa Municipal de Transportes de Madrid, S.A. (www.emtmadrid.es) involucrada en numerosos proyectos de desarrollo, como esH₂, proyectos CUTE y CITICELL.

Empresarios Agrupados Internacional, S.A. (www.empre.es). Ingeniería especializada en energía eléctrica, infraestructuras de transporte, espacio y aeronáutica, defensa e informática. Participa en la acción de coordinación europea INNOHYP-CA, y en los proyectos europeos HYTHEC y HYCYCLES.

Endesa Generación, S.A. (www.endesa.es). La mayor empresa eléctrica de España y la primera compañía eléctrica privada de Iberoamérica, un operador eléctrico relevante en el arco europeo mediterráneo, y tiene una presencia creciente en el mercado español de gas natural. Participa en los proyectos europeos DINAMIS y CACHET, sobre producción de hidrógeno con captura de CO₂.

Eólica Navarra, S.L. (www.eolicanavarra.es) proyecta, construye y explota instalaciones de generación de energía de origen renovable, así como instalaciones industriales que contribuyan a mejorar el medio ambiente.

EPM Gas Technology (Global Gas Technology, S.A.) (www.epmgastech.com) desarrolla proyectos destinados al uso del gas para vehículos, especialistas en aplicaciones tecnológicas en puntos de suministros y sistemas especiales del GNC, GNL, GLP e H₂. Participó junto a la empresa BP en el diseño y construcción de las instalaciones de suministro de hidrógeno a autobuses de pila de combustible de la ciudad de Barcelona.

Fagor Electrodomésticos, S.Coop.Ltda. (www.fagor.com). Fabricante de electrodomésticos, produce también equipos solares de calentamiento de agua sanitaria.

Gas Natural SDG, S.A. (www.gasnatural.es) considera el hidrógeno como intermedio en generación eléctrica limpia. Desarrolló el proyecto esH₂ conjuntamente con Air Liquide España, S.A. y Repsol YPF, S.A. (2002-2006) dentro del marco de los proyectos europeos CUTE y CITICELL. Dispone desde 2007 de una pila de combustible de carbonatos fundidos de 200 kW. Ha diseñado y ejecutado una instalación piloto en Sotavento (Galicia) que utiliza el hidrógeno como elemento de almacenaje de energía, con una capacidad de producción de H₂ de 60 Nm³/h en un electrolizador alimentado con energía proveniente del parque eólico. Lidera el proyecto Cénit SPHERA (2007-2010) para la generación de conocimiento científico y tecnológico en los ámbitos de la producción de hidrógeno, su almacenaje, logística de transporte y distribución, y uso final.

Generaciones Fotovoltaicas de la Mancha, S.L. (www.gfm.es) usa y desarrolla las

energías renovables para la producción de energía eléctrica. Se dedica a la realización técnica de los proyectos, dentro del Grupo GFM. Cuenta con 24 MW conectados a la red. Tiene previsto instalar más de 1 MW en tejados de viviendas unifamiliares y cubiertas de naves industriales.

Generalia, S.L. (Renovalia, S.L.) (www.generalia.es). Ingeniería que diseña integración de nuevas tecnologías, y la innovación para el desarrollo de aplicaciones, en el campo de las energías renovables. Desarrolla su proyecto "cerro del hidrógeno" cuyo objetivo es la producción de hidrógeno partiendo de energía solar en Valdecarábanos (Toledo).

Guascor Ingeniería, S.A. (www.guascor.com) desarrolla un motor de hidrógeno (HyICE) para aplicaciones de co-generación que funcione únicamente con H₂.

Hydrogen Works, S.L. (DAVID FCC) (www.hywo.es) fabrica equipos de generación de hidrógeno por electrolisis de agua. Trabaja con tecnología PEM también para mejorar las prestaciones de los electrolizadores. Los desarrollos están orientados a obtener equipos con mayor producción y presión de hidrógeno.

Hynergreen Technologies, S.A. (www.hynergreen.es). Filial de Abengoa, organiza y desarrolla proyectos relacionados con la producción de electricidad mediante pilas de combustible, así como la producción de hidrógeno de fuentes renovables.

Iberdrola, S.A. (www.iberdrola.es). Principal grupo energético español, una de las cinco mayores eléctricas del mundo y líder mundial en energía eólica. Hasta 2006 estuvo desarrollando y operando la Planta de Ensayos de Pilas de Combustible de Carbonatos Fundidos (Programa MOLCARE) junto con ANSALDO Research, en San Agustín de Guadalix (Madrid). Incluyó la planta de acondicionamiento hasta 100 kW y una planta de trigeneración con MCF hasta 500 kW conectada a la red. Desde 2006 está participando en el proyecto europeo HYCHAIN-MINITRANS. Desde 2008 participa en un Proyecto Singular Estratégico (PSE-CDTI) para desarrollar, fabricar y optimizar Pilas SOFC y aplicarlas al sector inmobiliario dentro del consorcio formado por: Copreci, S.Coop., Fagor Electrodomésticos, S.Coop.Ltda., Ames, S.A., Iberdrola, S.A., Metallied Powder Solutions, S.A., Ikerlan, S.Coop. (www.ikerlan.es), CEIT (www.ceit.es), Cidetec (www.cidetec.es), ULL (www.ull.es), UPV-EHU (www.ehu.es), e ICMA, S.L.. Desde 2008 se está también trabajando en el Proyecto H2SAI, cuyo objetivo principal es la definición, diseño, desarrollo y validación de un nuevo e innovador Sistema de Alimentación Ininterrumpida mediante Pila de Combustible. A través de su filial Scottish Power (Reino Unido) utiliza las Pilas de Combustible híbridas en automoción, dentro del Programa H2BUS.

