

Nº 110

Mayo 2017

RETOS FUTUROS DE LA ENERGÍA PARA LOS MOTORES TÉRMICOS: LA OPCIÓN HIDRÓGENO

Autor:
Antonio González García-Conde

DOCUMENTOS
DE INTERÉS

asepa

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE PROFESIONALES DE AUTOMOCIÓN



La opción hidrógeno

Antonio González García-Conde
Vicepresidente de la Asociación Española del Hidrógeno
Director Departamento Aeronaves – INTA

Contenido

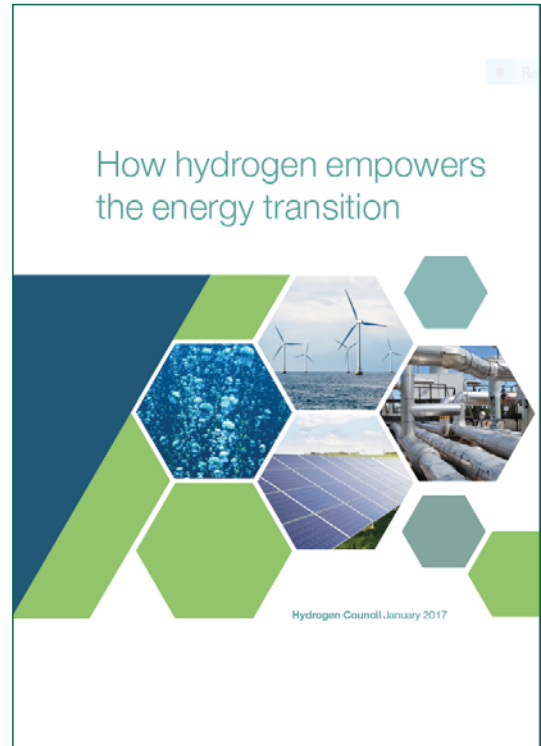
1. Introducción: El H₂ en la transición energética.
2. Producción de hidrógeno.
3. Almacenamiento de hidrógeno.
4. Transporte y Distribución de hidrógeno.
5. Utilización del hidrógeno:

Pilas de Combustible

- a) En el transporte.
- b) En aplicaciones estacionarias
- c) Para almacenamiento de energía:
 - ✓ Power to Fuel, Power to Power, Power to Gas

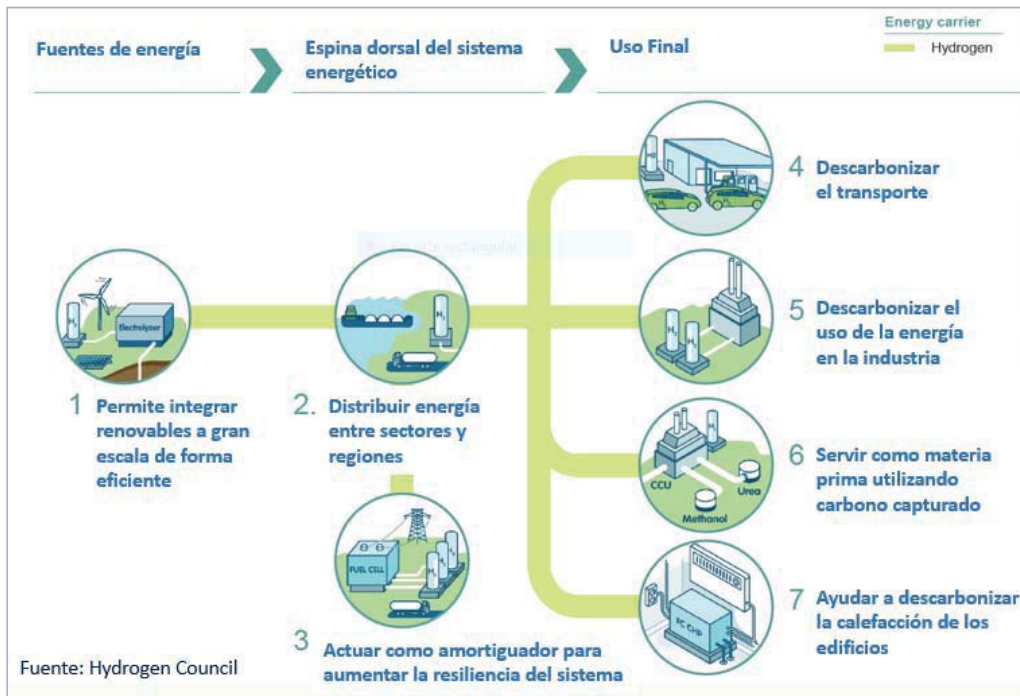
Hydrogen Council

(Enero 2017)



