SUMARIO

Hidrógeno y Pilas de Combustible:

Estado de la técnica y posibilidades en Aragón

GOBIERNO DE ARAGON
Departamento de Industria, Comercio y Turismo

DIRECCIÓN Y SUPERVISIÓN

Departamento de Industria, Comercio y Turismo

REDACTORES

Antonio Valero Capilla

Mariano Sanz Badía

Ignacio Zabalza Bribián

Zaragoza, Julio de 2003

ÍNDICE SUMARIO

1. INTRODUCCIÓN 4

2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DEL HIDRÓGENO Y LAS PILAS DE COMBUSTIBLE 5

TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DEL HIDRÓGENO 5

TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DEL HIDRÓGENO 7

FUNCIONAMIENTO Y TECNOLOGÍAS DE PILAS DE COMBUSTIBLE 9

APLICACIONES DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE 10

3. PRINCIPALES EXPERIENCIAS Y PROYECTOS DE I+D 14

PRINCIPALES ASOCIACIONES DE REFERENCIA 14

PRINCIPALES PROYECTOS EUROPEOS DE I+D 17

4. POSIBILIDADES DE DESARROLLO DE LAS TECNOLOGÍAS DEL HIDRÓGENO EN ARAGÓN 20

POTENCIALIDADES DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN 20

PRINCIPALES CENTROS DE INVESTIGACIÓN Y EMPRESAS EN ARAGÓN 26

JORNADA TÉCNICA HIDRÓGENO Y PILAS DE COMBUSTIBLE ESTADO DE LA TÉCNICA Y POSIBILIDADES EN ARAGÓN . 31

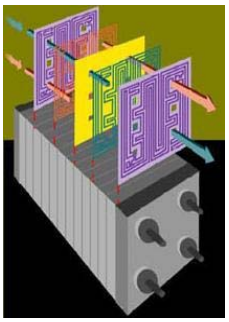
FUNDACIÓN PARA EL DESARROLLO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DEL HIDRÓGENO EN ARAGÓN 33

1. INTRODUCCIÓN

La progresiva disminución de las reservas de combustibles fósiles y los problemas medioambientales asociados a su combustión obligan a la búsqueda de **nuevas alternativas energéticas**.

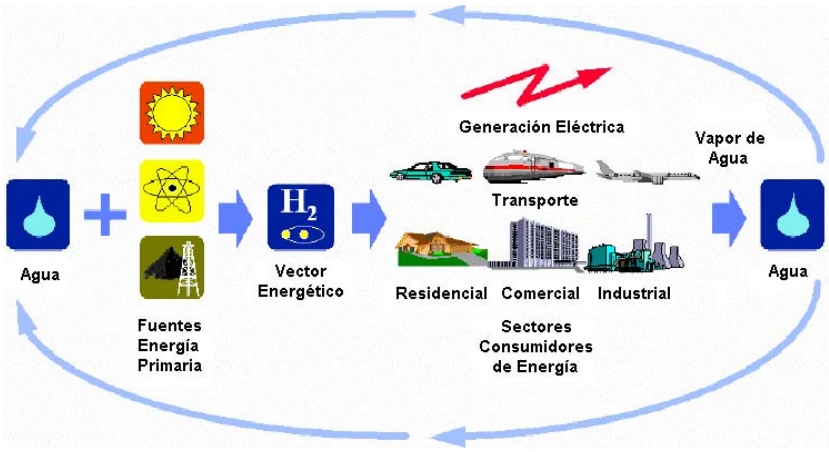
En este contexto el **hidrógeno** surge como un nuevo **"vector energético",** es decir, un transportador de energía primaria hasta los lugares de consumo que ofrece además importantes ventajas.

El hidrógeno es el elemento más abundante en el universo. Puede producirse a partir de la electrólisis del agua con energía eléctrica, o de la biomasa por descomposición térmica o biológica, o bien de los propios combustibles fósiles como el gas, el petróleo o el carbón.



Hemos realizado un dossier para ofrecer una visión general del estado actual de las tecnologías de generación, almacenamiento y transporte de hidrógeno y su utilización como fuente de energía en las **pilas de combustible**, presentando sus principales aplicaciones en los campos de la **automoción** y la **generación eléctrica distribuida**. Asimismo se analizan las posibilidades de **desarrollo de las tecnologías del hidrógeno en Aragón**, siendo este documento un sumario del dossier.

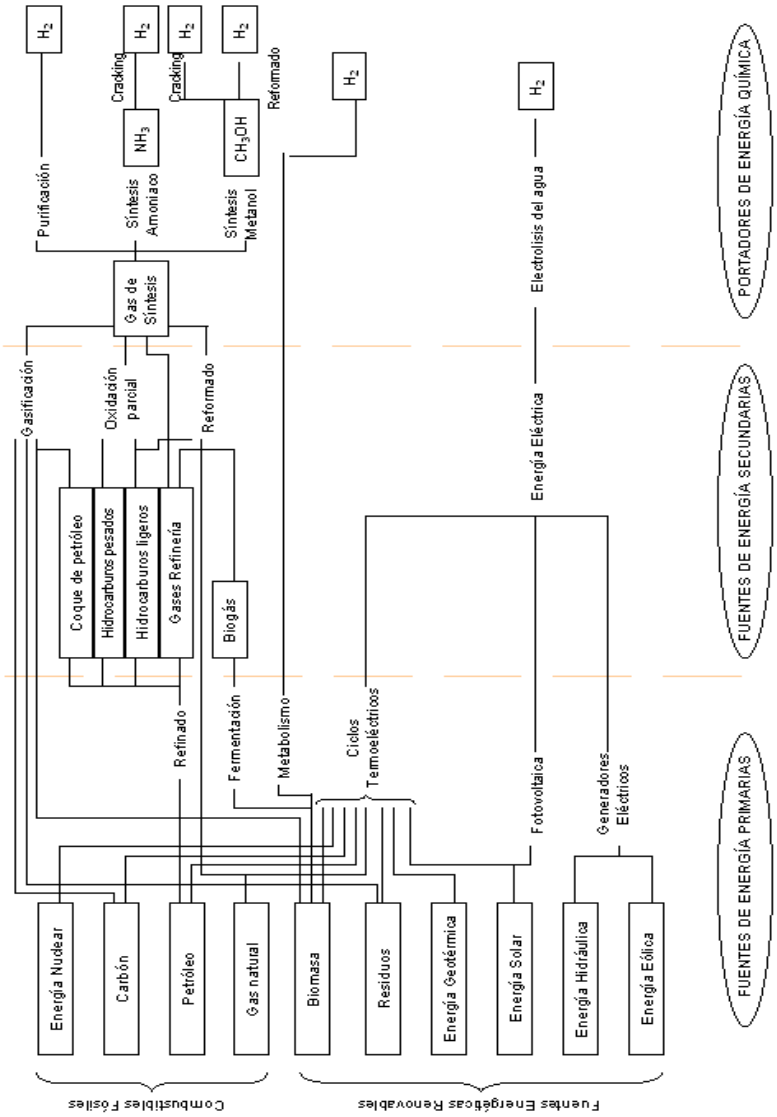
Ciclo del hidrógeno



2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DEL HIDRÓGENO Y LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

Tecnologías de generación del hidrógeno

Actualmente, el 75% de la producción mundial de hidrógeno se realiza a partir de gas natural mediante un proceso conocido como "reformado con vapor de agua". No obstante, el hidrógeno puede producirse a partir de una amplia variedad de fuentes de energía primarias.