ICMA, S.L. (www.icma.es) realiza proyectos de carácter medioambiental.

Industrial Química del Nalón, S.A. (www.nalonchem.com). Empresa química dedicada principalmente a la destilación de alquitranes y a la obtención de coque.

Ingeteam, S.A. (www.ingeteam.com) centra su actividad en el diseño y fabricación de convertidores de potencia, generadores eléctricos y equipos de control. Participa en el Proyecto Cénit SPHERA. En este proyecto, participa en el estudio de tecnologías de electrolisis de alta potencia orientadas fundamentalmente a aplicaciones eólicas, y en el estudio de configuraciones que faciliten la integración de plantas de electrolisis con parques eólicos.

INYSA (www.inysa.es). Fabricante y distribuidor de productos de telecomunicaciones.

Lonjas Tecnología, S.A. (www.lonjastec.es) desarrolla su actividad en el sector energético y medioambiental.

Metallied Powder Solutions, S.A. (www.metallied.com) fabrica y comercializa polvos

metálicos especiales.

MTorres Diseños Industriales, S.A. (www.mtorres.es). Grupo de empresas dedicadas al diseño, desarrollo y fabricación de sistemas de automatización de procesos industriales y soluciones para el sector medioambiental.

MTU Ibérica Propulsión y Energía, S.L. (www.mtu-online.com). Filial del grupo Tognum, especializada en propulsión marina, de vehículos industriales y en suministro de energía. Comercializa los productos de MTU y MTU Onsite Energy y proporciona servicios de ingeniería y postventa en todo el territorio nacional. Uno de sus productos más innovadores es la pila de combustible "hotmodule" para aplicaciones de generación de energía, cogeneración y trigeneración, de tipo MCFC de alta temperatura de trabajo (unos 650°C), hasta 350 kW eléctricos y 250 kW térmicos.

Nacional Motor, S.A.U. (www.derbi.com). Fabricante de motocicletas, participa en el proyecto europeo HYCHAIN-MINTRANS.

NTDA Energía, S.L. (www.ntdaenergia.com) es líder en desarrollo y despliegue de tecnologías de hidrógeno y pilas de combustible. Participa en varios proyectos europeos, entre ellos ROADS2HYCOM y SOFC600.

Praxair España, S.L. (www.praxair.es). Multinacional especializada en la producción y distribución de gases industriales y medicinales así como materiales de revestimiento, targets, etc., utilizados en la industria electrónica. En España, trabaja junto a distintas empresas y entidades en sus proyectos de Hidrógeno y Pilas de Combustible. Dispone en España de una de las fábricas de hidrógeno electrolítico más modernas de Europa, obteniendo el hidrógeno a partir de electrolizadores de membrana de alta capacidad, lo que garantiza su máxima pureza para su uso en pilas de combustible.

RAMEM, S.A. (www.ramem.com). Dedicada al diseño y fabricación de equipos mecánicos que participa en una amplia variedad de proyectos, incluidos prototipos de pilas de combustible de hidrógeno y metanol directo. Participa en los principales consorcios, junto con el CSIC, el INTA, etc., para el desarrollo de diversas pilas de combustible. Ha fabricado ya un prototipo de H₂ de 500 W de potencia.

REDHADA, S.L. (www.redhada.com). Empresa que ha participado en el proyecto europeo GENFC sobre desarrollo de modelos de pilas de combustible.

Repsol YPF, S.A. (www.repsol.com) participa en una serie de proyectos basados en la producción de hidrógeno (procesos limpios de producción de hidrógeno y transformación de glicerina a hidrógeno), algunos de los cuales ya se han mencionado. En todas sus refinerías dispone de plantas de producción de hidrógeno mediante reformado con vapor para uso en procesos propios.

Rücker Lypsa, S.L. (www.rueckerlypsa.es). Grupo especializado en el diseño industrial, modelado y desarrollo de prototipos del Grupo Rücker AG, centrado sobre todo en el sector de automoción. Participa en el proyecto europeo HYCHAIN-MINTRANS.

SOLUCAR, Investigación y Desarrollo (SOLUCAR R&D), S.A.; SOLUCAR Energía, S.A. (www.solucar.es; www.abengoasolar.com). Integrante del grupo Abengoa, desarrolla y aplica tecnologías de energía solar térmica y fotovoltaica. Participa en el proyecto europeo SOLHYCARB, para producción de hidrógeno por descomposición térmica de GN empleando energía solar sin producción de CO₂.

