



Instituto de Carboquímica



PRODUCCION Y ALMACENAMIENTO DE HIDROGENO

**Fronteras de la Energía 2009
5-10 julio 2009 Benasque**

**Dr. Rafael Moliner
Grupo de Conversión de Combustibles
Instituto de Carboquímica. CSIC**



Instituto de Carboquímica



HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO

PRINCIPALES DESAFÍOS:

- 1. Producción de hidrógeno a precios competitivos.**
- 2. Distribución del hidrógeno**
- 3. Almacenamiento de hidrógeno**

PRODUCCION Y ALMACENAMIENTO DE HIDROGENO

PRODUCCION

- Renovables: ¿Cómo y Dónde?
- Fósiles: Un puente necesario
- Nuclear: Sí, también nuclear

UTILIDADES: Distintas soluciones para distintas necesidades

ALMACENAMIENTO

- Gas Comprimido: La única solución actual
- Hidruros Metálicos Complejos: En busca de la formulación ideal
- Almacenamiento Químico: La reversibilidad es la clave
- Adsorción: Hibridación fisisorción/quimisorción



Instituto de Carboquímica



PRODUCCIÓN ACTUAL DE HIDRÓGENO

Producción Mundial de Hidrógeno: $600-700 \cdot 10^9 \text{ Nm}^3$

Reformado de Recursos Fósiles: 96%

Gas Natural 48%

Carbón 30%

Petróleo 18%

Electrólisis de Agua: 4%

TRASLADO DEL
FOCO DE
CONTAMINACIÓN
AL
EMPLAZAMIENTO
DE PRODUCCIÓN
DE HIDRÓGENO

SE REQUIEREN CAMBIOS ESTRUCTURALES EN EL ESQUEMA DE PRODUCCIÓN



CAMPOS DE UTILIZACIÓN DEL HIDRÓGENO

INTEGRADO EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE ENERGÍAS RENOVABLES:

Produce hidrógeno en horas valle

Consumo hidrógeno y produce electricidad en horas pico

COMO COMBUSTIBLE EN EL SECTOR TRANSPORTE

Producción masiva a partir de diferentes Energías Primarias

Uso en MCI y en VPC



PREVISION DE INTRODUCCION DE VPC EN EUROPA

AÑO	% De coches nuevos VPC con hidrógeno	% Parque automovilístico VPC con hidrógeno	Mt CO ₂ /año
2020	5	2	15
2030	25	15	112
2040	35	32	240



ENERGIAS PRIMARIAS PARA LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO

El hidrogeno se producirá utilizando la Energía Primaria Dominante en cada Escenario

ENERGÍAS RENOVABLES:

¿Cómo y Donde ?

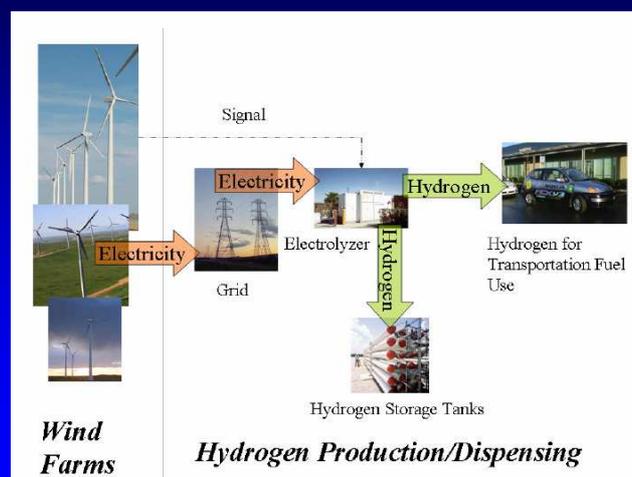
ENERGIAS FÓSILES

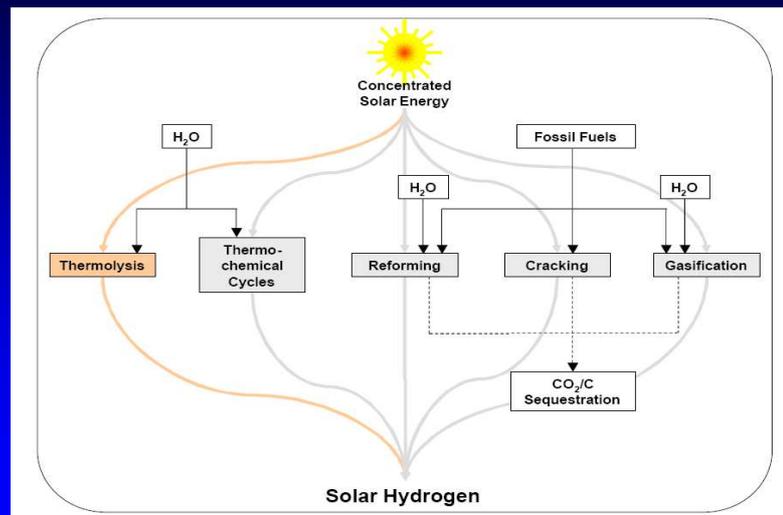
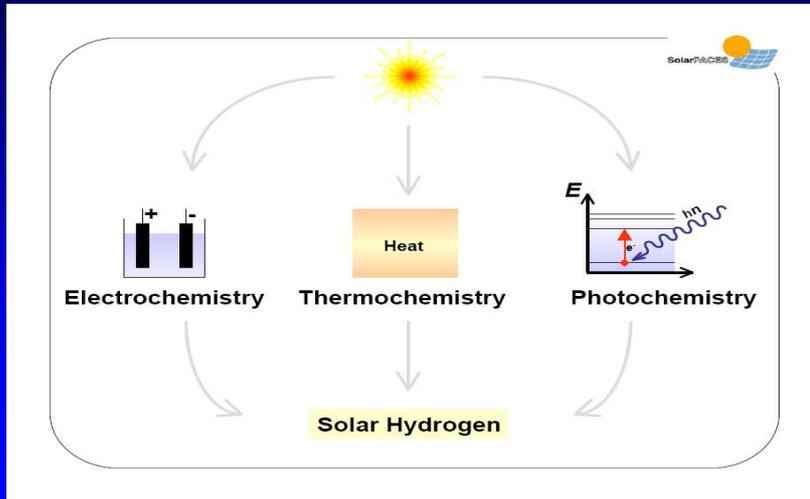
Un puente necesario en la mayor parte de los escenarios

ENERGÍA ATÓMICA:

Sí, también nuclear en determinados países

PRODUCCION DE HIDROGENO Y ELECTRICIDAD A PARTIR DE ENERGIAS RENOVABLES

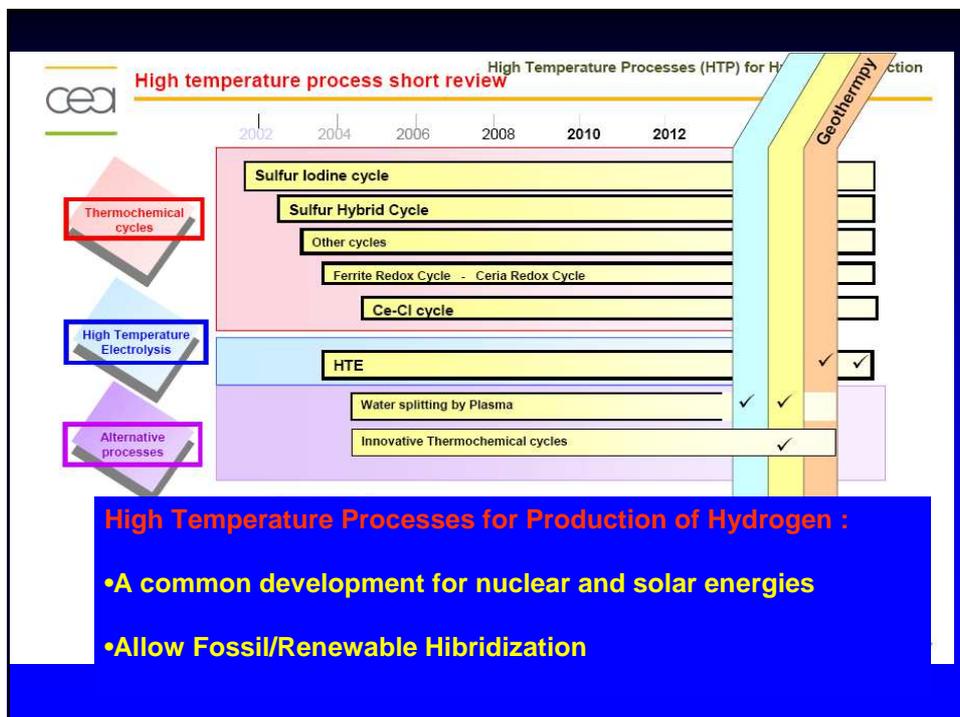


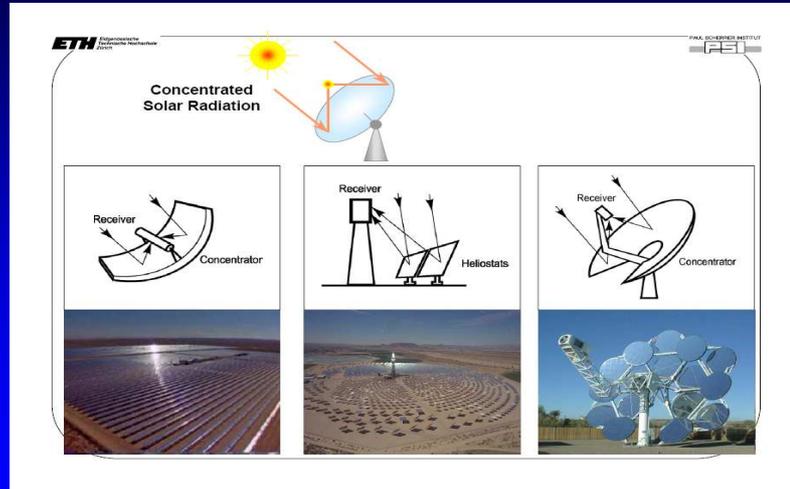


High Temperature Processes (HTP) for Hydrogen Production

Project definition phase

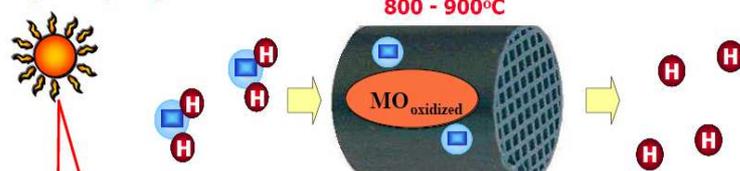
Project Leader: Commissariat à l'Energy Atomic





H₂ from water-splitting via thermochemical cycles on monolithic solar reactors

Stage 1: Hydrogen Production

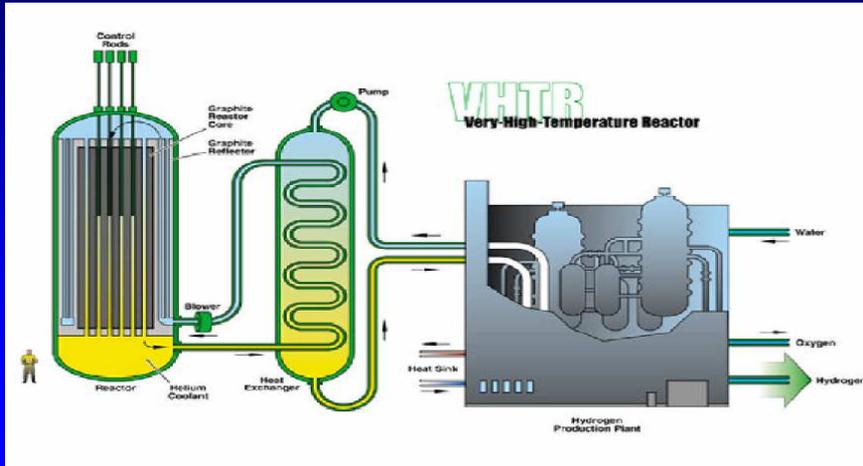


Stage 2: Regeneration





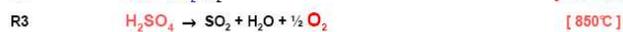
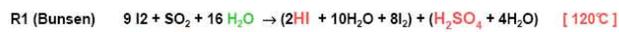
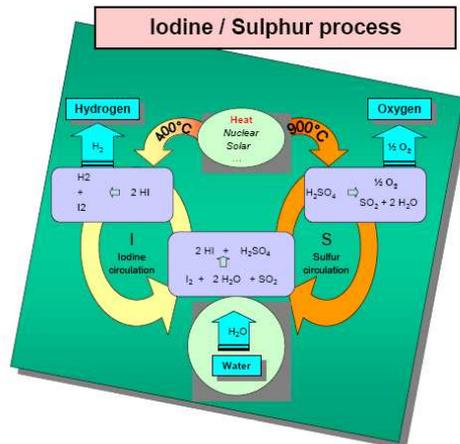
PRODUCCION DE HIDRÓGENO MEDIANTE ENERGÍA NUCLEAR ALTA TEMPERATURA



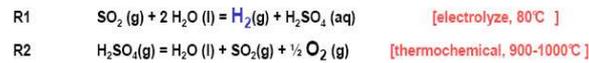
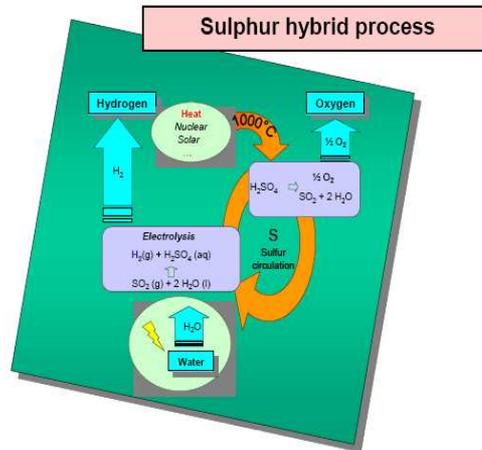
Pure thermochemical cycles



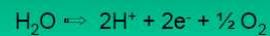
Generation IV reactor (HTR/VHTR)



Hybrid thermochemical cycles

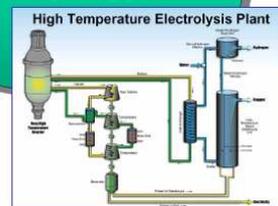


High temperature Electrolysis

Sulzer Hexis 1 – 1.5 kW_eT over 500°C In the principle :
Opposite of a SOFC

Why using high temperature ?