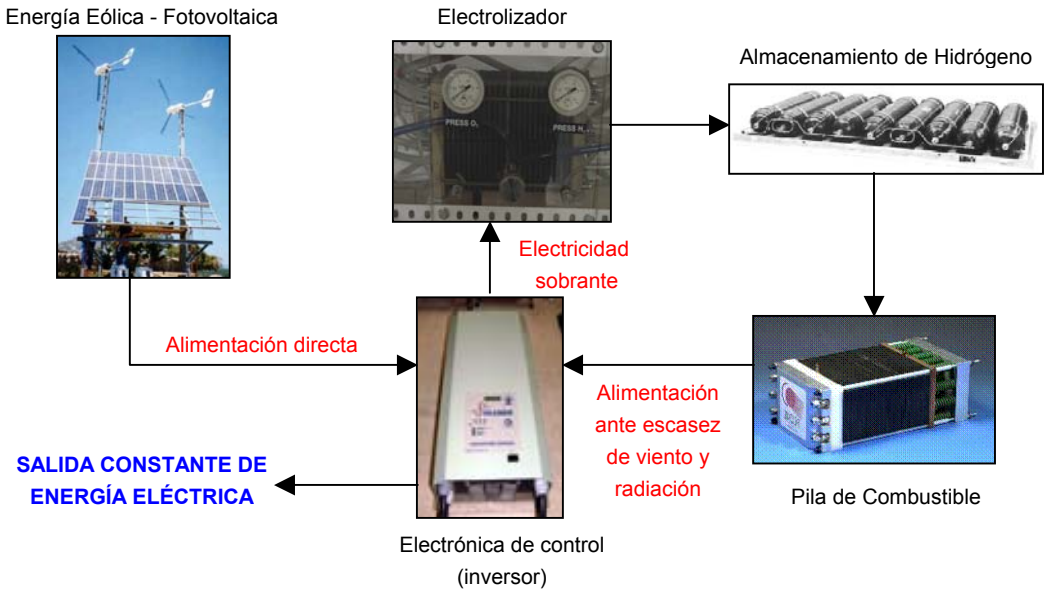


El tipo de procesado del combustible a partir del cual se produzca el hidrógeno depende del propio combustible y de la tecnología de pilas de combustible que se vaya a alimentar, ya que algunos tipos de pilas no aceptan determinadas impurezas en su combustible de alimentación.

El hidrógeno puede obtenerse a partir de **combustibles fósiles** por medio de diversos tratamientos, cuyo objetivo es la obtención de un gas de síntesis a partir del cual sea posible extraer el hidrógeno:

- Reformado con vapor de agua (aplicable al gas natural e hidrocarburos ligeros).
- Oxidación parcial (aplicable a hidrocarburos pesados, especialmente en estado líquido).
- Gasificación (aplicable al carbón, residuos, etc).

Por otra parte se puede obtener hidrógeno a partir de **fuentes de energía renovables** como la eólica, fotovoltaica o hidráulica, mediante la electrolisis del agua.



La principal ventaja de obtener hidrógeno mediante electricidad generada a partir de fuentes renovables es que constituye un **proceso cíclico limpio**. Por el contrario, las barreras más importantes que frenan su uso extendido son su menor rendimiento global y su mayor coste en comparación con la producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles.

Tecnologías de almacenamiento y distribución del hidrógeno

El desarrollo futuro de sistemas que usen hidrógeno como combustible dependerá de los avances logrados en la búsqueda de un método seguro y eficiente de almacenamiento y transporte del hidrógeno.

El hidrógeno presenta buenas propiedades de transporte y almacenamiento comparado con la electricidad. Sin embargo no existe ningún método que resuelva totalmente el problema del almacenamiento del hidrógeno, el cual está relacionado con sus propiedades físico-químicas.

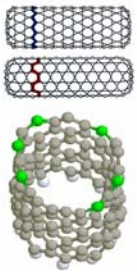
El hidrógeno puede almacenarse en estado gaseoso (a altas presiones: 200-350 bares), en estado líquido (a bajas temperaturas: -253ºC), en estado sólido en forma de hidruros metálicos o por medio de unas novedosas estructuras microscópicas de carbono conocidas como nanotubos.

- **Almacenamiento como gas en contenedores a presión**: La baja densidad del hidrógeno gaseoso conlleva grandes volúmenes y altas presiones para lograr un almacenamiento eficaz. A pequeña escala, el almacenamiento se realiza en recipientes de media-alta presión. Para la acumulación de grandes cantidades, una alternativa de futuro podría ser el almacenamiento subterráneo en cavernas y minas abandonadas.

- **Almacenamiento como líquido en depósitos criogénicos**: Se requieren volúmenes inferiores, sin embargo se consumen grandes cantidades de energía en el proceso de licuado, que supone el 30-40 % de la energía que se utiliza en la producción.

- **Almacenamiento como sólido formando hidruros metálicos**: Los hidruros son aleaciones metálicas con capacidad para almacenar y liberar hidrógeno con gran seguridad. Permiten almacenar más hidrógeno por unidad de volumen que en forma líquida. Su principal inconveniente es su elevado peso.

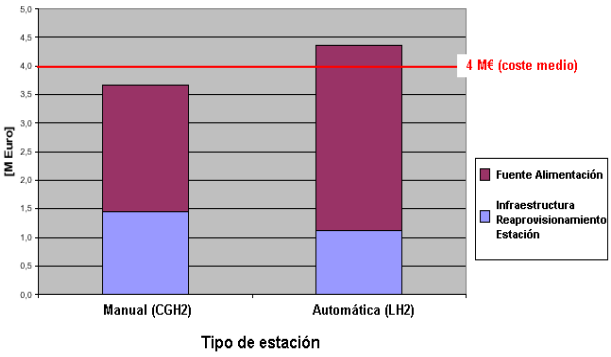
- **Almacenamiento en nanotubos de carbono**: Los nanotubos son láminas de grafito enrolladas formando un cilindro de diámetro nanométrico capaz de almacenar hidrógeno. Los avances que se consigan en esta novedosa tecnología, aún en fase de investigación, resultarán decisivos para conseguir el almacenamiento de grandes cantidades de hidrógeno de forma segura.



El transporte del hidrógeno requerirá de importantes inversiones en infraestructuras de suministro. Los esfuerzos deberán centrarse en crear una red de estaciones para el suministro de hidrógeno **"hidrogeneras"** en colaboración con las grandes compañías multinacionales.

Las previsiones realizadas por las principales organizaciones estiman que en el año 2005 habrá una estación de servicio de hidrógeno en todas las grandes ciudades europeas, y que para el año 2020 la red de estaciones de servicio de hidrógeno cubrirá todo el territorio europeo.

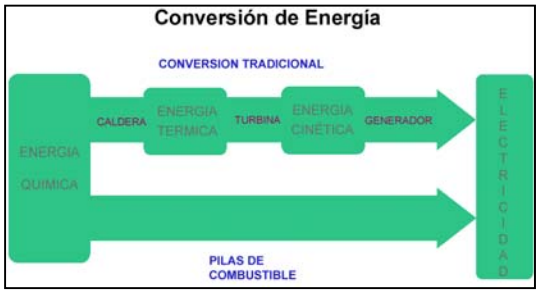
El desarrollo de estaciones de servicio de hidrógeno supondrá uno de los pasos más importantes para el uso generalizado de esta nueva fuente energética. Las zonas más idóneas para la creación de estas infraestructuras son aquéllas con una población pequeña y concentrada en el entorno de una gran ciudad, y que cuenten con importantes recursos renovables, ya que de esta forma se reduce el número de "hidrogeneras" a construir y se disminuyen los costes.



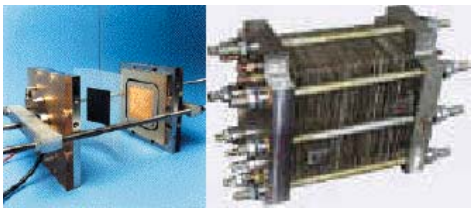
Funcionamiento y tecnologías de pilas de combustible

¿Qué es una pila de combustible?

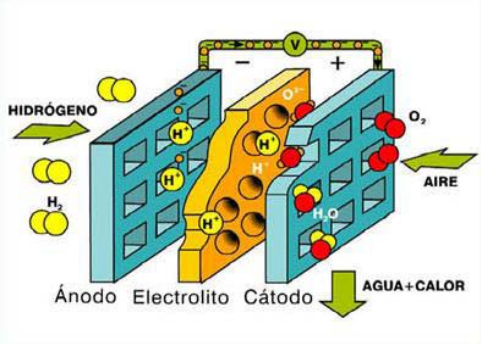
Una pila de combustible es un dispositivo electroquímico que convierte directamente la energía química en eléctrica con **alta eficiencia** (45-65%) y baja emisión de sustancias contaminantes.