Solventus, S.L.U. (www.solventus.es). Dedicada básicamente a la energía fotovoltaica/térmica, ha instalado 98 MW. Desarrolla el concepto de generar hidrógeno mediante electrolisis, almacenarlo y consumirlo en el sector del transporte y en la generación de calor y

electricidad.

Tecnosa (www.tecnosa.es). Representante en España de Hofer Compressor Technologies, empresa alemana fabricante de compresores de membrana y pistón para gases industriales y medicinales (www.andreas-hofer.de). Específicamente para hidrógeno, Hofer ha suministrado compresores de membrana para varias hidrogeneras en España, Alemania, Islandia y Japón, así como para aplicaciones de investigación e industriales. Tecnosa realiza la venta y la puesta en marcha de compresores Hofer.

Transports Barcelona, S.A. (www.tmb.net) participó en el proyecto HYFLEET:CUTE.

Válvulas y Conexiones Ibérica, S.L. (www.swagelok.com). Swagelok desarrolla y provee productos, ensamblajes y servicios para industrias (investigación, instrumentación, petróleo y gas, energía, petroquímica, combustibles alternativos, semiconductores y farmacéutica).

Ventus Ciencia Experimental, S.L. (www.ventusciencia.com) tiene como principal actividad la fabricación, importación y distribución de todo tipo de equipamiento didáctico y científico para laboratorios docentes.

Anexo III: Centros de Investigación Españoles en los que se desarrollan actividades de I+D relacionadas con las tecnologías del Hidrógeno y Celdas de Combustible

Agencia Andaluza de la Energía, Junta de Andalucía (www.agenciaandaluzade-laenergia.es) coordina y fomenta los objetivos establecidos en la política energética de la Junta de Andalucía: mejora la calidad de los servicios energéticos, desarrolla las infraestructuras de generación, transporte y distribución de energía, fomenta el ahorro y la eficiencia energética; promueve el uso de energías renovables y las tecnologías de cogeneración. La apuesta de la administración andaluza respecto a las tecnologías energéticas emergentes queda plasmada en el Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética (PASENER 2007-2013) en el que se persigue la aproximación a un nuevo modelo energético que dé respuesta a las necesidades de abastecimiento de energía de la sociedad andaluza. El hidrógeno y las pilas de combustible las considera clave para la introducción de las energías renovables en el sistema energético andaluz. Actualmente está elaborando un documento recopilatorio del estado del arte de la tecnología del hidrógeno y pilas de combustible en la comunidad.

AIMPLAS, Instituto Tecnológico del Plástico (www.aimplas.es) es una asociación sin ánimo de lucro de ámbito nacional e internacional. Pertenece a la Red de Institutos Tecnológicos de la Comunidad Valenciana (REDIT) y a la Federación Española de Institutos Tecnológicos (FEDIT), y es miembro activo de otras Redes Tecnológicas como SUSCOMPNET, EuCIA, AESICOM e IBEROCIT. Potencia el contacto directo con las empresas de todos los sectores vinculados al plástico. Entre sus líneas de I+D+i se encuentra el desarrollo de nanocomposites y la funcionalización de nanopartículas: nanopartículas carbonosas, nanoarcillas, nanometales y nano-óxidos metálicos.

CEIT, Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas de Gipuzkoa (www.ceit.es). Centro de investigación sin ánimo de lucro que lleva a cabo proyectos de investigación aplicada bajo contrato en estrecha colaboración con los departamentos de I+D de las empresas. Investiga en las siguientes áreas: materiales, mecánica aplicada, electrónica y comunicaciones, ingeniería ambiental, microelectrónica y microsistemas, e ingeniería biomédica. Participa en el proyecto singular estratégico PSE-CDTI.

CETPEC, Centro Tecnológico de la Pesca (www.cetpec.es). Sus líneas de investigación e innovación en el área de energía se centran en la búsqueda, perfeccionamiento y validación de las fuentes de energía alternativas, que sean técnica y económicamente admisibles para el sector pesquero a corto, medio o largo plazo. Actualmente lleva a cabo el proyecto "Peixe Verde" cuyo objetivo es la reducción del coste energético de los barcos de pesca. En el proyecto APACHE "Aplicación de Pilas de Combustible e Hidrógeno en pequeños vehículos Eléctricos" (2007-2008), financiado por la Xunta de Galicia, realizó la integración, instalación y puesta en funcionamiento de un prototipo experimental de una pila de combustible de hidrógeno para propulsar una lancha fueraborda.

CIDETEC-IK4, Centro de Tecnologías Electroquímicas (www.cidetec.es) es una fundación sin ánimo de lucro. En su departamento de Energía abarca todo tipo de tecnologías de almacenamiento de energía por vía electroquímica y en particular las pilas de combustible y las baterías de ion-litio. Las actividades en pilas de combustible abarcan toda la cadena de valor de las PEMFC, incluyendo: membranas (HT-PEMFC y PEMFC), catalizadores (PEMFC, DMFC), así como el desarrollo de producto: desarrollo de una tecnología propia CEGASA-CIDETEC de pilas PEMFC de baja potencia (de 1 a 5.000 W). Participa en los proyectos europeos CARISMA y ZEOCELL.