7 funciones en la descarbonización de los principales sectores de la economía

El hidrógeno, como **vector energético**, permite **nuevos vínculos entre la oferta y demanda** de energía, tanto en forma **centralizada como descentralizada**, lo que podría **aumentar la flexibilidad global del sistema**. Mediante la conexión de las diferentes redes de transmisión y distribución de energía, se pueden hacer llegar fuentes de energía bajas en carbono a las aplicaciones de uso final, cuya **descarbonización** supone un reto, incluyendo el transporte, la industria y los edificios.





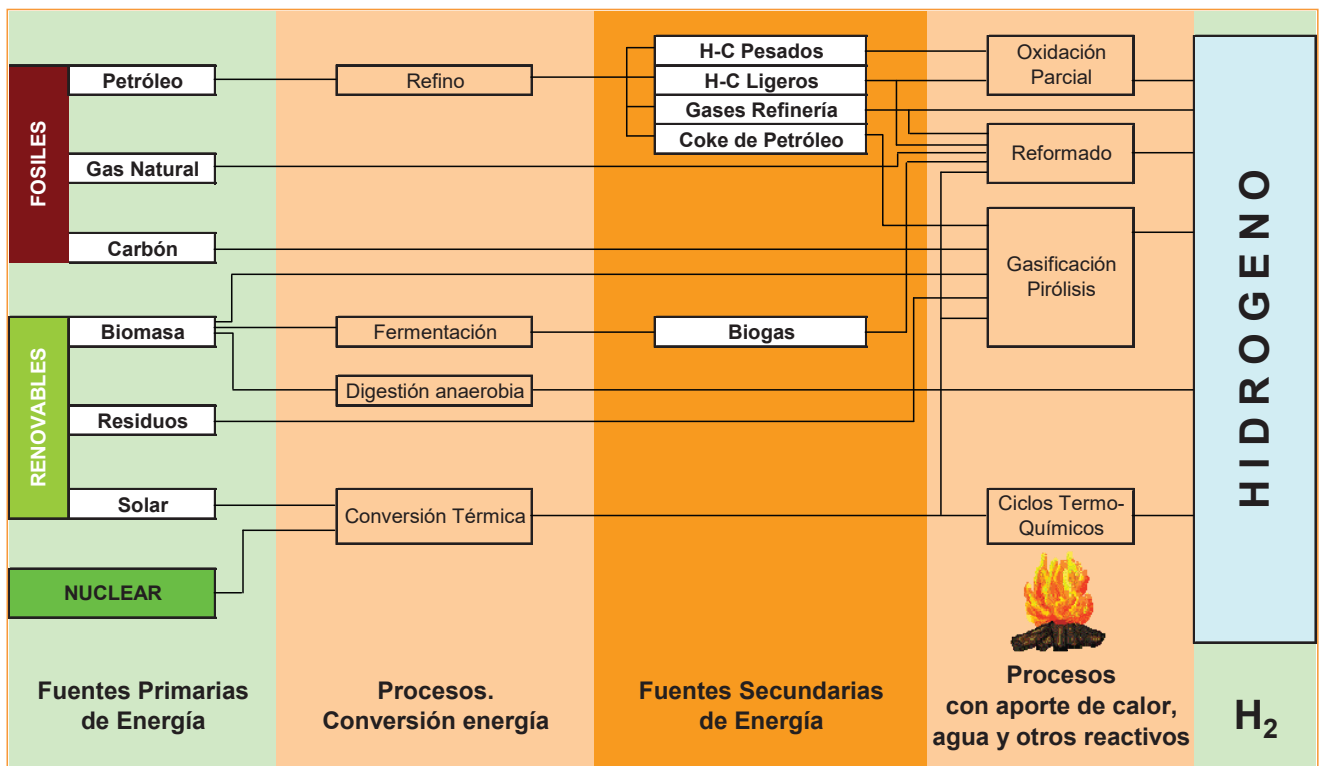