¿Cómo funciona?



Una pila de combustible está constituida por diversas celdas de combustible individuales conectadas eléctricamente.



Cada celda está constituida por 2 **electrodos** (ánodo y cátodo) separados por un **electrolito**. La energía eléctrica se genera combinando $\mathbf{H_2}$ (combustible) y $\mathbf{O_2}$ (oxidante) mediante una reacción electro-química sin ninguna combustión, generando como único subproductos calor y agua.

¿Qué tecnologías de pilas existen?

El criterio más corriente para clasificar las pilas de combustible es en función del **tipo de electrolito** que utilizan. Según este criterio tendremos pilas de combustible que operan a diferentes temperaturas, que necesitan mayor o menor pureza del hidrógeno suministrado y que resultan más o menos adecuadas para ciertas aplicaciones.

Tipo	Electrolito	Temperatura de operación (ºC)	Aplicaciones	Ventajas	Inconvenientes
Membrana Polimérica (PEMFC)	Polímero sólido	60-100	Vehículos. Portátiles. Generación estacionaria.	Electrolito sólido reduce corrosión y mantenimiento. Baja temperatura. Arranque rápido.	Catalizadores costosos. Sensible a impurezas en H_2 u otro combustible.
Alcalina (AFC)	Solución acuosa de hidróxido de potasio	90-100	Espacio. Militar	Reacción catódica más rápida en electrolito alcalino. Mayor eficiencia.	Muy sensible a impurezas.
Ácido Fosfórico (PAFC)	Ácido fosfórico líquido	175-200	Generación estacionaria. Portátiles.	65% de eficiencia en cogeneración. Acepta H_2 impuro.	Catalizador de platino. Baja corriente y potencia. Gran peso y volumen.
Carbonatos Fundidos (MCFC)	Solución líquida de litio, sodio y potasio	600-1000	Generación estacionaria.	Ventajas por alta temperatura: mayor eficiencia, catalizadores más baratos.	Corrosión debido al tipo de electrolito. Baja vida útil.
Óxidos Sólidos (SOFC)	Óxido de Zirconio sólido con adiciones de Itrio	600-1000	Generación estacionaria.	Ventajas por alta temperatura. Ventajas por electrolito sólido.	Corrosión debido a altas temperaturas. Baja vida útil.

Aplicaciones de las pilas de combustible

Las principales aplicaciones se pueden englobar dentro de 3 grandes grupos:

- Aplicaciones estacionarias: Generación eléctrica distribuida y cogeneración.
- Aplicaciones móviles: Motores de vehículos transporte terrestre, marítimo y aéreo.
- Aplicaciones portátiles: Fuente de alimentación para teléfonos móviles y ordenadores.

La Generación Eléctrica Distribuida

Generador híbrido 220 kW pila SOFC – turbina de gas

Frente al sistema convencional de distribución de energía formado por grandes centrales y largas redes de transporte, la generación eléctrica distribuida consiste en disponer de **múltiples plantas de pequeño tamaño** (<30MW) instaladas en las propias zonas residenciales e industriales, **junto a los puntos de consumo**.

Las principales **ventajas** de la generación distribuida son:

- Buena combinación con energías renovables, pilas de combustible, y microturbinas de gas, por lo que resulta ventajosa para el medioambiente.
- Abaratamiento de los costes de instalación y distribución.
- Reducción de las pérdidas de las líneas de transporte y aumento de la eficiencia.
- Complemento y apoyo a la generación centralizada, mejorando la calidad del suministro.

Principales organizaciones involucradas en el desarrollo de pilas de combustibles para generación distribuida

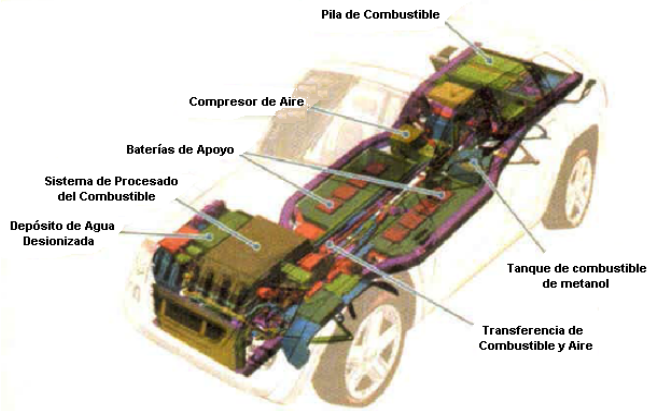
	Tecnología de Pilas de Combustible			
Desarrolladores	PAFC	PEMFC	MCFC	SOFC
International Fuel Cell	X	X	X	
Fuel Cell Corporation America	X			
Siemens – Westinghouse				X
Energy Resarch Corporation			X	
M-C Power			X	
Energy Partners		X		
AlliedSignal (AIResearch)		X		X
SOFC (Ceramatec/ Babcock & Wicox)				X
Ztek (Waltham, MA)				X
Analytic Power (Boston, MA)		X		
Ballard Power Systems (1) (Canadá)		X		
H-Power		X		
Plug Power (MTI and DTE)		X		
Electrochem (Wobum, MA)		X		
(1) Los socios para aplicaciones estacionarias inluye a GPU International, GEC Astom y Ebara.				

Costes objetivo de las pilas de combustible según el tipo de aplicación

Segmento de mercado	Capacidad típica (MW)	Coste inicial de entrada ($/kW)	Coste sostenido ($/kW)
Cogeneración comercial	0,2 – 2	1.500 – 2.000	800 – 1.300
Cogeneración industrial	5 – 200	1.000 – 1.200	800 – 1.000
Generación distribuida	50 – 20	1.300 – 1.500	800 – 1.300
Repowering	50 – 500	1.100 – 1.500	800 – 1.100
Generación centralizada	100 – 500	900 – 1.100	700 – 900

El Sector Automovilístico

Los principales fabricantes de automóviles han investigado y desarrollado diversos **prototipos** de vehículos con pilas de combustible. La tecnología de pilas más utilizada es la de **membrana polimérica** (PEMFC) con una potencia de **50 – 100 kW**. En la mayoría de los prototipos se ha experimentado con **diversos tipos de combustible** (metanol, etanol, hidrógeno gas/líquido, etc). Hay que destacar que tan sólo el hidrógeno garantiza vehículos de emisión cero. No obstante, aunque se suministre otro combustible a la pila, las emisiones son muy inferiores a las de un vehículo convencional.

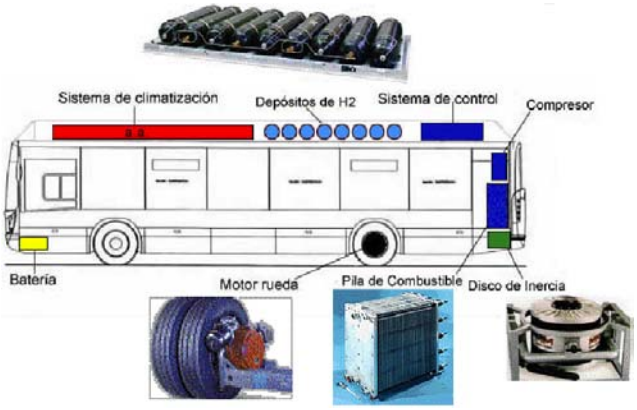


Principales elementos de un automóvil propulsado por hidrógeno

Los vehículos movidos con pilas de combustible conllevan un espectacular **aumento del rendimiento**. Frente a una eficiencia del 15-20% en los vehículos actuales, estos nuevos vehículos pueden alcanzar una eficiencia del 45-50%.

El **calendario** más probable para producción de vehículos propulsados a pilas de combustible (**Fuel Cell Vehicles – FCVs**) es el siguiente:

- 2002/04: 1ª producción de FCVs como vehículos de flota para demostración en Estados Unidos, Europa y Japón.
- 2006-2007: 2ª generación de sistemas de celdas de combustible incorporados a los FCVs y expansión de las flotas de FCVs en Estados Unidos, Europa y Japón.
- 2010: Comercialización de FCVs a precios viables, lo cual supondrá el primer paso para el reemplazo de los motores de combustión interna convencionales.