CIEMAT, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (www.ciemat.es) es un Organismo Público de Investigación. Su Unidad de Valorización Energética de Combustibles y Residuos desarrolla actividades en el área del hidrógeno y las pilas de combustible. Su Unidad de Pilas de Combustible e Integración de Sistemas desarrolla actividades en relación con el desarrollo y aplicación de pilas de combustible. Como actividades de I+D estudia pilas de combustible de baja temperatura (PEMFC) y de alta temperatura (MCFC y SOFC). Estudia el comportamiento de pilas de combustible en sistemas con diferente aplicación, como el suministro energético a un equipo de telecomunicación en una zona aislada mediante un sistema constituido por paneles fotovoltaicos, electrolizador para producción de hidrógeno, almacenamiento en hidruros metálicos y pila de combustible polimérica. Participa en los proyectos europeos HYDROSOL II, INNOHYP-CA y HYCHAIN-MINTRANS.

Centro Nacional del Hidrógeno (www.cnethpc.es) es una instalación de nueva creación dedicada en exclusiva a la investigación y desarrollo de las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible en España. Está dedicado a la investigación científica y tecnológica en todos los aspectos relativos a estas tecnologías, estando al servicio de toda la comunidad científica y tecnológica nacional y abierto a la colaboración internacional. El centro se dedicará las siguientes áreas de I+D: generación de hidrógeno; almacenamiento, distribución, purificación y separación de hidrógeno; conversión del hidrógeno en energía (centrada en las pilas de combustible); sistemas de integración; y seguridad.

CSIC, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (www.csic.es) es el organismo público de investigación más importante de España, con implantación en todas las Comunidades Autónomas a través de 126 centros y 145 unidades asociadas. Su objeto es

el fomento, la coordinación, el desarrollo y la difusión de la investigación científica y tecnológica, de carácter multidisciplinar. Dada la relevancia que tiene la energía en el transporte, la industria y la sociedad en general, ha definido un eje temático centrado en la energía y que vendrá a potenciar el progreso científico-tecnológico de nuestro país mediante un modelo que pasaría por la I+D+i de nuevos sistemas de producción, transformación, uso y almacenamiento de energía, entre los que el hidrógeno desempeñará un papel primordial. Las actividades que desarrollan distintos grupos incluyen producción y almacenamiento (hidruros) de hidrógeno, supercondensadores y celdas de combustible, principalmente las de tipo PEM y SOFC. Participa en los proyectos europeos CACHET, HYSYS y EFFIPRO.

EVE, Ente Vasco de la Energía (www.eve.es) es un ente público dependiente del Departamento de Industria, Innovación y Turismo del Gobierno Vasco, cuyo cometido es desarrollar la política energética establecida para la Comunidad Autónoma Vasca. Trabaja en tres áreas dentro de su ámbito territorial: fomento del uso racional de la energía (ahorro y eficiencia energéticos), impulso de las energías renovables y promoción de infraestructuras energéticas modernas y eficientes. Participa en proyectos, asesoría energética, gestión de programas de subvenciones, organización de jornadas técnicas, impartición de cursos de formación, etc.

Fundación CIDAUT, Investigación y Desarrollo en Transporte y Energía (www.cidaut.es) es una fundación privada sin ánimo de lucro cuyo objetivo es potenciar la competitividad y el desarrollo industrial de las empresas relacionadas con los sectores de Transporte y Energía. Desde hace más de 10 años trabaja en el desarrollo e implantación de tecnologías energéticas sostenibles. Investiga en el campo del hidrógeno y de las pilas de combustible desde el desarrollo de tecnologías para la producción de hidrógeno hasta el desarrollo propio de componentes para pilas de combustible y otros equipos necesarios para la utilización del hidrógeno. Participa en el proyecto europeo STORHY.

Fundación FITSA, Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automóvil (www.fundacionfitsa.org) potencia la integración de la innovación tecnológica con la seguridad y respeto medioambiental en el automóvil. Promueve la innovación en las empresas del sector de automoción; demuestra y difunde las utilidades de las tecnologías de comunicación en los ámbitos de la accidentalidad y del conocimiento del ciclo de vida del vehículo y vigilancia estratégica y tecnológica del sector y su entorno.

Fundación para el Desarrollo de las Nuevas Tecnologías del Hidrógeno en Aragón (www.hidrogenoaragon.es), entidad de carácter privado y sin ánimo de lucro creada para promocionar la utilización del hidrógeno, impulsada por el Gobierno de Aragón y apoyada por la industria y los principales actores de la sociedad que hoy conforman un patronato de sesenta y una entidades, centros de investigación y empresas. Centra sus actividades en la generación, almacenamiento y transporte de hidrógeno para su utilización en pilas de combustible, en aplicaciones de transporte o para la generación de energía distribuida. Trabaja en las áreas de Ingeniería y Consultoría e Investigación y Desarrollo, tanto con el desarrollo de líneas de investigación propias como de proyectos en colaboración con entidades asociadas. Las líneas de Investigación y Desarrollo incluyen producción de hidrógeno mediante electrolisis a partir de energía eólica y fotovoltaica, integración de pilas de combustible en aplicaciones de automoción, portátiles y estacionarias, y sistemas de almacenamiento y gestión de hidrógeno.