La Producción del Hidrógeno

El hidrógeno no es un recurso natural, el hidrógeno hay que producirlo

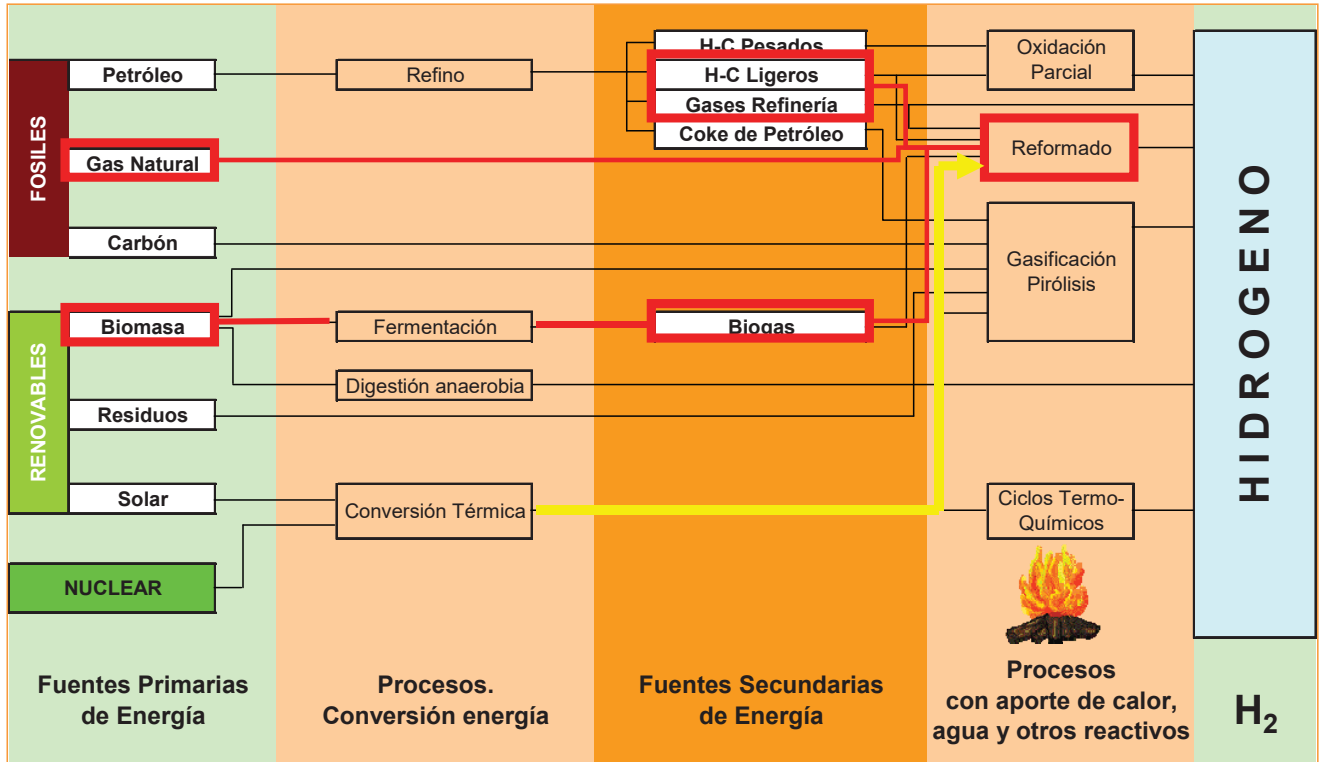


Producción de Hidrógeno

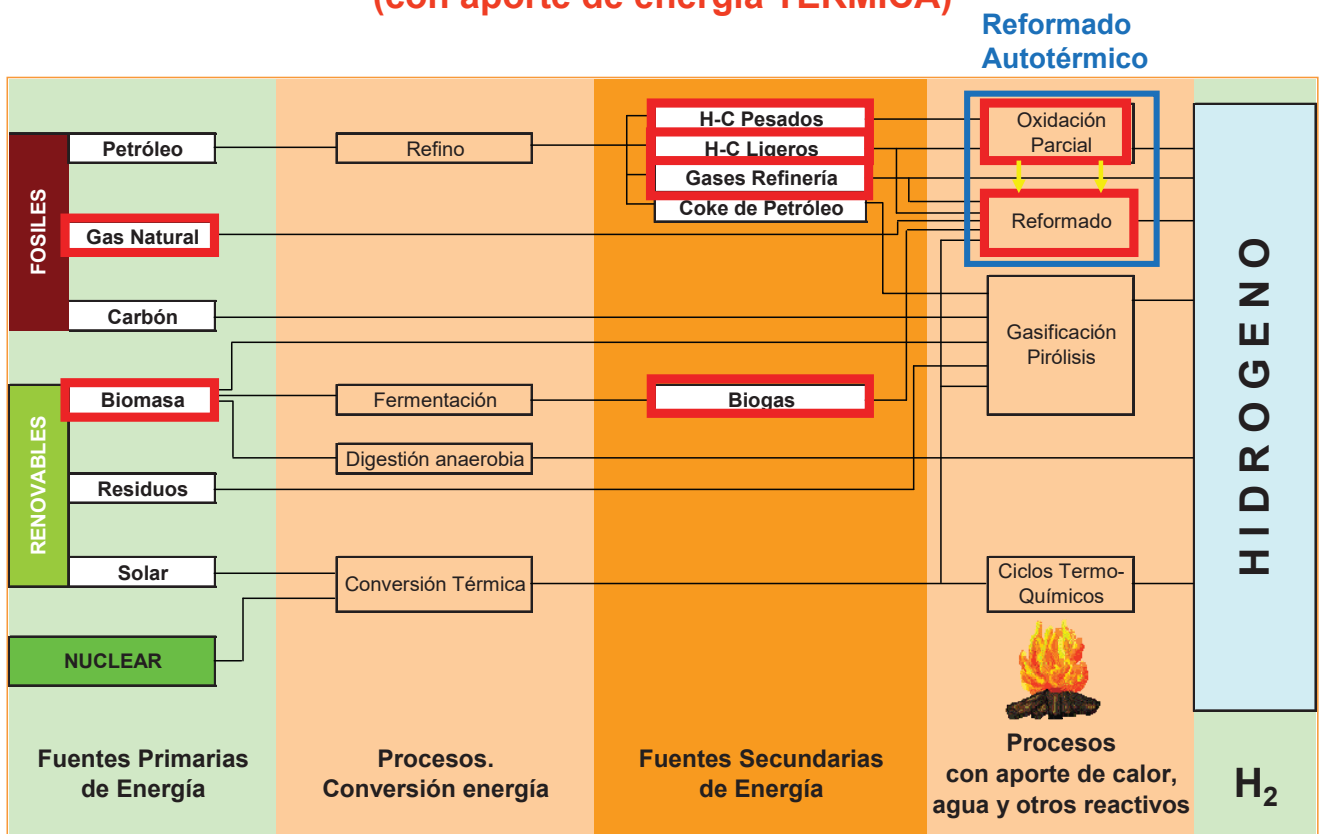
(con aporte de energía TERMICA)



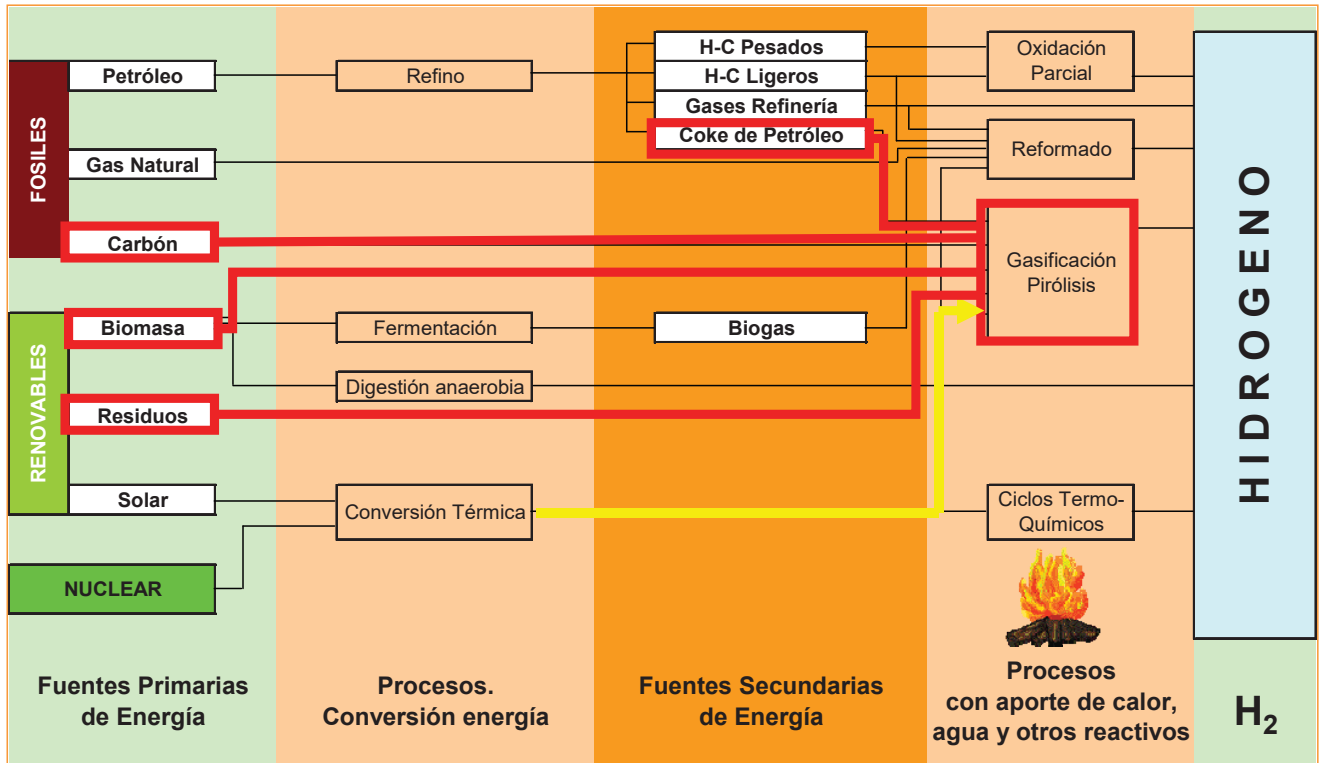
(con aporte de energía TERMICA)