Principales elementos de un autobús propulsado por hidrógeno

Actualmente los **vehículos de flota** representan la mejor manera de ganar experiencia real mientras continúa el perfeccionamiento tecnológico de los vehículos. Además así se evita el problema de la prácticamente nula infraestructura existente para el suministro de combustible, ya que la mayor parte de las flotas son abastecidas y mantenidas desde una única estación de servicio centralizada.

	Tipo de Pila	Fabricante	Potencia (kW)	Volumen de H_2 (l)	Estado del H_2	Autonomía (km)
Ansaldo	PEMFC	De Nora	45	600	Líquido	400
NEBUS	PEMFC	Ballard	250	1050	Gas	250
Midi City	PEMFC	De Nora	60	500	Gas	250
Berlin	PEMFC	De Nora	120	700	Líquido	--
Eureka	PAFC	De Nora	78	700	Líquido	300
NEOPLAN	PEMFC	De Nora	55	588	Gas	600
Bavarian FCB I	PEMFC	Siemens	160	1548	Gas	250
Bavarian FCB II	PEMFC	Proton Motor	80	600	Gas	150
CITARO	PEMFC	XCellsis	250	1050	Gas	300

Prototipos europeos de autobuses propulsados por hidrógeno

3. PRINCIPALES EXPERIENCIAS Y PROYECTOS DE I+D

Principales Asociaciones de referencia

http://www.fuelcellworld.org

"World Fuel Cell Council" (Consejo Mundial de Pilas de Combustible) es una organización creada para intercomunicar las actividades de comercialización de pilas de combustible alrededor del mundo. Su actividad está enfocada hacia los progresos en el campo, y al desarrollo de sus aplicaciones prácticas para conseguir que las pilas de combustible lleguen a ser económicamente competitivas.

http://www.usfcc.com

"US Fuel Cell Council" (Consejo de Pilas de Combustible de Estados Unidos) se constituyó en 1998, como una asociación de industrias no lucrativa dedicada a fomentar la comercialización de las pilas de combustible en Estados Unidos. Sus actividades se centran en el asesoramiento técnico a sus miembros en las políticas de desarrollo a seguir, la recopilación de información y publicación de informes, la concienciación a la población, y el establecimiento de redes de conexión entre fabricantes, suministradores y clientes.

http://www.hydrogenus.com

La **"National Hydrogen Association"** (Asociación Nacional del Hidrógeno de EEUU) se formó tras una Conferencia sobre Energías a partir del Hidrógeno celebrada en 1988 en el Instituto de Investigaciones sobre Electricidad de Palo Alto (California). Está constituida por un grupo de 10 corporaciones industriales, educativas e investigadoras así como otros pequeños miembros; que incluyen representantes de las compañías automovilísticas, productores de celdas de combustible y empresas químicas.

http://www.nfcrc.uci.edu

El **"National Fuel Cell Research Center"** (Centro de Investigación Nacional de Pilas de Combustible de la Universidad de California en Irvine) promueve y apoya el crecimiento de la industria de celdas de combustible, favoreciendo el intercambio de información sobre tecnologías punteras enmarcadas dentro un programa exhaustivo de investigación, desarrollo y demostración. Además el Centro actúa como entidad de evaluación y mejora de la actual producción industrial de pilas de combustible.

http://www.fuelcell-eur.nl

"European Fuel Cell Group" (Grupo Europeo de Pilas de Combustible) es una organización sin ánimo de lucro fundada en 1989, con representantes de los distintos países europeos. Sus principales objetivos son asegurar el establecimiento de las pilas de combustible en Europa, como tecnología práctica, viable y competitiva para la conversión de la energía; y actuar como foro y vehículo para el intercambio de información sobre experiencias de I+D con sus miembros de los diversos países europeos.

http://www.h2euro.org

La **"European Hydrogen Association"** (Asociación Europea del Hidrógeno) fue fundada en 2000, promovida por el Comité Ejecutivo del Hidrógeno de la Agencia Internacional de la Energía. Está concebida como una agrupación de Asociaciones Nacionales del Hidrógeno ya existentes en Francia (Association Française de l'Hydrogène), Alemania (Deutscher Wasserstoff-Verband), Noruega (Norsk Hydrogen Forum), Suecia (H_2 forum), Italia (Forum Italiano dell'Idrogeno) y las más recientes creadas en Países Bajos, España y Grecia.

http://www.aeh2.org

La **Asociación Española del Hidrógeno** se fundó en 2002 con la concurrencia de 44 socios, entre los que se encuentran empresas privadas, organismos públicos, centros de investigación, entidades sin ánimo de lucro y particulares. Su objetivo principal es fomentar el desarrollo de la tecnología de los sistemas energéticos basados en el hidrógeno y en las pilas de combustible, así como promover la utilización de los mismos en aplicaciones de transporte, industriales, comerciales y residenciales.

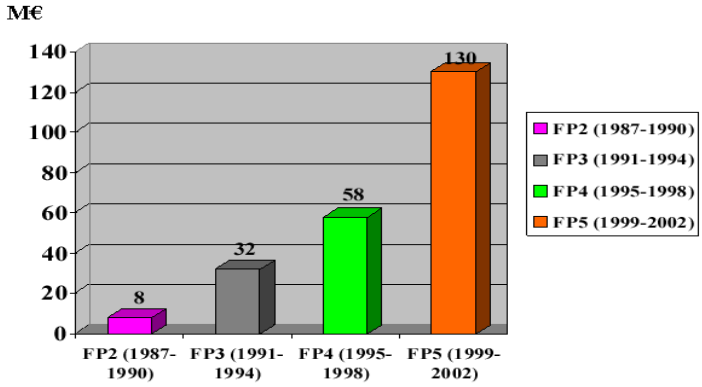
http://www.appice.es

La **Asociación Española de Pilas de Combustible** se constituyó en 2002 por iniciativa de un grupo de entidades de reconocido prestigio en el ámbito de la investigación y demostración tecnológica, de la ingeniería y la fabricación de pilas de combustible. El objetivo de la Asociación es favorecer el desarrollo científico y técnico de esta tecnología, dar a conocer su potencial impacto en la economía de los próximos años y finalmente facilitar y fomentar las relaciones entre los sectores involucrados.

Principales Proyectos Europeos de I+D

Los fondos públicos europeos para la investigación en pilas de combustible ascienden aproximadamente a 50 - 60 M€ anuales, lo que equivale aproximadamente a una tercera parte de los fondos asignados en los Estados Unidos y a una cuarta parte de los que dedica Japón a este tipo de investigación.

El **Quinto Programa Marco** de Investigación de la Unión (1999-2002) asignó aproximadamente **130 M€** a la investigación sobre hidrógeno y pilas de combustible.



Evolución de la inversión en proyectos de I+D sobre Hidrógeno y Pilas de Combustible en los sucesivos Programas Marcos

Desglose de la inversión (en M€) en proyectos de I+D sobre Hidrógeno y Pilas de Combustible dentro del Quinto Programa Marco

	Adquisición Tecnología Pilas Combustible	Aplicaciones Estacionarias Pilas Combustible	Aplicaciones Transporte Pilas Combustible	Usos Portables Pilas Combustibles	Infraestructuras Hidrógeno	TOTAL
I+D medio – largo plazo	32	4	26,5	4	13	**77**
I+D corto plazo	-	17	26,5	-	7	**50,5**
TOTAL	**32**	**21**	**53**	**4**	**20**	**130**

En comparación el Quinto Programa Marco, el presupuesto asignado a la investigación sobre pilas de combustible, su aplicación y las tecnologías del hidrógeno, va a aumentar considerablemente dentro del Sexto Programa Marco.

En el **Sexto Programa Marco** (2003-2006), la investigación sobre energía y transporte se lleva a cabo con arreglo a la prioridad temática nº 6 'Desarrollo sostenible, cambio planetario y ecosistemas', para la que se ha reservado un presupuesto total de **2.120 M€.** La investigación se centrará en la reducción de costes en la producción de pilas de combustible y en aplicaciones para edificios, transporte y producción distribuida de electricidad; materiales avanzados relacionados con pilas de combustible de alta y baja temperatura; producción rentable y limpia de hidrógeno; e infraestructura del hidrógeno. El objetivo es conseguir un coste a largo plazo de 50 €/kW para pilas aplicadas al transporte por carretera y de 300 €/kW para las pilas-electrolizadores y aplicaciones estacionarias de gran duración.