ICIQ, Institut Català d'Investigació Química (www.iciq.es) es una fundación privada que enfoca su investigación en numerosas áreas de la química. El área de energías reno-

vables centra su actividad en el desarrollo de celdas solares orgánicas alternativas a los dispositivos actuales de silicio. Participa en el proyecto europeo SOLARH2.

IDAE, Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (www.idae.es) es una Entidad Pública Empresarial adscrita a la Secretaría de Estado de Energía del MITYC. Su misión estratégica es impulsar en España las políticas de eficiencia energética y el uso racional de la energía, así como la diversificación de las fuentes de abastecimiento y la promoción de las energías renovables. Es responsable del impulso y seguimiento del Plan de Energías Renovables en España 2005-2010 y también del desarrollo, implementación y seguimiento del Plan de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2008-2012.

IKERLAN-IK4, S. Coop. (www.ikerlan.es) es un Centro de Investigaciones Tecnológicas y entidad privada sin ánimo de lucro, creado por un grupo de empresas, e integrado en la Corporación MONDRAGON. Es centro de referencia en la innovación y desarrollo integral de productos mecatrónicos y energéticos, y cuenta con experiencia amplia en la aplicación de las tecnologías mecánica, electrónica, microtecnologías y pilas de combustible. Miembro de la Red Vasca de Ciencia y Tecnología, participa en el proyecto singular estratégico PSE-CDTI y en el proyecto europeo FLAME-SOFC.

IMDEA Energía, Instituto Madrileño Estudios Avanzados (www.energia.imdea.org). Creado por iniciativa del Gobierno Regional de la Comunidad de Madrid con el fin de promover y realizar actividades de I+D relacionadas con la energía, especialmente las energías renovables y a las tecnologías energéticas limpias. En el área científica de Energía trabaja en sistemas y tecnologías de energía solar, producción de hidrógeno, biocombustibles y combustibles derivados de residuos, almacenamiento de energía acoplada a las energías renovables, gestión inteligente de la demanda eléctrica y desarrollo de células de combustibles y poligeneración.

Inasmet Tecnalia (www.inasmet.es) es un Centro Tecnológico de Materiales y Procesos para diversas aplicaciones industriales. Su Unidad de Energía se dedica, entre otros temas, al desarrollo de tecnología en el campo del hidrógeno y las pilas de combustible. Cuenta con un equipo de 50 personas y está estructurada en tres departamentos: "Bioenergía", que se dedica a los temas relacionados con la producción de hidrógeno; "Cadena del Hidrógeno", al desarrollo de materiales y componentes para aplicaciones como el almacenamiento de hidrógeno, pilas de combustible y electrolizadores (pilas PEM y SOFC) y "Materiales para EERR" al desarrollo de materiales para energías renovables, fundamentalmente Solar y Eólica y a la evaluación de su comportamiento en condiciones de servicio.

INTA, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, Ministerio de Defensa (www.inta.es) es un Organismo Público de Investigación dedicado principalmente al desarrollo de la tecnología aeronáutica y la ciencia espacial. Su departamento de Energía desarrolla actividades en las tecnologías de las pilas de combustible e hidrógeno para satisfacer las necesidades de gestión energética en misiones espaciales tripuladas. Tiene actualmente una amplia experiencia en caracterización de prototipos de pila de combustible de baja y media temperatura en el rango de potencia de hasta 30 kW, así como en diseño, instalación, monitorización y evaluación de demostradores de sistemas energéticos con pila de combustible e hidrógeno. Participa en los proyectos europeos STORHY, HYWAYS, FCTESQA y HYAPPROVAL.

ITC, S.A., Instituto Tecnológico de Canarias, Gobierno de Canarias (www.itccanarias.org) es una empresa pública creada por el Gobierno de Canarias cuyas actividades se enmarcan dentro de los campos de I+D+i, todo ello al servicio de las empresas

de Canarias. En el campo del hidrógeno tiene por objetivo maximizar la penetración de energías renovables en Canarias. Actualmente cuenta con dos prototipos de producción y almacenamiento de H₂ en sus instalaciones en Gran Canaria. El primero se instaló en el marco del proyecto europeo RES2H2, coordinado por el ITC, y pretende avanzar con aplicaciones estacionarias, para estabilizar micro-redes alimentadas exclusivamente con energía eólica. El sistema incluye, además de un electrolizador alcalino de 11 Nm³/h de H₂ y 6 pilas con potencia eléctrica total de 30 kW, una planta de desalación para utilización del exceso de energía eólica. El segundo prototipo pertenece al proyecto HYDROHYBRID y está pensado para aplicaciones al transporte. Consiste en un sistema híbrido eólico (10 kW) y fotovoltaico (3 kWp), que alimenta en aislado a un electrolizador PEM con capacidad máxima de 1,16 Nm³/h de H₂. El H₂ se comprime y almacena a 200 bar, y posteriormente se utiliza en automoción. Cuenta con un vehículo de H₂ propulsado por una pila de combustible de 4 kW.