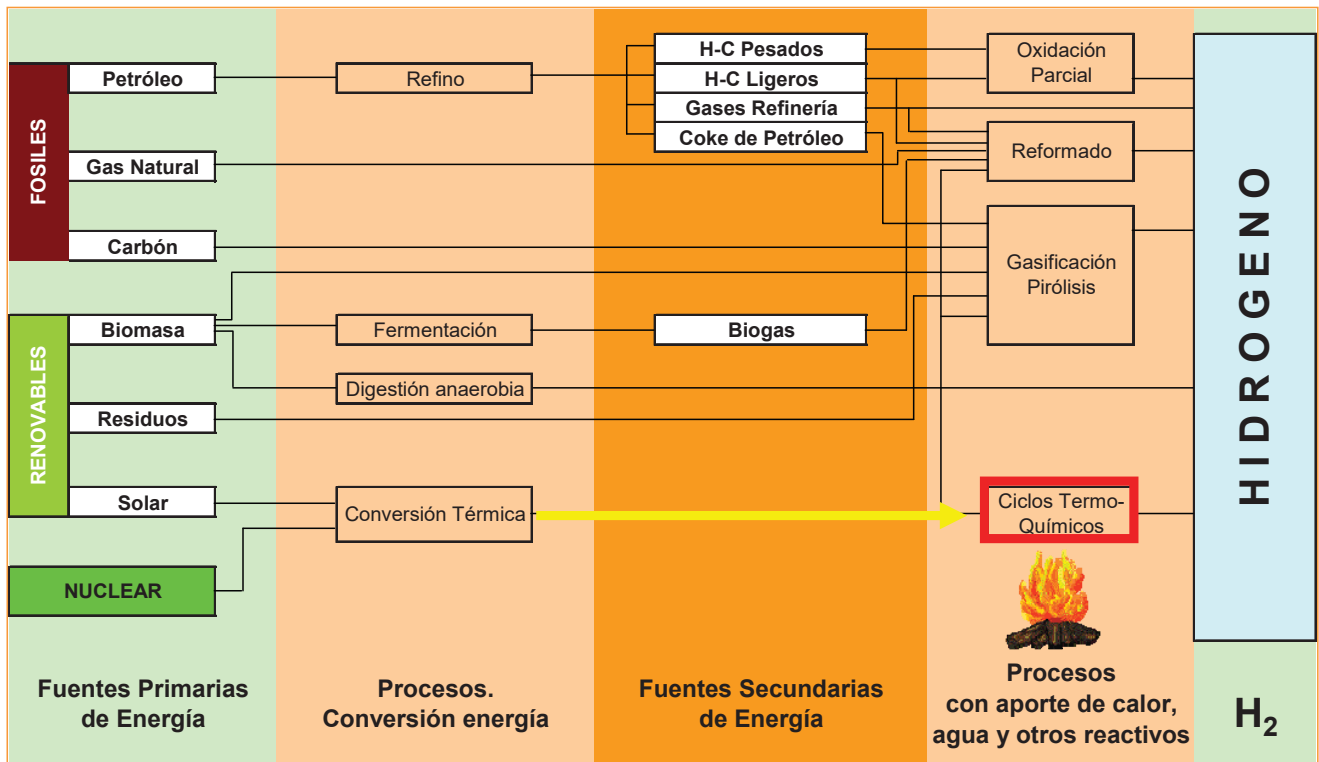
(con aporte de energía TERMICA)