Proyectos sobre aspectos socio-económicos, pre-normativos, estratégicos y creación de redes relacionados con hidrógeno en el Quinto Programa Marco

Acrónimo	Título	Coordinador	Nº Socios	Duración (meses)	Financiación CE (M€)
FHIRST	Excelencia en I+D sobre Hidrógeno y Pilas de Combustible para Europa	Sydcraft (SE)	6	12	0,2
HYNET*	Red Temática Europea del Hidrógeno	LBST (D)	13	36	1,07
EIHP*	Proyecto Integrado Europeo del Hidrógeno	LBST (D)	20	36	2,36
EURO-HYPORT	Estudio de Viabilidad para la Exportación de Hidrógeno de Islandia a Europa	ICENEL (IC)	7	18	0,26
HYSOCIETY*	Introducción del Hidrógeno en la Sociedad Europea	Instituto Superior Técnico (P)	8	24	1,6
ACCEPTH$_2$	Aceptación Pública de las Tecnologías del Transporte del Hidrógeno	Imperial College (UK)	5	30	0,35

Proyectos sobre almacenamiento de hidrógeno en el Quinto Programa Marco

Acrónimo	Título	Coordinador	Nº Socios	Duración (meses)	Financiación CE (M€)
HYSTORY	Almacenamiento de hidrógeno en hidruros para sistemas de energía seguros	IFE (NO)	9	36	2,4
HYMOSSES*	Hidrógeno para aplicaciones móviles y estacionarias: Almacenaje seguro y eficiente	Electrovac (AT)	10	36	2,4
FUCHSIA	Pilas de Combustible y Almacenamiento de Hidrógeno para su Integración en los Automóviles	Birmingham University (UK)	5	36	2,2

Proyectos sobre producción y distribución de hidrógeno en el Quinto Programa Marco

Acrónimo	Título	Coordinador	Nº Socios	Duración (meses)	Financiación CE (M€)
CUTE*	Transporte Urbano Limpio para Europa	EVOBUS (D)	28	55	18
FUERO	Sistemas de Pilas de Combustible e Investigación de Componentes para Vehículos	Instituto Kraftfahrwesen (D)	7	42	2,5
HYDRO-FUELLER	Tecnología Intensificada para la Producción Distribuida de Hidrógeno	Warwick (UK)	6	36	1,6
HYSTRUCT	Desarrollo de electrolizadores de pequeño tamaño y bajo costo	MTU (D)	3	42	3,1
RES_2H_2*	Integración de las Energías Renovables en el Sector Europeo de la Energía a través del Hidrógeno	Abengoa (E)	17	60	2,5
HYDROSOL	Reactor Catalítico para la Generación de Hidrógeno a partir de energía solar	CERTH / CPERI (GR)	4	36	1,3

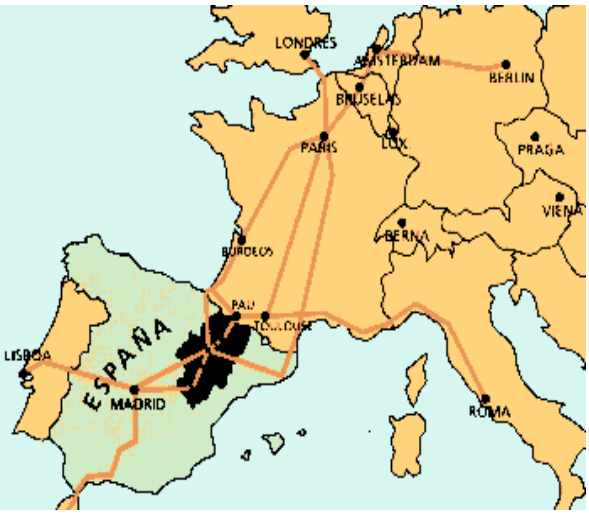
NOTA: Los proyectos que aparecen marcados con * cuentan con participación española.

4. POSIBILIDADES DE DESARROLLO DE LAS TECNOLOGÍAS DEL HIDRÓGENO EN ARAGÓN

Potencialidades de la Comunidad Autónoma de Aragón

Localización estratégica

La situación geográfica y las excelentes comunicaciones de Aragón tanto con el resto de España como con el sur de Francia, sitúan a Aragón, como enclave estratégico para la ubicación de plantas productivas y de distribución para abastecer al mercado nacional y europeo.



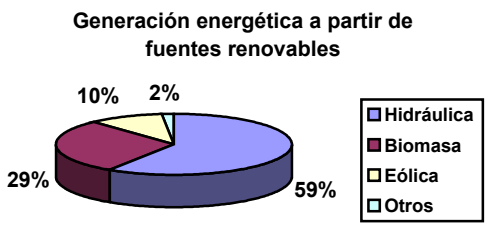
Su **situación geoestratégica** en el cuadrante nordeste de España, permite una rápida accesibilidad a las principales ciudades nacionales y a los países del sur de Europa. Asimismo le permite disponer de una buena **plataforma para la distribución y transporte** hacia la zona nordeste de la península, con conexiones con transporte marítimo o grandes infraestructuras, como las actuales redes de transporte de gas y petróleo.

Aragón tiene una superficie aproximada de **47.000 km^2**, y es un **nexo de unión** de las principales ciudades de España y del sur de Francia. En un radio de 300 km. se encuentran las ciudades más importantes a nivel nacional como son Madrid, Barcelona, Valencia, Bilbao y las principales ciudades del sur de Francia, Toulouse, Montpellier y Perpignan.

Las empresas instaladas en Aragón, se benefician de las oportunidades del área de influencia de la región, con más de **25 millones de consumidores finales** y un mercado potencial de **25.240 M€,** en un radio de 300 km.

Esta privilegiada localización, representa para las empresas instaladas en Aragón una **ventaja competitiva** en el mercado nacional, ya que permite una reducción del coste y del tiempo de tránsito tanto de las materias primas como de los productos terminados.

Infraestructura energética

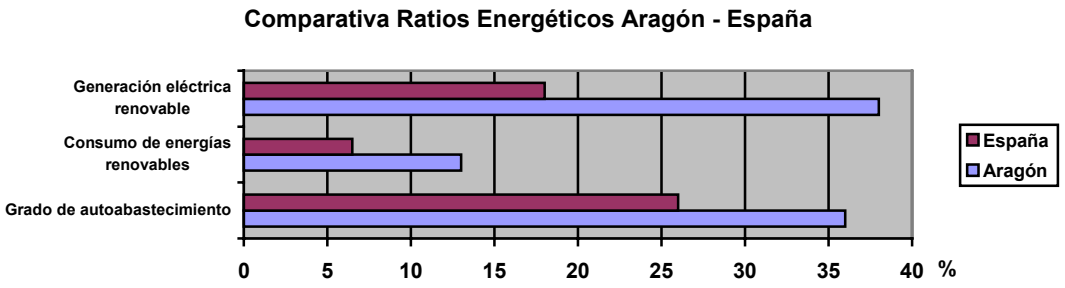


Tradicionalmente la Comunidad Autónoma de Aragón ha sabido aprovechar sus **abundantes recursos renovables y autóctonos**: agua y carbón, e incluso en un pasado reciente el gas natural. Actualmente otras energías renovables como la eólica o la biomasa están adquiriendo un importante peso específico en el mapa energético de Aragón.

La estructura energética de esta Comunidad cuenta con los siguientes activos:

- El grado de **autoabastecimiento** de energía primaria es del 36%
- La energía procedente de **fuentes renovables** representa el 13 % del consumo total de energía primaria.
- El 55% de la potencia total instalada en Aragón es de origen renovable.
- Aragón es una Comunidad claramente **exportadora de energía eléctrica**. Por término medio, la generación eléctrica anual alcanza los 13.000 GWh, exportando a otras regiones aproximadamente la mitad de esta producción.