Tekniker-IK4 (www.tekniker.es) es un Centro Tecnológico constituido como fundación privada sin ánimo de lucro, cuya misión es la de contribuir a incrementar la capacidad de innovación del tejido industrial, para mejorar su competitividad a través de la generación y aplicación de la tecnología y el conocimiento.

Anexo IV. Grupos de Investigación en España que desarrollan su actividad en temas relacionados con las tecnologías de hidrógeno y celdas de combustible

- **Instituto de Carboquímica, ICB** (www.icb.csic.es), Grupo de Nanoestructuras de Carbono y Nanotecnología, Dpto. Nanoestructuras de Carbono y Nanotecnología (mtmartinez@icb.csic.es).
- **Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, ICP** (www.icp.csic.es), Grupo de Energía y Química Sostenible (jlgfierro@icp.csic.es); Grupo de Bio-electrocatalisis y Biosensores, Dpto. Biocatálisis (vmfernandez@icp.csic.es).
- **Instituto de Cerámica y Vidrio, ICV** (www.icv.csic.es), Grupo de Electroquímica de Sólidos y Superficies, Dpto. Electrocerámica (alberto.moure@icv.csic.es); Grupo de Materiales Cerámicos y Vítreos para Aplicaciones Energéticas y Medioambientales, Dpto. Vidrios (jrjurado@icv.csic.es); Grupo de Materiales Cerámicos y Vítreos para Aplicaciones Energéticas y Medioambientales, Dpto. Vidrios (tcolomer@icv.csic.es); Grupo de Vidrios y Recubrimientos Vítreos, Dpto. Vidrios (aduran@icv.csic.es).
- **Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, ICMM** (www.icmm.csic.es), Grupo de RMN (Sólidos Iónicos), Dpto. Energía, Medio Ambiente y Tecnologías Sostenibles (jsanz@icmm.csic.es); Grupo de Sólidos Iónicos, Dpto. Energía, Medio Ambiente y Tecnologías Sostenibles (jmrojo@icmm.csic.es).
- **Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, ICMSE, Universidad de Sevilla-CSIC** (www.icmse.csic.es), Grupo de Superficies, Intercaras y Láminas Delgadas (yubero@icmse.csic.es).

- **Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, ICTP** (www.ictp.csic.es), Grupo de Materiales Compuestos y Electroactivos (acosta@ictp.csic.es).
- **Instituto de Física Aplicada, IFA** (www.ifa.csic.es), Grupo de I+D Sensores para Gases, Dpto. Tecnología de Gases y Superficies (javiergutierrez@ifa.cetef.csic.es).
- **Instituto de Microelectrónica de Barcelona**, Centro Nacional de Microelectrónica, IMB (www.imb-cnm.csic.es), Grupo de Sensores de Gases, Dpto. Micro y Nano Sistemas (carles.cane@cnm.es).
- **Instituto Nacional del Carbón, INCAR** (www.incar.csic.es), Grupo de Materiales Carbonosos para Aplicaciones Tecnológicas, Dpto. Tecnología Energética y Medioambiental (aapunte@incar.csic.es); Grupo de Materiales Compuestos, Dpto. Química de Materiales (rosmenen@incar.csic.es); Grupo de Materiales Porosos Funcionales, Dpto. Química de Materiales (abefu@incar.csic.es); Grupo de Procesos Energéticos y Reducción de Emisiones, Dpto. Tecnología Energética y Medioambiental (frubiera@incar.csic.es).
- **Instituto de Química Orgánica General, IQOG** (www.iqog.csic.es), Grupo de Catalizadores Catódicos, Dpto. Síntesis (felix-iqo@iqog.csic.es).
- **Instituto de Tecnología Química, ITQ, UPV-CSIC** (www.upv.es/itq), Grupo de Energías Alternativas, Dpto. Catalizadores, Procesos Catalíticos y Reactores Químicos (fmelo@itq.upv.es).
- **Laboratorio de Investigación en Tecnologías de la Combustión, LITEC** (www.litec.csic.es), (felix@litec.csic.es).
- **Fundación CIDETEC** (www.cidetec.es), Dpto. Energía (omiguel@cidetec.es).
- **Universidad de Alicante** (www.ua.es), Instituto de Electroquímica, Dpto. Química Física, Facultad de Ciencias (aldaz@ua.es).
- **Universidad Autónoma de Madrid** (www.uam.es), Dpto. Física de Materiales, Facultad de Ciencias (isabel.j.ferrer@uam.es).
- **Universidad de Barcelona** (www.ub.es), Dpto. Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Química (m.segarra@ub.edu); Grupo de Materiales Catalíticos, Dpto. Química Inorgánica, Facultad de Química (narcishomsmarti@ub.edu); Grupo de Materiales Metálicos y Electropolímeros Conductores, Laboratorio de Ciencia y Tecnología Electroquímica de Materiales, Dpto. Química Física (p.cabot@ub.edu).
- **Universidad Complutense** (www.ucm.es), Laboratorio de Química del Estado Sólido, Dpto. Química Inorgánica, Facultad de Ciencias Químicas (maaf@quim.ucm.es).
- **Universidad de La Laguna** (www.ull.es), Grupo de Ciencia de Superficies y Electrocatálisis, Dpto. Química Física, Facultad de Química (epastor@ull.es); Grupo de Pilas de Combustible de Canarias, Dpto. Química Inorgánica (pnunez@ull.es).
- **Universidad del País Vasco/EHU** (www.ehu.es), Dpto. Ingeniería Química, Facultad de Ciencia y Tecnología (federico.mijangos@ehu.es); Laboratorio de Ciencia y Tecnología de Combustibles, Dpto. Ingeniería Química y del Medio Ambiente, ETS Ingeniería de Bilbao (jose.cambra@ehu.es); Laboratorio de Química Industrial e Ingeniería Electroquímica, Dpto. Ingeniería Química y del Medio Ambiente, Escuela Universitaria Politécnica de Donostia-San Sebastián (angelagustin.rodriguez@ehu.es); Grupo de Tecnologías Químicas para la Sostenibilidad Ambiental, Dpto. Ingeniería Química, Facultad de Ciencia y Tecnología (miguelangel.gutierrez@ehu.es).
- **Universidad Politécnica de Cataluña** (www.upc.es), Grupo de Control Avanzado de Sistemas de Energía, Dpto. Ingeniería de Sistemas, Automática e Informática Industrial,