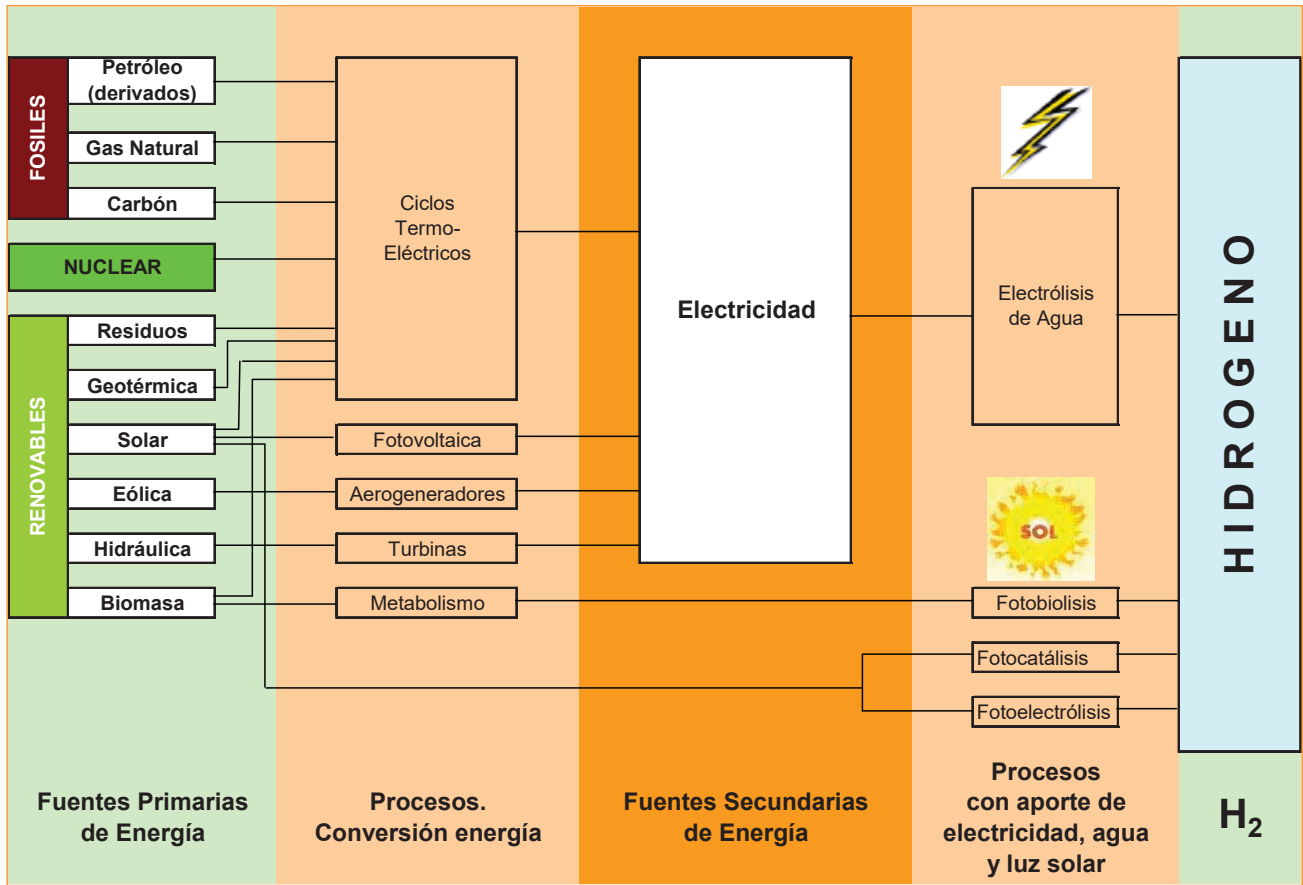
(con aporte de energía TERMICA)