- Decreasing the ohmic resistance
- Using heat instead of electricity



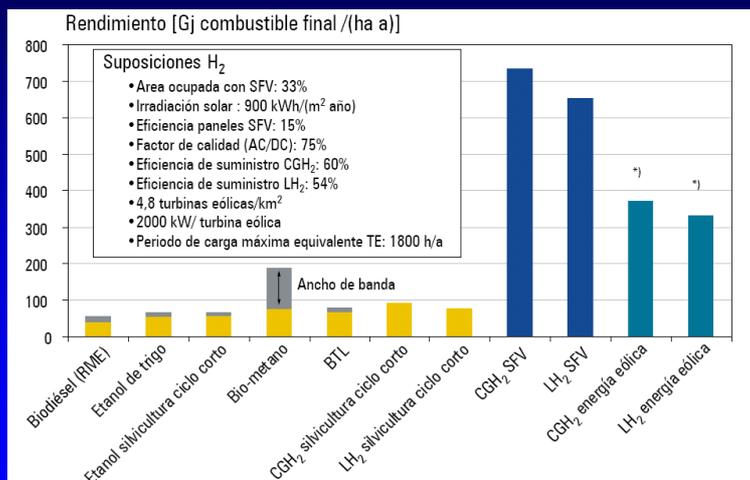
Need to identify the most suitable temperature for the optimum between efficiency and technology constraints ?



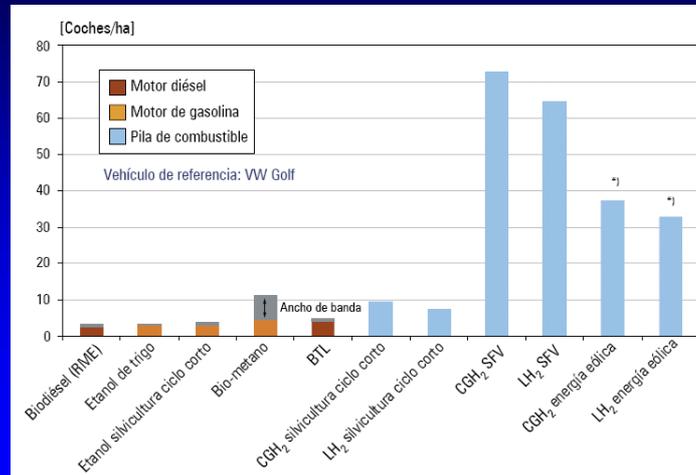
Method / Feedstock	Critical Parameters / Assumptions	Costs [\$/kWh]
FOSSIL-FUEL BASED		
Steam Reforming of NG	Sensitive to feedstock prices	0.02 - 0.04
Coal Gasification	High capital investment; O&M	0.05 - 0.07
POX Crude Oil	High capital investment; O&M	0.03 - 0.05
HYBRID SOLAR-FOSSIL BASED		
Solar Reforming of NG	Solar process heat: 0.016 \$/kWh _{th}	Syngas: 0.03
Solar Decomposition of NG	Credit for C(gr) sale	0.03 - 0.05
Solar SynMet	Sensitive to η and heat recovery	0.10 - 0.14
Solar Splitting of H ₂ S	Credit for S ₂ sale	0.04 - 0.05
100% RENEWABLE BASED		
Solar Splitting of H ₂ O	Materials; H ₂ /O ₂ separation	0.20 - 0.30
Trough System + Electrolysis	Electricity @ 0.12 \$/kWh _e	0.20
Power Tower System + Electrolysis	Electricity @ 0.08 \$/kWh _e	0.16
Dish Stirling System + Electrolysis	Electricity @ 0.18 \$/kWh _e	0.26
Solar High-Temperature Electrolysis	Power Tower System; T sensitive	0.13
PV Electricity + Electrolysis	Projection for 2010	0.20 - 0.30
Solar Photo-electrochemical		
Solar ZnO/Zn Cycle	High T; materials	0.13 - 0.15
Wind Electricity + Electrolysis	Electricity @ 0.06 \$/kWh _e	0.10 - 0.17
Biomass Gasification		0.06 - 0.10
Hydro Electricity + Electrolysis		0.10

based on LHV of H₂ at 241 kJ/mol

Producción por hectárea y año de diversos combustibles para el sector transporte



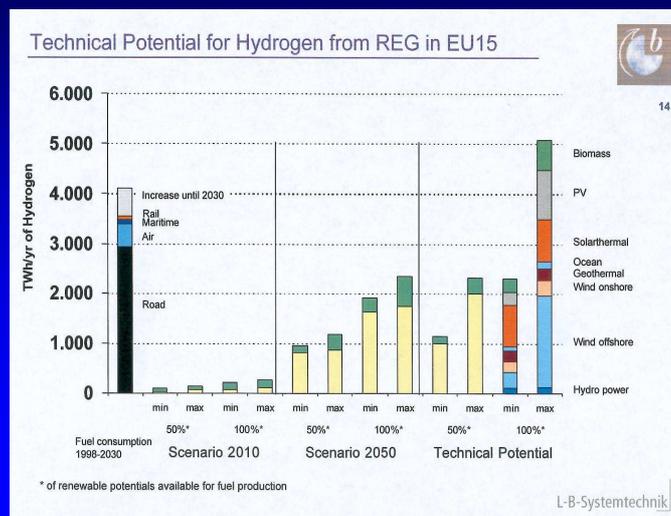
Número de turismos (híbridos) que pueden abastecerse por hectárea
 Kilometraje anual por turismo: 12.000 km



Instituto de Carboquímica



POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO
 A PARTIR DE ENERGÍAS RENOVABLES



* of renewable potentials available for fuel production

L-B-Systemtechnik



POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE RENOVABLES

Table 7-3: Renewable electricity potentials in EU15 in [TWh/yr]

	Situation 2001 Electricity production from installed renewable capacity	Scenario 2010 Renewable electricity from new capacity installed between 2001 and 2010	Scenario 2050 Renewable electricity from new capacity installed between 2001 and 2050	Technical Potential Additional potential not exploited until 2001
Hydropower	306	21.5	164	175-222
Wind offshore	0.3	14.7	514	551-3028
Wind onshore	32	67.0-133.2	238-333	333-541
Geothermal	4.5	11.5	367	368
Ocean Energy	0	0.4	125	125-250
Solarthermal	0	1.0	562	1404
Photovoltaic	0.2	2.8-6.9	402-492	402-1,642
Total Electricity	343	119-189	2,372-2,557	3,358-7,454

- **CONSUMOS DE ELECTRICIDAD EN 2030 EN EU 15:**

3841 TWh



Transición hacia la Economía del H₂ (I)

Estadísticas para España año 2005

Fuente: EU Energy and transport in figures 2007/2008

□ **Situación actual:** consumo de petróleo 52,8 Mtoe = **613,53 Twh**

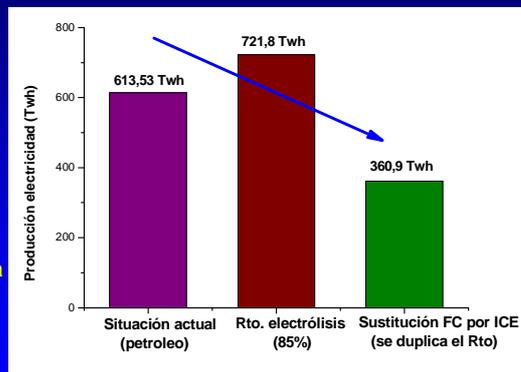
□ **Transición:**

✓ Rendimiento en la producción por electrolisis 85%

$$613,53 \text{ Twh} / 0,85 = 721,8 \text{ Twh}$$

✓ Sustitución de ICE por FC: duplica el rendimiento:

$$721,8 / 2 = 360,9 \text{ Twh}$$

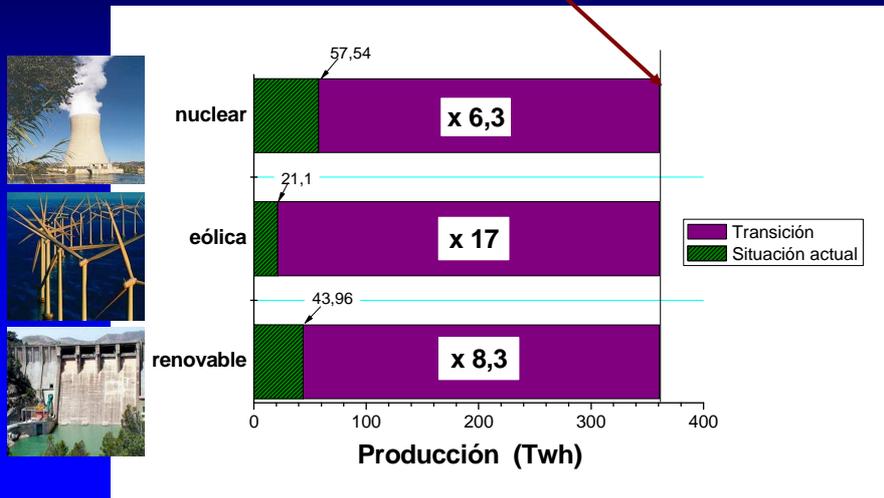


Equivalente del consumo actual de petróleo en Hidrógeno: **360,9 Twh**

Transición hacia la Economía del H₂ (II)