Instituto de Robótica e Informática Industrial (riera@iri.upc.es).

- **Universidad Pública de Navarra** (www.unavarra.es), Dpto. Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales, ETS Ingenieros Industriales y de Telecomunicación (pmde@unavarra.es).
- **Universidad Rey Juan Carlos** (www.urjc.es), Grupo de Ingeniería Química y Ambiental, Dpto. Tecnología Química y Energética, Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología (juanangel.botas@urjc.es).
- **Universidad de Salamanca** (www.usal.es), Dpto. Química Física (salvador@usal.es).
- **Universidad San Pablo – CEU** (www.uspceu.com), Dpto. Ciencias Químicas, Facultad de Ciencias Experimentales (flgaal@ceu.es).
- **Universidad de Vigo** (www.uvigo.es), Dpto. Ingeniería de Materiales (urrejola@uvigo.es), Dpto. Ingeniería Química (asanchez@uvigo.es).
- **Universidad de Zaragoza** (www.unizar.es), Dpto. Espectroscopia de Sólidos, Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón, ICMA (orera@unizar.es); Dpto. Espectroscopia de Sólidos, Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón, ICMA (sanjuan@unizar.es); Dpto. Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias (amonzon@unizar.es).

Anexo V – Instituciones participantes de las redes del ProH₂

Institución	Sigla	Red
Instituto Nacional de Tecnologia	INT	Produção de H ₂
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	IPEN	Produção de H ₂
Instituto de Tecnologia e Pesquisa – Universidade Tiradentes	ITP	Produção de H ₂
Universidade Estadual de Maringá	UEM	Produção de H ₂
Universidade Federal de Bahia	UFBA	Produção de H ₂
Universidade Federal Fluminense	UFF	Produção de H ₂
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	UFRGS	Produção de H ₂
Universidade Federal do Rio de Janeiro / COPPE	UFRJ/COPPE	Produção de H ₂
Universidade Federal do Rio de Janeiro / EQ	UFRJ/EQ	Produção de H ₂
Universidade Federal do Rio Grande do Norte	UFRN	Produção de H ₂
Universidade Federal de São Carlos	UFSCar	Produção de H ₂
Universidade Federal de Uberlândia	UFU	Produção de H ₂
Universidade Estadual de Campinas	UNICAMP	Produção de H ₂
Universidade Estadual de São Paulo	USP/São Carlos	Produção de H ₂
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	IPEN	PEM
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho	UNESP – Bauru	PEM
Universidade Federal do Rio de Janeiro / COPPE	UFRJ/COPPE	PEM
Centro de Pesquisas de Energia Elétrica	CEPEL	PEM
Universidade Estadual de São Paulo	USP/São Carlos	PEM
Universidade Estadual de São Paulo	USP/Ribeirão Preto	PEM
Universidade Estadual de São Paulo	USP/São Paulo	PEM
Universidade Federal do Rio de Janeiro / IMA	UFRJ/IMA	PEM
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho	UNESP – Araraquara	PEM
Instituto de Pesquisas Tecnológicas	IPT	PEM
Universidade Federal do Maranhão	UFMA	PEM
Universidade Federal de Bahia	UFBA	PEM
Universidade Federal do Pará	UFPA	PEM
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	IPEN	SOFC
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho	UNESP – Bauru	SOFC
Universidade Federal de Santa Catarina	UFSC	SOFC
Universidade Federal de Bahia	UFBA	SOFC
Universidade Federal do Rio de Janeiro / COPPE	UFRJ/COPPE	SOFC
Universidade Estadual do Norte Fluminense	UENF	SOFC
Universidade Federal de Minas Gerais	UFMG	SOFC
Universidade Federal do Rio Grande do Norte	UFRN	SOFC
Universidade Federal de São Carlos	UFSCar	SOFC
Universidade Federal de Santa Catarina	UFSC	Sistemas
Centro de Pesquisas de Energia Elétrica	CEPEL	Sistemas
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	IPEN	Sistemas