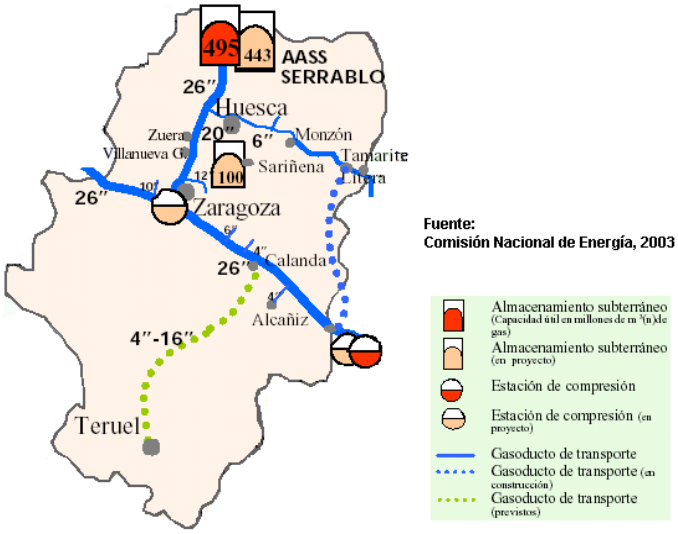
Potencia eléctrica total instalada	4.188 MW
Plantas hidroeléctricas	1.582 MW
Plantas convecionales de carbón	1.290 MW
Plantas de cogeneración	455 MW
Plantas eólicas	860 MW
Instalaciones fotovoltaicas	0,4 MW



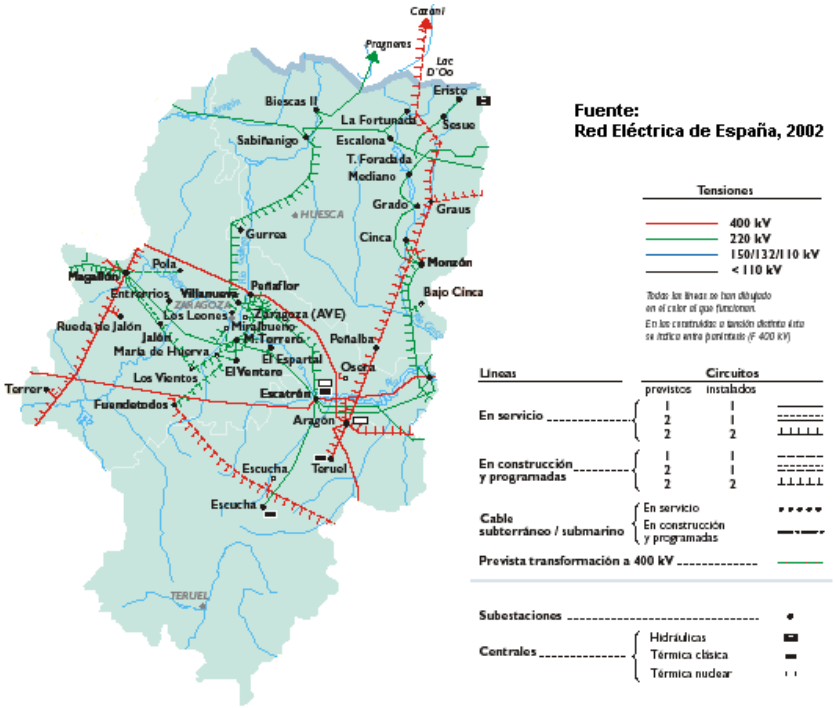
Por su peculiar estructura energética, Aragón dispone de una envidiable posición de partida para introducirse en la **nueva economía del hidrógeno**, que perfila a este elemento como vector energético para almacenar y transportar la energía procedente de cualquier fuente capaz de generar electricidad.

En este contexto, hay que destacar la importancia de la **energía eólica** y el protagonismo que pueden tener en el futuro otras fuentes como la **solar** y la **biomasa** en el desarrollo de las tecnologías de producción del hidrógeno a partir de fuentes renovables.

Las **infraestructuras** para el **transporte de energía** existentes en Aragón le permiten la conexión con las principales redes nacionales y europeas.



Red de gasoductos en Aragón



Red de transporte de electricidad en Aragón

Recursos humanos

Además de su localización, una de las grandes ventajas competitivas de la Comunidad Autónoma de Aragón es el valor de sus recursos humanos que se traduce en:

- Alta especialización de la mano de obra.
- Capacidad de los trabajadores para adaptarse a las nuevas tecnologías
- Excelente clima socio-laboral.
- Amplia cultura industrial.

Junto a **sectores industriales** de vital importancia para Aragón como los del **automóvil, químico, plástico o energético** se han desarrollado **redes y centros de investigación** del más alto nivel que prestan apoyo a la industria y aseguran la transferencia de conocimientos entre las empresas y los investigadores.

Entre estos centros hay que destacar el Instituto Tecnológico de Aragón, el Taller de Inyección de la Industria de los Plásticos (TIIP), el Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), el Laboratorio de Investigación en las Tecnologías de la Combustión (LITEC), el Centro Aragonés de Diseño Industrial (CADI), el Instituto de Carboquímica, el Instituto de Ciencia de los Materiales de Aragón (ICMA), o la Fundación Empresa Universidad de Zaragoza.

Por otra parte, más de una decena de empresas impulsan ya en el **Parque Tecnológico Walqa** líneas de investigación y desarrollo de alto valor añadido. El Parque Tecnológico Walqa, proyecto estratégico para el Gobierno de Aragón, contará a buen seguro entre las ofertas de ubicación más idóneas para albergar proyectos de investigación ligados al hidrógeno.

Todos estos factores hacen de Aragón una localización estratégica para proyectos de inversión de empresas multinacionales que eligen nuestra Comunidad para crecer y fortalecer su competitividad en una economía global cada vez más abierta.

A través del **Programa INVEXTA** del Instituto Aragonés de Fomento se han cerrado importantes acuerdos de instalación empresarial. En muchos casos se trata de multinacionales con divisiones especializadas en tecnologías del hidrógeno.

El Gobierno de Aragón está familiarizado con el apoyo a proyectos estratégicos que crean empleo, generan riqueza y diversifican el tejido industrial a la vez que lo hacen más competitivo. Las iniciativas ligadas al hidrógeno cuentan entre estos proyectos como atractivo para que empresas, inversores o investigadores internacionales decidan trabajar en nuestra región.

El Gobierno de Aragón y las tecnologías del hidrógeno

La operación de las nuevas instalaciones ligadas a la economía del hidrógeno o la construcción de aplicaciones, sistemas y componentes pueden crear en un futuro próximo numerosos puestos de trabajo de alto contenido tecnológico, que exigirán **nuevas capacidades de adaptación.**

El tejido empresarial aragonés tiene sistemas de calidad y mejora continua para adaptarse a las necesidades de sus clientes con gran flexibilidad. No obstante, en este momento el salto es mucho más amplio: pasar a otra tecnología novedosa y completamente diferente.

GOBIERNO DE ARAGON
Departamento de Industria, Comercio y Turismo

El Gobierno de Aragón se ofrece para liderar este cambio tecnológico apoyando de forma activa a las entidades y organizaciones a la hora de asumir los nuevos retos que se generan, potenciando los circuitos económicos regionales y las cadenas de alto valor añadido.

Principales Centros de Investigación y Empresas en Aragón

La Comunidad Autónoma de Aragón cuenta con una importante infraestructura de **centros y grupos de investigación** consolidados que abarcan una amplio abanico de áreas científicas y disciplinas. Una buena parte de estos grupos actúan en cooperación con la Universidad de Zaragoza, que constituye una de las principales referencias en cuanto al I+D realizado dentro de esta región.

Los centros más significativos con experiencia o capacidad y medios materiales y humanos para trabajar en los campos de generación, almacenamiento o transporte de hidrógeno y en las diversas aplicaciones de las pilas de combustible son:

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
Instituto de Carboquímica
CSIC

http://www.icb.csic.es

El Instituto es un Organismo Público de Investigación perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC y desarrolla proyectos de Investigación en el campo de la Energía y Medio Ambiente. El Instituto cuenta con 3 grupos de trabajo especializados dentro de este ámbito: Grupo de Conversión de Combustibles Fósiles y Residuos, Grupo de Investigación Medioambiental, y Grupo de Nanoestructuras de Carbono y Nanotecnología en proyectos de producción y almacenamiento de hidrógeno, problema este último, que es clave para el desarrollo de la utilización de hidrógeno en pilas de combustible en aplicaciones móviles.

CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
INSTITUTO DE CIENCIA DE MATERIALES DE ARAGÓN
ICMA
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

http://icma.csic.unizar.es

Fue creado en 1985 por acuerdo entre el Consejo Superior de Investigaciones Científicas y la Universidad de Zaragoza como centro mixto dependiente de las dos instituciones. Dentro de sus líneas de investigación relacionadas con el hidrógeno y las pilas de combustible hay que destacar: Almacenamiento de hidrogeno en nanotubos de carbono, en colaboración con el Instituto de Carboquímica, Producción de materiales conductores iónicos para pilas de combustible y Materiales para pilas de óxido sólido (SOFC), en colaboración con el ICMAB de Barcelona.

http://circe.cps.unizar.es

CIRCE es una Fundación constituida en 1993 por la Universidad de Zaragoza, la Diputación General de Aragón y el Grupo Endesa, especializada en el I+D+i para el sector energético. Entre las líneas de investigación de su División Eléctrica se encuentra el análisis de la producción de hidrógeno mediante fuentes energéticas renovables y el almacenamiento energético a través de hidrógeno obtenido mediante electrolisis como estabilizador del sistema eléctrico. La División Termoeconómica puede participar en la integración, modelización y optimización desde el punto de vista termoeconómico y de operación de las pilas de combustible y los sistemas de cogeneración a pequeña y mediana escala.

http://amelia.cps.unizar.es/

El Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A) es un Instituto Universitario de Investigación de la Universidad de Zaragoza y surge como iniciativa de los agentes regionales con vocación de servicio internacional. El I3A pretende aunar la labor de un número importante de investigadores de Aragón para impulsar nuevas iniciativas de innovación tecnológica mediante la investigación y colaboración sostenida con el tejido empresarial. Sus áreas de actividad son Ingeniería de Sistemas y Procesos, Tecnologías de Información y de la Comunicación, Tecnologías Mecánica y de Materiales y Bioingeniería.

http://die.cps.unizar.es

El Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Zaragoza está especializado en el I+D en sistemas eficientes de generación, transporte y uso de la energía elétrica. El Departamento puede participar en las siguientes líneas de investigación: aplicación de la electrónica de potencia como interfaz entre las fuentes renovables y los sistemas de producción, actualización tecnológica de los sistemas de transporte y distribución de energía eléctrica y desarrollo de equipos electrónicos de potencia en baños electrolíticos.

Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente

http://www.cps.unizar.es/

El Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente de la Universidad de Zaragoza cuenta con un Grupo de investigación para la producción de hidrógeno cuyas líneas de acción se centran en el desarrollo de nuevos catalizadores que permitan la obtención de un gas con alto contenido en hidrógeno mediante gasificación catalítica de biomasa y sus productos, la búsqueda de nuevos esquemas de proceso y la optimización de las condiciones de operación en los procesos actuales. Asimismo, las investigaciones inciden sobre tecnologías para la eliminación de CO_2.

GITEL
GRUPO DE INGENIERÍA DE TRANSPORTES Y LOGÍSTICA
Universidad de Zaragoza

http://www.cps.unizar.es/~transp/

La función del Grupo de Ingeniería de Transportes y Logística de la Universidad de Zaragoza es desarrollar, innovar e investigar en el campo de las nuevas tecnologías de los Transportes. Su actividad se centra en el estudio de sistemas de propulsión en automoción por medio de motores eléctricos y vehículos híbridos, para lo que se cuenta con software de desarrollo propio y adquirido para el análisis del sistema de propulsión del vehículo, su motorización, alimentación y control. Han realizado dos prototipos de automóviles eléctricos, accionados por motores eléctricos y alimentado por baterías de plomo-acido.

Por otra parte, en Aragón se asientan **empresas** de gran significación con capacidad y experiencia para trabajar en las diversas aplicaciones de las tecnologías del hidrógeno. Dentro de este ámbito hay que destacar la experiencia que pueden aportar las empresas del sector del automóvil y del sector químico aragonés.

El **sector automovilístico** en Aragón, liderado por Opel, está fuertemente consolidado y cuenta con una experiencia de más de 20 años. La planta de Opel en Figueruelas (Zaragoza), inaugurada en 1982, con una capacidad inicial de producción de 275.000 vehículos al año, ha fomentado el desarrollo de una importante industria auxiliar del automóvil en la comunidad aragonesa.

Las constantes inversiones en las instalaciones de la planta de Figueruelas han permitido que actualmente se puedan fabricar hasta 450.000 unidades, manteniéndose en la punta de lanza del desarrollo tecnológico.

A lo largo de estos años, la planta se ha consolidado como uno de los pilares básicos de la economía en la comunidad aragonesa. Actualmente la planta está a pleno rendimiento, con una previsión de fabricación para el año 2003 de 165.000 unidades del Meriva, que serán 215.000 el próximo año, y 294.000 unidades del utilitario Corsa.

La matriz de Opel, General Motors, está invirtiendo miles de millones de dólares en el desarrollo de prototipos de vehículos propulsados por pilas de combustible alimentadas por hidrógeno.

La tecnología de conducción por cable (Hy-Wire) y el Opel Zafira Hidrogen3, que constituyen las apuestas de futuro de Opel, aportan una gran cantidad de innovaciones técnicas que marcarán el futuro de la industria del automóvil.

- La tecnología Hy-Wire permite que la dirección, los frenos y otros sistemas del vehículo sean controlados electrónica en lugar de mecánicamente.
- El prototipo Hydrogen3 montado sobre el monovolumen Zafira es propulsado por un motor eléctrico de 82 CV que obtiene la energía eléctrica de una pila de combustible alimentada por hidrógeno almacenado a bordo.

Otro de los sectores básicos de la economía aragonesa lo constituye el **sector químico**, el cual engloba más de 130 empresas dispersadas a lo largo del territorio. Una de las empresas pioneras en la producción de hidrógeno a través de electrolisis es Aragonesas.

Aragonesas inició sus actividades en 1918 con la producción de energía hidráulica con el salto de Biescas y la producción electroquímica de clorato sódico. Las posibilidades de producción de energía eléctrica y la dificultad de colocar directamente la producción

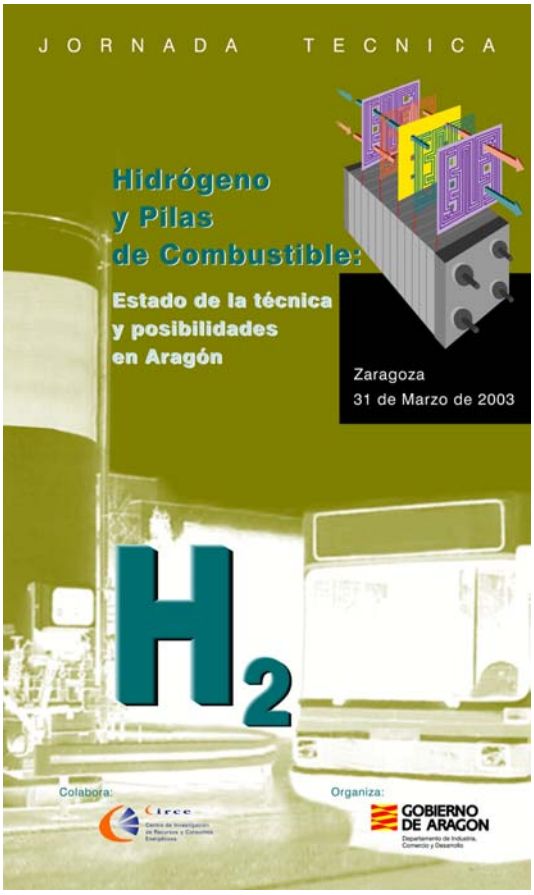
eléctrica en el mercado consumidor, hicieron necesaria la construcción de nuevas instalaciones electroquímicas que pudiesen absorber la energía producida.