Generación de electricidad en España

Equivalente en Hidrógeno: 360,9 Twh



http://www.desertec.org/fileadmin/downloads/DESERTEC-WhiteBook_en_small.pdf

DESERTEC/MUNICH.RE



INVERSION: Entre 400.000 y 500.000 Millones de euros



Instituto de Carboquímica



**Las fuentes de energía renovables
resultarán limitadas ante el aumento de la
demanda.**

**Las energías FÓSILES seguirán ocupando
un lugar inevitable durante mucho tiempo:**

SON UN PUENTE NECESARIO

Libro Verde Comisión de las Comunidades Europeas. Bruselas 29.11.2000



La producción de Hidrógeno a partir de Energías Fósiles sin emisión de CO₂ es tecnológica y económicamente viable utilizando las técnicas existentes para la CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CO₂ acopladas al reformado con vapor de agua

POR RAZONES ESTRATEGICAS ESTAS TECNOLOGIAS DEBERIAN UTILIZARSE SOLAMENTE CON CARBON



PRODUCCIÓN DE H₂ DE GASIFICCIÓN. LA OPORTUNIDAD DE LA PLANTA DE PUERTOLLANO. ELCOGAS S.A.



Francisco García Peña

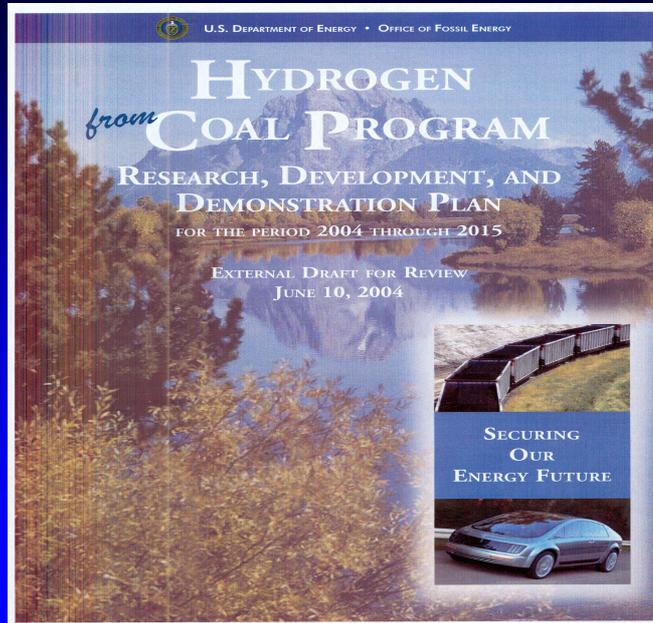


Table 1: Cost Comparison of Selected Hydrogen Production Technologies

Resource	Technology	Hydrogen Cost (\$/MMBtu) / (\$/kg)	Year Technology is Available
Natural Gas*	Steam Methane Reforming, PSA, No Sequestration	5.54 / 0.75	Current
Natural Gas*	ITM Synthesis Gas Generation, Advanced Membrane Separation, CO ₂ capture	4.15 / 0.56	2013
Coal	Gasification, Shift, PSA, No Sequestration	6.83 / 0.92	Current
Coal	Advanced Gasification, Membrane Separation, CO ₂ Sequestration	5.89 / 0.79	2015+
Coal**	Advanced Gasification, Membrane Separation, Co-Production of Power, CO ₂ Sequestration	3.98 / 0.54	2015+
Biomass	Pyrolysis to bio-oil followed by steam reforming	(9 - 16) / (1.21 - 2.16)	2015+
Nuclear	Sulfur-Iodine Cycle (Thermochemical Process)	9.70 / 1.31	2020+
Electrolysis	Electricity Cost at 4 cents/kWh	(19 - 22) / (2.56 - 2.97)	Current

*These two cases are based upon a natural gas price of \$3.15/MMBtu. Hydrogen costs will increase or decrease from these values at roughly 1.5 times the change in natural gas price above or below \$3.15/MMBtu.
**The hydrogen cost in this case is based upon achievement of the associated Vision 21 Program goals. The value of power produced in the process is assumed to be 53.6 mills/kWh.



Hydrogen Production from NATURAL GAS

It is generally stated that in the short-medium term **Hydrogen will be mostly produced on-site from natural gas** in small-decentralized REFORMING units near to the consumption centers.

WE ABSOLUTELY DESAGREE



REFORMADORES COMPACTOS

Proyectos CITYCELL y CUTE.

Madrid 28 Abril 2003

REPSOL YPF, Gas Natural, Air Liquide, EMT



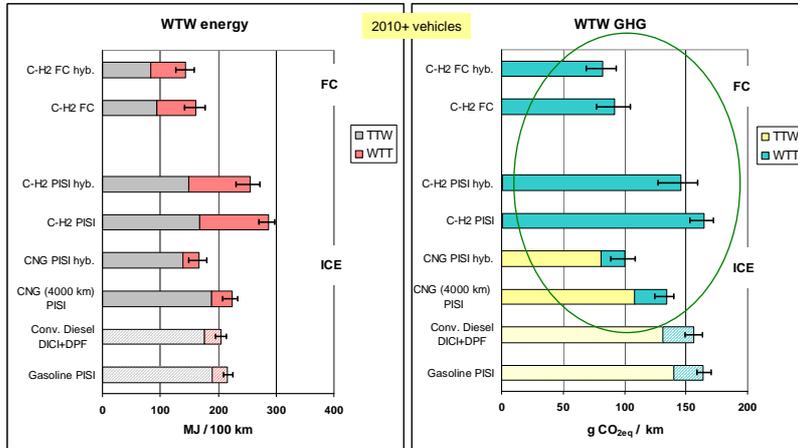
Almacenamiento a alta presión

Compresor de alta presión

Reformador de gas natural

Surtidor

Hydrogen v. CNG



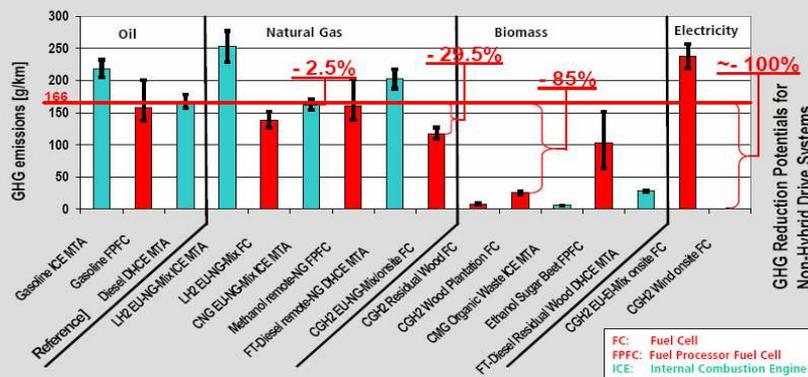
If hydrogen is produced from NG, GHG emissions savings compared to direct use as CNG are only achieved with fuel cell vehicles