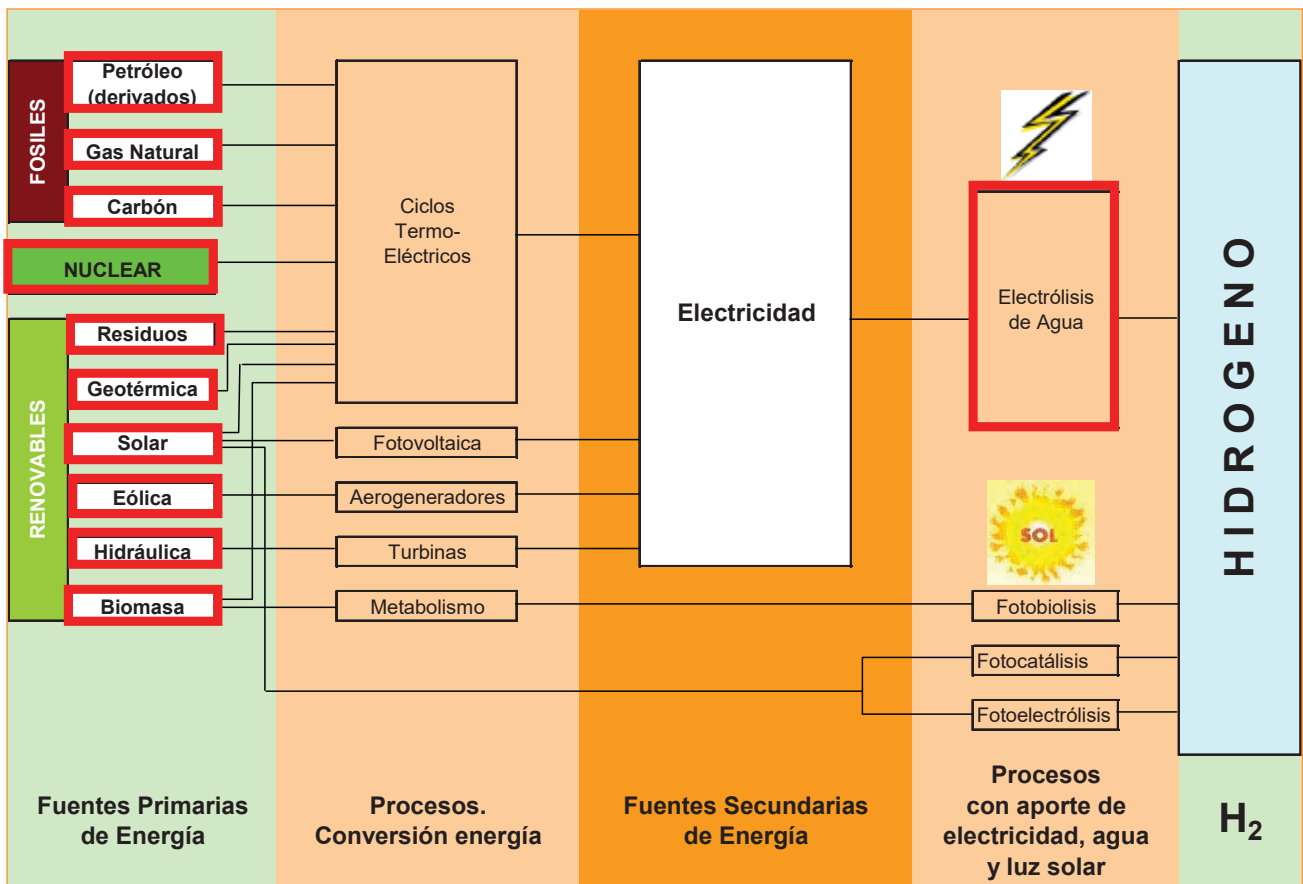
(con aporte de energía TERMICA)