En los años 20 se pusieron en marcha dos instalaciones de electrolisis de agua para la fabricación de hidrógeno. En la década de los 70, Aragonesas aprovechaba la abundante energía producida por las centrales hidráulicas en épocas de deshielo para producir hidrógeno, a partir del cual poder elaborar sulfato amónico que se almacenaba para su uso como abono agrícola en las épocas adecuadas.

Actualmente Aragonesas tiene instalaciones para la producción de cloro-álcali por las tecnologías de celdas de mercurio, para cloro-sosa y cloro-potasa, y de membrana para cloro-sosa y tiene en experimentación una unidad piloto, de tamaño industrial, de cloro-potasa para el desarrollo de esta tecnología, en colaboración con la compañía japonesa Asahi Chemical, líder en la fabricación de electrolizadores y membranas.

Otro proceso electroquímico en el que se produce hidrógeno y que, como en el caso de la industria del cloro-álcali, también tiene implantación industrial en Aragón, es el que conduce a la fabricación de clorato sódico.

Jornada Técnica "Hidrógeno y Pilas de Combustible: Estado de la Técnica y Posibilidades en Aragón"



Programa

Acto de apertura.
Excmo. Sr. D. *Arturo Aliaga López.* Consejero de Industria, Comercio y Desarrollo del Gobierno de Aragón.

Introducción a las pilas de combustible.
D. *Víctor Manuel Orera Clemente.* Profesor de Investigación del Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón (CSIC-Universidad de Zaragoza).

Las energías renovables aplicadas a la generación de hidrógeno.
D. *Mariano Sanz Badía.* Subdirector del Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE).

La biomasa como fuente para la producción de hidrógeno.
D. *Jesús Arauzo Pérez.* Profesor del Dpto. de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente de la Universidad de Zaragoza.

Almacenamiento de hidrógeno en nanotubos de carbono.
Dña. *María Teresa Martínez Fernández de Landa.* Directora del Instituto de Carboquímica (CSIC).

Pilas de combustible para el transporte.
D. *Emilio Larrodé Pellicer.* Coordinador del Grupo de Ingeniería de Transportes y Logística de la Universidad de Zaragoza.

Generación eléctrica distribuida a partir de pilas de combustible.
D. *Tomás Álvarez Tejedor.* Endesa Generación - Dirección de Producción.

Estado de la tecnología de componentes de las pilas de combustible tipo PEM. Principales líneas de evolución.
D. *Ricardo Blach Vizoso.* Vicepresidente de David Fuel Cell Components.

Partes integrantes proyecto CUTE Barcelona. Estación de servicio: Condicionantes de partida, Sistema High Booster.
D. *Pedro Viralta Wolgeschaffen.* Director del Departamento de I+D de Abello Linde, S.A.

La producción de hidrógeno - electrolisis.
D. *Jesús Collantes Vivancos.* Director General del Grupo Energía e Industrias Aragonesas EIASA.

Mesa redonda: Posibilidades de desarrollo de las tecnologías del hidrógeno en Aragón.
Moderador: D. *Antonio Valero Capilla.* Director del Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE).

El hidrógeno, una opción estratégica.
Clausura de la Jornada.
Excmo. Sr. D. *Arturo Aliaga López.* Consejero de Industria, Comercio y Desarrollo del Gobierno de Aragón.

El 31 de Marzo de 2003 se celebró en el Salón de Actos del Instituto Tecnológico de Aragón la Jornada Técnica "Hidrógeno y Pilas de Combustible: Estado de la Técnica y Posibilidades en Aragón", promovida y organizada por el Departamento de Industria, Comercio y Desarrollo del Gobierno de Aragón en colaboración con CIRCE.

El principal **objetivo de la Jornada** fue ofrecer una visión general de las tecnologías de producción, almacenamiento y transporte de hidrógeno y su uso como combustible en las pilas de combustible, analizando y fomentando el debate sobre las posibilidades de desarrollo de las tecnologías del hidrógeno en el futuro y, de forma particular, en la Comunidad Autónoma de Aragón.

Además de presentar las distintas técnicas de generación, se destacaron las expectativas de producción de hidrógeno a partir de las energías renovables y se abordó la problemática del almacenamiento y transporte del hidrógeno producido a los distintos puntos de consumo. Asimismo se expuso el estado actual de desarrollo tecnológico de las pilas de combustible y sus aplicaciones en los campos de la generación eléctrica distribuida y el sector del automóvil.

Destacados miembros de la comunidad científica, representantes de empresas e instituciones comprometidas o interesadas en el desarrollo de alternativas al petróleo y miembros de la Administración participaron en un **foro pionero** en sus características donde se puso de manifiesto la importancia de tomar posiciones en este tema.

La Jornada contó con la **participación** de **centros de investigación** como el Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón, Universidad de Zaragoza, CIRCE e Instituto de Carboquímica y de **empresas** como Opel España, Endesa, David Fuel Cell Components, Abello Linde y EIASA.

En la Jornada se inscribieron más de 230 personas, hasta el límite máximo de aforo de la sala prevista y hubo finalmente 186 asistentes en su mayoría representantes de empresas, Universidades y Administraciones Públicas.

Cabe destacar que gracias a la masiva participación de representantes de empresas del sector energético y al importante apoyo de distintas Instituciones, los objetivos inicialmente previstos fueron alcanzados y la Jornada fue un éxito en cuanto a asistencia, nivel tecnológico de los contenidos e innovación.

Fundación para el Desarrollo de las Nuevas Tecnologías del Hidrógeno en Aragón

La iniciativa de participar e impulsar la creación de la Fundación para el Desarrollo de las Nuevas Tecnologías del Hidrógeno en Aragón, fue aprobada por el Gobierno de Aragón el 29 **de abril de 2003**.

La Fundación desarrollará principalmente sus actividades en todo el territorio de Aragón y tendrá su sede en el **Parque Tecnológico Walqa** de Huesca, donde se cuenta con más de cincuenta hectáreas.

La **Diputación General de Aragón** formará parte de la Fundación como **miembro fundador**. Además se contará con un Director Gerente y una Comisión Asesora formada por un grupo reducido de profesionales de reconocido prestigio del mundo empresarial.

El **Órgano de Gobierno** de la Fundación será el **Patronato**, que estará formado por representantes de cada una de las entidades fundadoras, y abierto a nuevas incorporaciones.

Los principales **objetivos** de la Fundación serán:

- Desarrollar las nuevas tecnologías relacionadas con el hidrógeno y las energías renovables.
- Promocionar la incorporación de Aragón a las actividades económicas relacionadas con la utilización del hidrógeno como vector energético.
- Propiciar la investigación, el desarrollo tecnológico, cogeneración, adaptación industrial, contribuyendo a la modernización industrial y la mejora de la competitividad.

Para la consecución de estos objetivos se desarrollarán prioritariamente las siguientes **actividades**:

- Proyectar, construir, conservar, exportar y promocionar las infraestructuras necesarias para el desarrollo de las nuevas tecnologías del hidrógeno en Aragón.

- Fomento y promoción de proyectos empresariales relacionados con la generación, distribución, transporte y utilización del hidrógeno formalizando convenios con organismos o instituciones para la realización de estos proyectos.

- Subvencionar y obtener subvenciones para proyectos de investigación y desarrollo ligados al hidrógeno, así como otros que propicien la generación, distribución, su transporte y utilización.

- Organización de actividades que fomenten el conocimiento por el empresario y el público en general de los fines y consecuencias de la incorporación de Aragón a las actividades económicas relacionadas con el uso del hidrógeno como vector energético.

- Fomento, en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Aragón, de los organismos que tienen como finalidad la promoción de empresas o actividades económicas relacionadas con la utilización del hidrógeno como vector energético, mediante su creación o la participación en los ya existentes.

- Organización de cursos, conferencias, coloquios, seminarios, mesas redondas, convenciones y otras actividades análogas.

- Realización de campañas de formación y captación de nuevas empresas

- Promoción, en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Aragón, de la incorporación de las energías renovables al desarrollo empresarial.