EMISIONES DE CO₂ DE DIFERENTES COMBUSTIBLES

GHG Emissions (CO₂ Equivalent): Well-to-Wheel

Vehicle: Opel Zafira





WTW analyse shows that H₂/FC vehicles release just 25% less of CO₂ than CNG/ICE vehicles when hydrogen is produced from natural gas without CO₂ capture. This scarce reduction could not be enough to justify the transition to FCV



HYDROGEN UTILIZATION IN VEHICLES

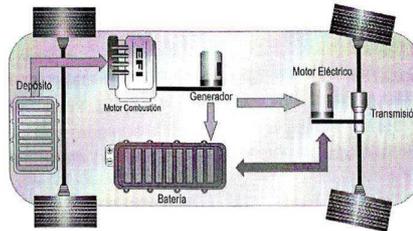
Future Hydrogen Vehicles will be electric cars (plug in) with extended range provided by an on board electric generator powered by a hydrogen fuelled Fuel Cell. Spread distribution of FCV essentially depends on previous massive distribution of electric cars

Arquitectura Serie:

■ Flujos:

- ▶ El motor de combustión a través del generador puede alimentar al motor eléctrico y también cargar la batería.
- ▶ La batería puede alimentar al motor eléctrico pero a su vez, gracias a la capacidad del freno regenerativo, el motor eléctrico puede cargar la batería.

PROPULSA



HYDROGEN UTILIZATION IN VEHICLES

FC's are expensive and it will pass a long time before commercial distribution occurs. In the meantime, electric cars with extended range provided by an ICE adapted to CNG, CH₂ and CNGH could play an important role



- In the year 2010, **CNG vehicles** will be highly competitive with diesel vehicles when considering the stringent 2010 emission requirements
- In this scenario **CNG/ICE vehicles** will represent a significant part of public bus fleets. That would facilitate the introduction of **HCNG/ICE vehicles**



Instituto de Carboquímica
Grupo de Conversión de Combustibles Fósiles

PROGRAM OVERVIEW: HYDROGEN ENRICHED COMPRESSED NATURAL GAS



A SunLine Transit Agency "SunBus" with Cummins Westport 5.9-litre B Gas Plus engine, refueling with HCNG. Also shown is the HCNG dispenser.

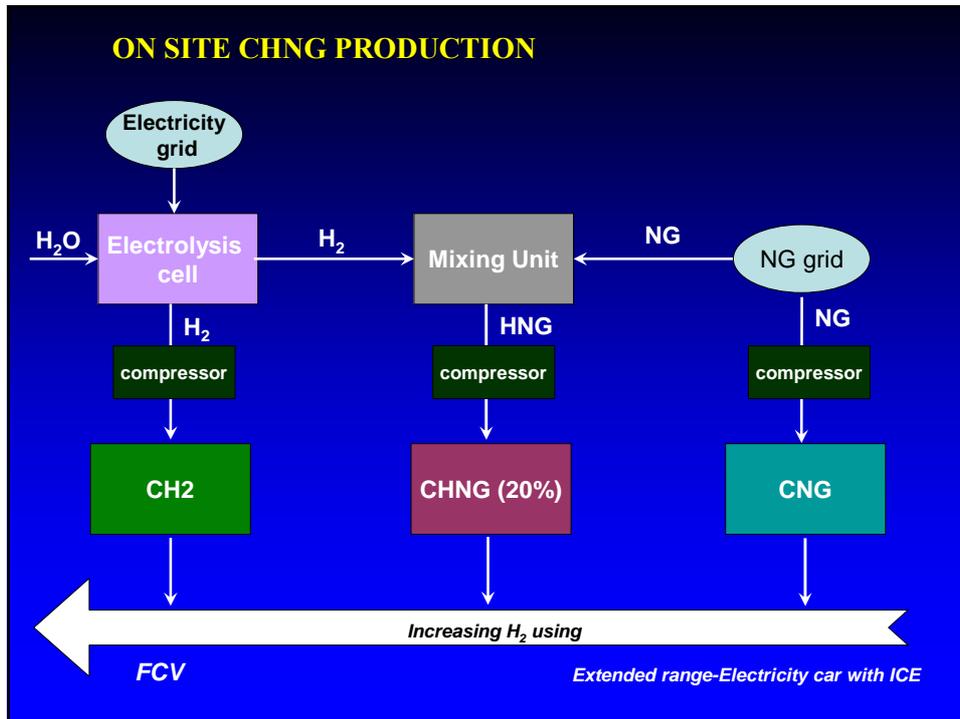


Using of HCNG mixtures, with hydrogen produced **without CO2 emissions**, in dedicated ICE would allow important CO2 emission depletion in the short term and would promote introduction of hydrogen in the fuel-mix which would facilitate introduction of FCV



CNGH mixtures can be produced:

- **On-Site:**
Mixing NG from the NG Grid and H2 produced on-site by water electrolysis (CO2 emissions depends on electricity grid decarbonization: Nuclear/renewable < Coal+CCS < CC < Coal)
- **Off-Site:**
Produced at a CDNG Plant and piped through the NG Grid (CO2 emissions depend on the energy source used for heating: Solaire < H2 < HNG < NG)

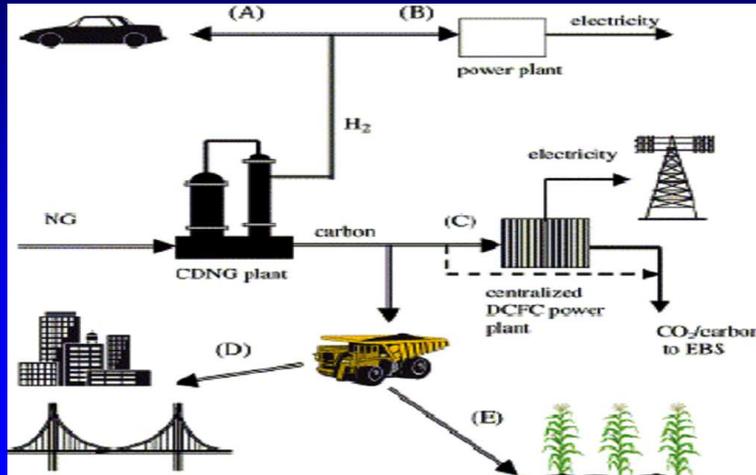


CHNG mixtures can be produced:

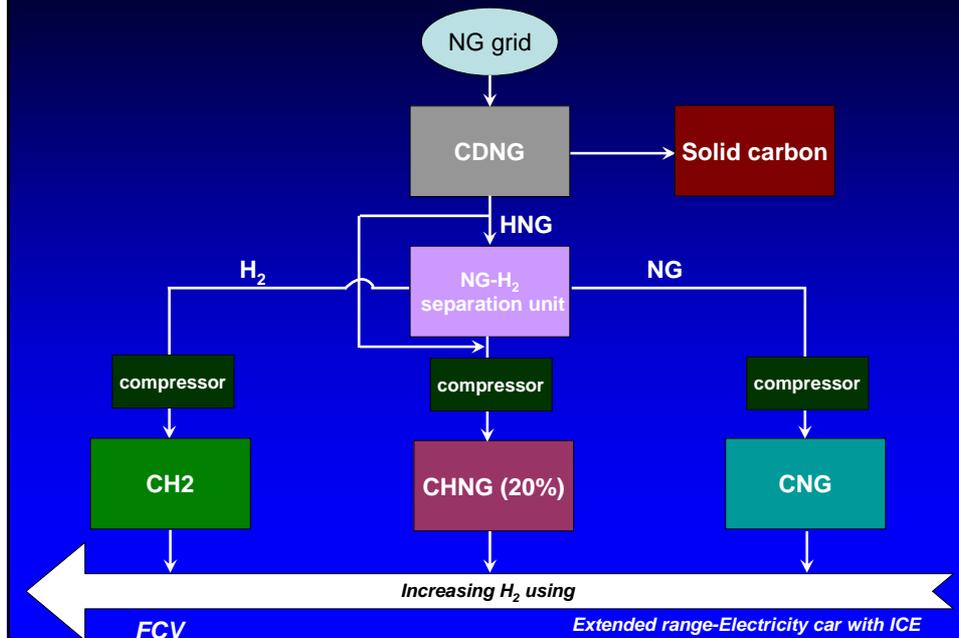
- On-Site:**
 Mixing NG from the NG Grid and H_2 produced on-site by water electrolysis (CO₂ emissions depends on electricity grid decarbonization: Nuclear/renewable < Coal+CCS < CC < Coal)
- Off-site:**
 Piped through the NG Grid from a Centralized Installation for Catalytic Decarbonization of Natural Gas (CO₂ emissions depend on the energy source used for heating: solaire < H_2 < HNG < NG)



CATALYTIC DECARBONIZATION OF NATURAL GAS



OFF-SITE CENTRALIZED CHNG BLENDS PRODUCTION



Association of Fossil Energy with Renewable Energy for Hydrogen Production:

**Hybrid Fossil/Renewable processes
combining utilization of fossil energy
(cheaper) and renewable energy (CO₂-free
unlimited)**

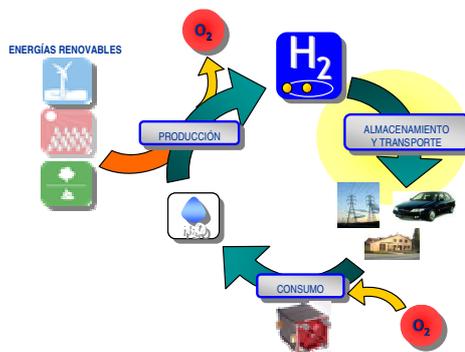
Introducción

Tipos de almacenamiento

- Hidrógeno comprimido
- Hidrógeno líquido
- Hidruros metálicos COMPLEJOS
- Adsorción en materiales porosos
- Almacenamiento Químico

- El hidrógeno, como vector, no se produce en el lugar de consumo.
 - Porque se usa en dispositivos móviles.
 - Porque se genera de forma centralizada y se usa de forma distribuida.
 - Porque sirve de almacenamiento de excedentes de producción de electricidad.
- Por ello, es necesario contar con instalaciones de almacenamiento y/o transporte.

Economía del hidrógeno



Ciclo ideal del hidrógeno

- El almacenamiento de H₂ presenta un serio problema debido a sus propiedades físico-químicas: una muy baja densidad (0.09 g/l).
- Mientras que en base másica contiene hasta 3 veces más energía que la gasolina, en base volumétrica la gasolina contiene 4 veces más energía:

	Gasolina	Hidrógeno	
	líquido*	líquido	gas*
Densidad (g/L)	728	70	0.09
E/m (MJ/kg)	44	120	120
E/V (MJ/L)	32	8	0.01 (2)***
Eútil/m (MJ/kg)**	6.6	50.4	50.4
Eútil/V (MJ/L)**	4.8	3.4	0.004 (0.8)***

* En condiciones normales.

** Suponiendo gasolina en vehículo convencional (ICE) e hidrógeno en vehículo avanzado con pila de combustible (FC).

*** Depósito a 200 bar.



Introducción



- Objetivos DOE (Departamento de Energía de EEUU) en almacenamiento de H₂ para lograr a largo plazo las mismas prestaciones que los vehículos de gasolina actuales:

Parámetro	unidades	2007	2010	2015
Capacidad gravimétrica	kg H ₂ /kg sistema	4.5%	6.0%	9.0%
Capacidad volumétrica	g H ₂ /L sistema	36	45	81
Coste del sistema	\$/kWh neto	6.00	4.00	2.00
Ciclos de llenado/vaciado	Nº Ciclos	500	1000	1500
Tiempo llenado	min/kg H ₂	2	0.6	0.5
Pureza H ₂	%H ₂ base seca	99.99	99.99	99.99
Pérdidas de H ₂	g H ₂ /kgH ₂ h	1	0.1	0.05

Producción y Almacenamiento de Hidrógeno



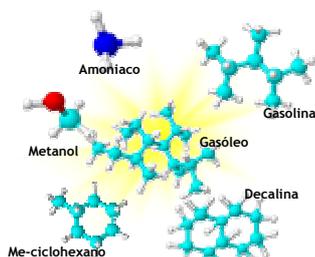
Tipos de almacenamiento



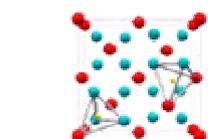
Hidrógeno gas comprimido



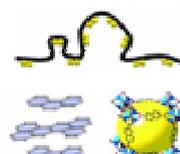
Hidrógeno líquido



Almacenamiento químico



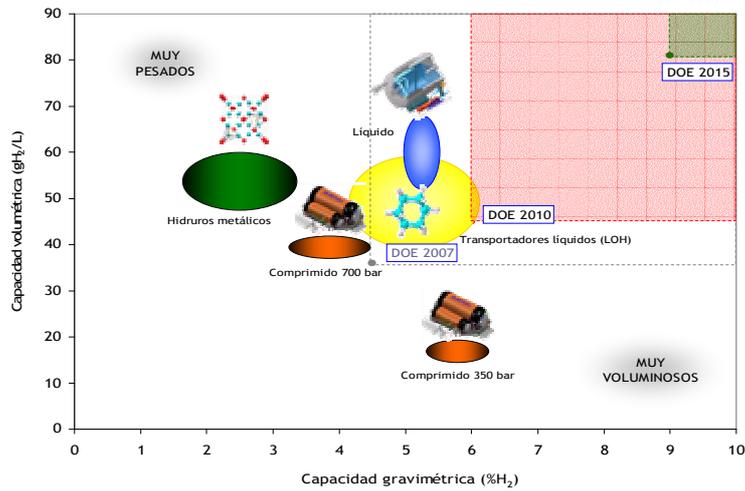
Hidruros metálicos



Adsorción

Producción y Almacenamiento de Hidrógeno

Estado actual de capacidad de almacenamiento, incluido sistema:



Producción y Almacenamiento de Hidrógeno

- Presiones de trabajo de 200-250 bar.
- Nuevos desarrollos: 350-700 bar.
- Aspectos clave (por orden de importancia):
 - Capacidad volumétrica.
 - Límite de presión.
 - Coste del tanque.
 - Tiempo de llenado.
 - Energía de compresión.
 - Gestión del calor.
- Opel HydroGen3 Compressed 700:
 - 2 tanques de 700 bar (reforzados con fibra de carbono).
 - 77.4 l y 3.1 kg H₂ (3.3%wt y 40 g/L).
 - 95 kg totales.
 - 270 km autonomía.



HydroGen3 Compressed 700

Producción y Almacenamiento de Hidrógeno

- Mayor capacidad que hidrógeno comprimido.
- Temperatura de trabajo de -253°C .
- Densidad: 70 g/l frente a 39 g/l de H_2 a 700 bar o los 0.09 g/l a presión atmosférica.
- Aspectos clave:
 - Pérdidas por evaporación ($0.4 \text{ g H}_2/\text{kg h}$).
 - Energía de licuefacción (30% del PCI del H_2).
 - Coste del tanque.
- Opel HydroGen3 Liquid:
 - 1 tanque de hidrógeno líquido construido en acero inoxidable.
 - 68.0 l y 4.6 kg H_2 ($5.1\% \text{wt}$ y 67 g/L).
 - 90 kg totales.
 - 400 km autonomía.