Anexo VI. Instituciones nacionales, provinciales y privadas, que participan en proyectos relacionados con hidrógeno en Argentina

Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. ANPCYT
 Comisión Nacional de Energía Atómica. CNEA
 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. CONICET
 Universidad de Buenos Aires. UBA
 Universidad Nacional de La Plata. UNLP
 Universidad Nacional del Litoral. UNL
 Universidad Nacional de San Luis. UNSL
 Universidad Nacional del Sur. UNS
 Universidad Tecnológica Nacional. UTN
 Instituto Tecnológico de Buenos Aires. ITBA
 Escuela Superior Técnica del Ejército
 Asociación Argentina del Hidrógeno
 Municipalidad de Pico Truncado, provincia de Santa Cruz
 Energía Argentina SA: ENARSA
 Electricidad del Norte: EDENOR
 Combustibles Nucleares Argentinos: CONUAR
 Investigación Aplicada: INVAP

Anexo VII. Identificador de siglas no identificadas en los anexos previos

Capítulo 1

CEPE: Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas
 IAE: Agencia Internacional de la Energía

Capítulo 2

CUTE: Clean Urban Transport for Europe
 DoE: Departamento de Energía de los EEUU
 ECTOS: Ecological City Transport System
 EoHY: Autonomous uninterrupted electricity supply from intermittent renewable energy using hydrogen production, storage and a fuel cell
 HyWays: European Hydrogen Energy Roadmap European Hydrogen Energy Roadmap
 JHFC: Japan Hydrogen and Fuel Cell Demonstration Project
 MedHySol: Mediterranean Hydrogen Solar
 METI: Ministry of Economy, Trade and Industry de Japón
 NEDO: New Energy and Industrial Technology Development Organization
 UE: Union Europea

Capítulo 4

ANCEFN: Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Argentina
ANEEL: Agencia Nacional de Energía Eléctrica
ANI: Academia Nacional de Ingeniería, Argentina
CAB: Centro Atómico Bariloche, Argentina
CAC: Centro Atómico Constituyentes, Argentina
CEMIG: Compañía Energética de Minas Gerais, Brasil
CENPES: Centro de Pesquisas de PETROBRAS
CHESF: Compañía Hidroeléctrica de San Francisco, Brasil
CINDECA: Centro de Investigación y Desarrollo en Procesos Catalíticos, Dr. J.J. Ronco, Argentina
CINSO: Centro de Investigaciones en Sólidos, Argentina
CNPq: Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Brasil
COPEL: Compañía Paranaense de Energía, Brasil
COTEC: Fundación para la Innovación Tecnológica. Tecnología e Innovación, España
CSIC: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España
EMTU: Empresa de Transporte Urbano del Estado de San Pablo, Brasil
ENCYT: Estrategia Nacional en Ciencia y Tecnología, España
FAPERJ: Fundación de Amparo a la Investigación del Estado de Río de Janeiro
FAPESP: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, Brasil Global
FINEP: Financiadora de Estudos e Projetos, Brasil
FIUBA: Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
GEF: Environment Facility
IEDS: Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable, Argentina
INCAPE: Instituto de Catálisis y Petroquímica, Argentina
INE: Instituto Nacional de la Energía, España
INGAR: Instituto de Desarrollo y Diseño, Argentina
INIFTA: Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas, Argentina
INTEQUI: Instituto de Tecnología Química. Argentina
ITBA: Instituto Tecnológico Buenos Aires, Argentina
LPC: Laboratorio de Procesos Catalíticos, Argentina
MCT: Ministerio de Ciencia y Tecnología, Brasil
MICINN: Ministerio de Ciencia e Innovación, España
MINCYT: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Argentina
MITYC: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, España
MME: Ministerio de Minas y Energía, Brasil
PICT: Proyecto de Investigación Científica y Tecnológica
PID: Proyecto de Investigación y Desarrollo
PINMATE: Programa de Investigaciones en Materias Primas y Energía, Argentina
PLAPIQUI: Planta Piloto de Ingeniería Química, Argentina
PME: Proyecto de Modernización de Equipamiento
PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PRAMIN: Proyectos de Adecuación y/o Mejora de Infraestructura
PRH: Programa de Recursos Humanos
PRIETEC: Proyecto de Infraestructura y Equipamiento Tecnológico
UBATEC: Empresa de prestación de servicios y transferencia tecnológica de la Universidad de Buenos Aires, el gobierno de la ciudad de Buenos Aires y la Confederación General de la Industria