HydroGen3 Liquid

Producción y Almacenamiento de Hidrógeno

- Se trata de sales en las que el Hidrogeno se encuentra ligado de forma covalente al átomo central formando aniones complejos: $\text{Ax}[\text{MyHz}]$
M: generalmente Al o B
- Más de 980 combinaciones ternarias metálicas investigadas.

Table 1. Material Properties of Complex Hydrides²⁵⁴

material	CAS no.	density (g/mol)	density (g/cm ³)	hydrogen (wt %)	hydrogen (kg/m ³)	T _m ^a (°C)	ΔH _f ^b (kJ/mol)
LiAlH ₄	16853-85-3	37.05	0.917	10.54	190 ^d	-119	
NaAlH ₄	13770-96-2	54.00	1.28	7.41	178	-113	
KAlH ₄		70.11		5.71			
Mg(AlH ₄) ₂	17300-62-8	86.33		9.27	53.2	72.3	
Ca(AlH ₄) ₂	16941-10-9	102.10		7.84	70.4	>230 ^d	
LiNH ₂	7782-89-0	22.96	1.18	8.78	103.6	372-400	
NaNH ₂	7782-92-5	39.01	1.39	5.15	71.9	210	
KNH ₂	17242-52-3	55.12	1.62	3.66	59.3	338	
Mg(NH ₂) ₂	7803-54-5	56.37	1.39	7.15	99.4	360	
Ca(NH ₂) ₂	23321-74-6	72.13	1.74	5.59	97.3	-383.4	
LiBH ₄	16949-15-8	21.78	0.66	18.36	122.5	-194	
NaBH ₄	16940-66-2	37.83	1.07	10.57	113.1	505	
KBH ₄	13762-51-1	53.94	1.17	7.42	87.1	585	
Mg(BH ₄) ₂	16903-37-0	53.99	0.989	14.82	146.5	320 ^d	
Ca(BH ₄) ₂	17068-95-0	69.76		11.47		260 ^d	
Al(BH ₄) ₃	16962-07-5	71.51	0.7866	16.78	132	-64.5 ^d 44.5 ^b	

^a d and b represent decomposition and boiling temperatures, respectively.

Complex Hydrides for Hydrogen Storage. Shin-ichi Orimo,† Yuko Nakamori,† Jennifer R. Eliseo,‡ Andreas Züttel,§ and Craig M. Jensen*,‡,|Chem. Rev. 2007, 107, 4111-4132

Producción y Almacenamiento de Hidrógeno



Hidruros Metálicos Complejos



VENTAJAS:

- Altas densidades máxicas de hidrógeno

DESAFIOS:

Mejorar la reversibilidad:

- Buscar la formulación con la termodinámica adecuada

Aumentar la cinética:

- Adición de dopantes
- Impregnación en aerogeles de carbono

Mejorar la gestión térmica del proceso on-board:

- Balance Deshidrogenación endotérmica e Hidrogenación exotérmica

Producción y Almacenamiento de Hidrógeno



Adsorción en estructuras porosas



VENTAJAS

- Los procesos de Adsorción/Desadsorción requieren menos energía para llevarse a cabo la disociación del H₂, por lo que la cinética es más rápida y se requiere menor coste energético.

MATERIALES

- Se están estudiando nuevos materiales: CNT Dopados, MOF, Aerogeles...

DESAFIOS

- Aumentar la densidad energética:
 - **Combinar Adsorción con Quimisorción**

Producción y Almacenamiento de Hidrógeno



Almacenamiento químico



- **CONCEPTO:**
Compuesto con átomos de hidrógeno en su formulación que se deshidrogena fácilmente mediante reacción química on-board y que requiere de regeneración “off-board”.
- **CARACTERÍSTICAS:**
 - Energías de enlace mayores
 - Fácilmente distribuibles utilizando una infraestructura similar a la actual para hidrocarburos (gasolina, gasóleo, etc.).
 - Gran capacidad volumétrica.
 - Media-alta capacidad gravimétrica.
 - Bajas cinéticas de reacción.
- **TIPOS:**
 - Hidrólisis y alcoholisis de Metal hidruros: reacción con agua o alcoholes .
 - Hidrólisis y alcoholisis de Boranos: reacción con agua o alcoholes
 - **Hidrogenación/Deshidrogenación de LOH: hidruros orgánicos líquidos**

Producción y Almacenamiento de Hidrógeno



Almacenamiento Químico



VENTAJAS

- Altas densidades máscas de hidrógeno

DESAFIOS

- Mejorar la regeneración de “combustible” agotado
- Mejorar el balance energético

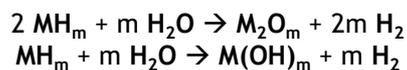
Producción y Almacenamiento de Hidrógeno



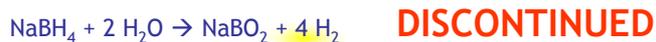
Almacenamiento químico



Hidrólisis de hidruros metálicos:



Ejemplos bajo investigación:



(No Go decision DOE. November 2008)

Reacción exotérmica controlada con pH y catalizador

Baja capacidad gravimétrica: 4 wt%.

Coste energético alto (en regeneración).



Capacidad gravimétrica: 11 wt%.

Matriz protectora.

Coste económico alto.

Producción y Almacenamiento de Hidrógeno



Almacenamiento químico



Reacciones de hidrogenación/deshidrogenación de LOH:

LOH = Liquid Organic Hydrides

Compuestos cíclicos de carbono saturados de hidrógeno.

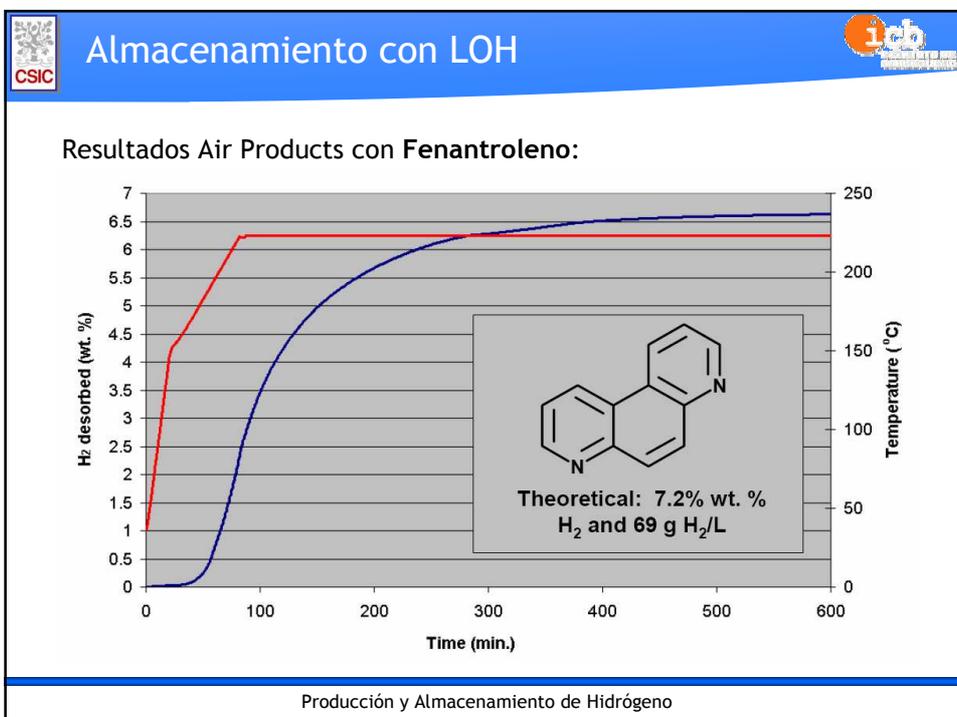
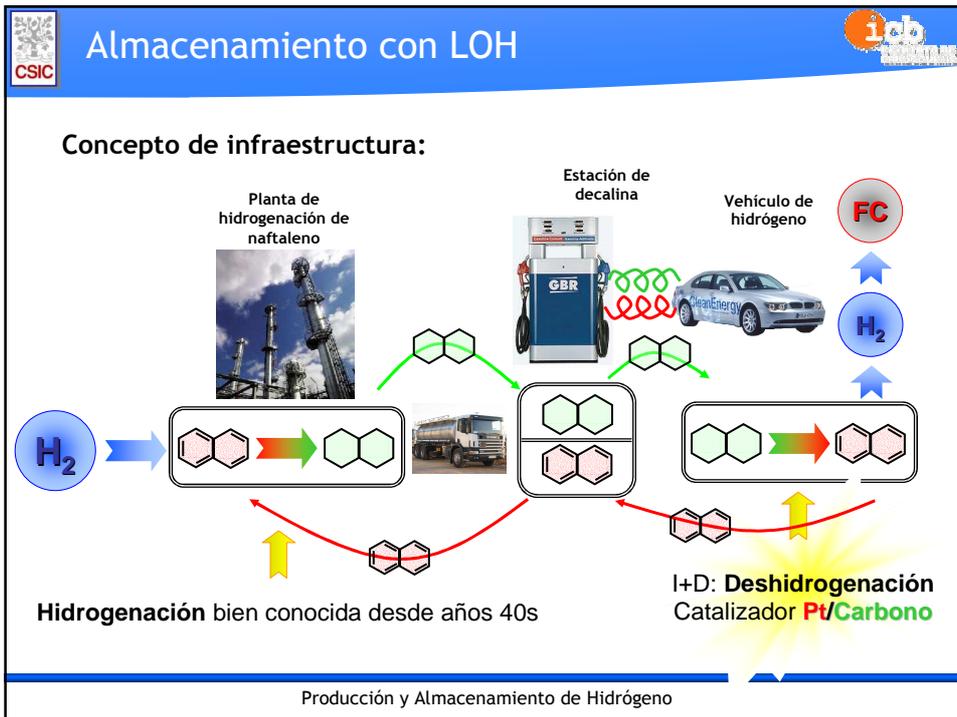


Sólo requieren hidrógeno como reactivo.

Reacción reversible, endotérmica y catalítica.

H₂ libre de CO y CO₂.

Producción y Almacenamiento de Hidrógeno





Almacenamiento con LOH



Catalizadores para deshidrogenación: favorecer la **cinética** de la reacción.

- Para llevar a cabo la reacción de deshidrogenación es necesario un **catalizador**.
- Normalmente **Platino** o catalizadores bimetálicos **Pt-M**, donde M puede ser **Mo, W, Re, Rh, Ir** ó **Pd**, típicamente.
- El segundo metal **aumenta la velocidad de reacción** debido a la adsorción favorecida del enlace C-H y/o la desorción de productos.
- Un **tercer metal** (**Ni**) puede introducirse para disminuir la cantidad de Pt sin afectar significativamente la selectividad.
- Estos metales se soportan normalmente sobre **soportes carbonosos**, sobre **alúmina** o sobre un **óxido mixto de Al y Ti**.
- La reacción de deshidrogenación se lleva a cabo entre **210°C y 350°C**.

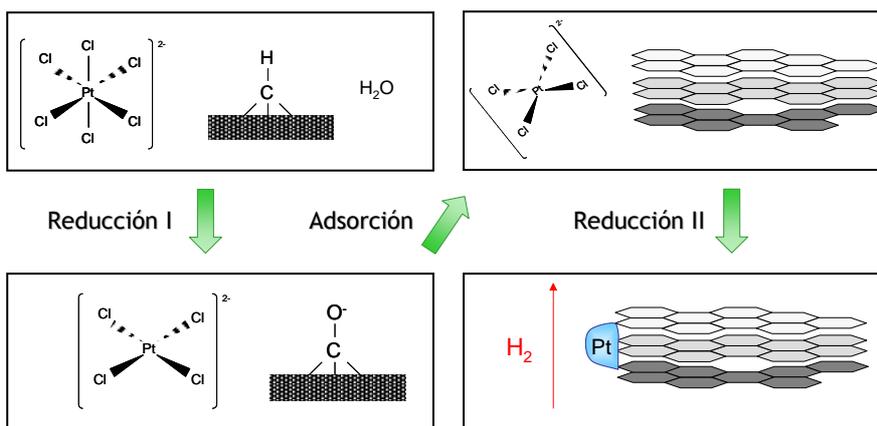
Producción y Almacenamiento de Hidrógeno



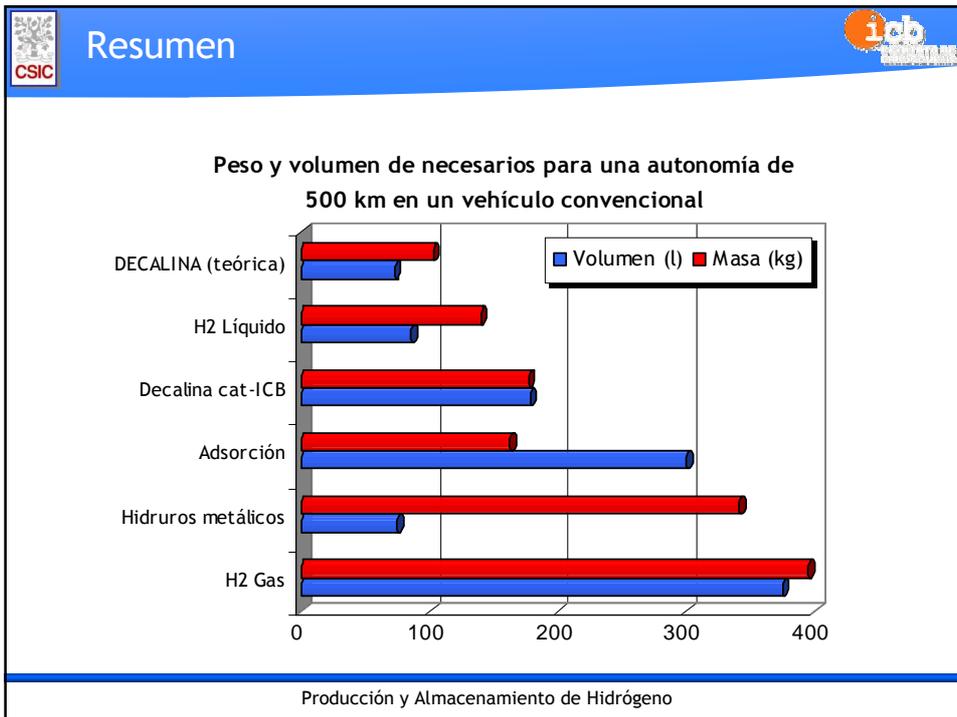
Almacenamiento con LOH



Preparación del catalizador en el ICB:



Producción y Almacenamiento de Hidrógeno



CSIC Instituto de Carboquímica

**PRODUCCION Y ALMACENAMIENTO DE
HIDROGENO**

*Fronteras de la Energía 2009
5-10 julio 2009 Benasque*

AGRADECIMIENTOS
Maria Jesus Lazaro
David Sebastián
Isabel Suelves
Jose Luis Pinilla