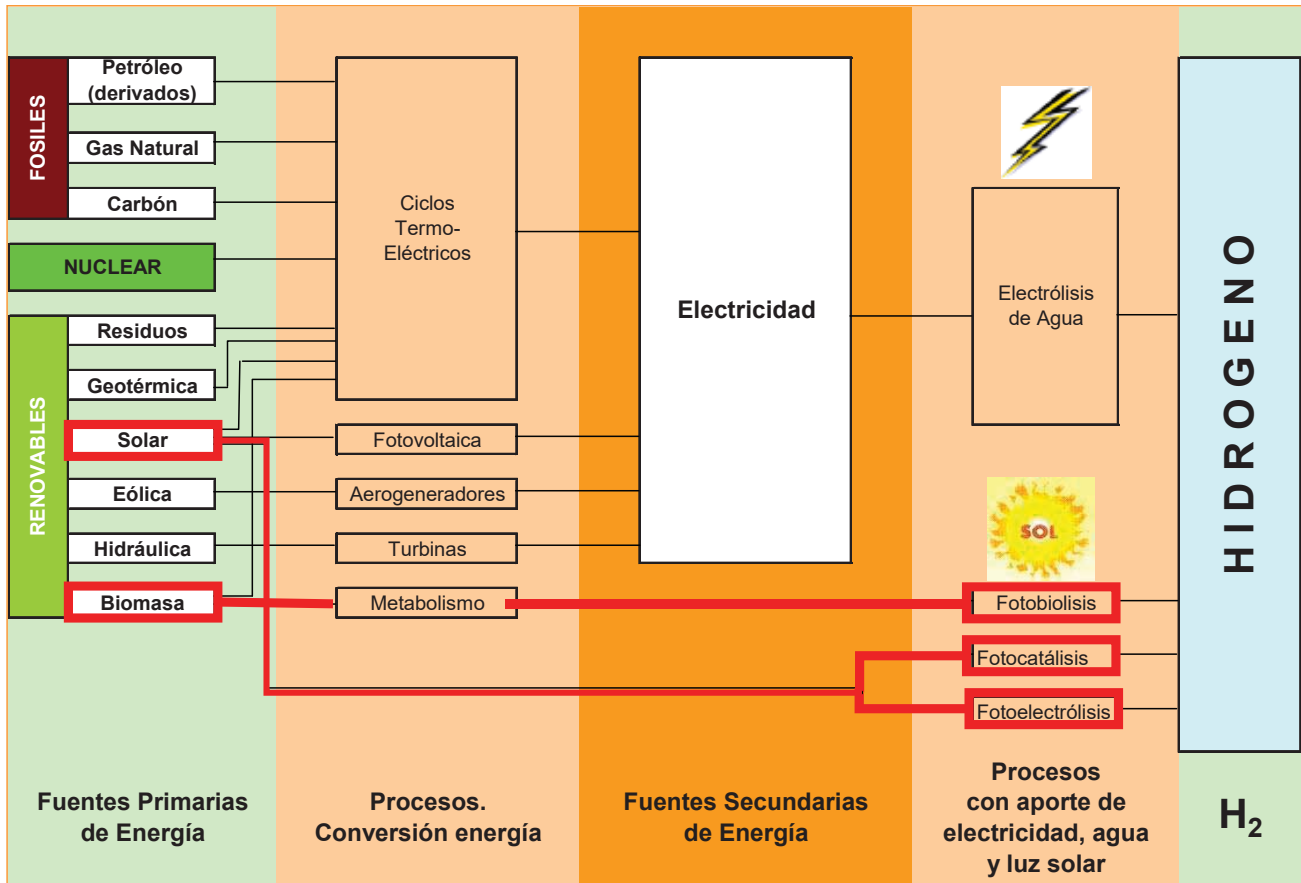
(con aporte de energía **ELECTRICA** y **FOTONICA**)



(con aporte de energía **ELECTRICA** y **FOTONICA**)



(con aporte de energía ELECTRICA y FOTONICA)



Producción de Hidrógeno: Mercado actual

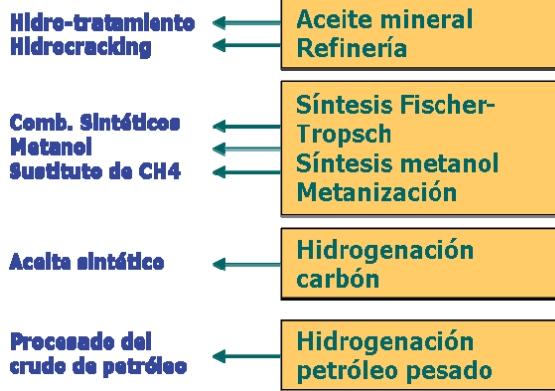
Producción Anual de Hidrógeno ~ 7,5 EJ ≈ 61 Mt , 700 bcm

Fuente: IEA 2014



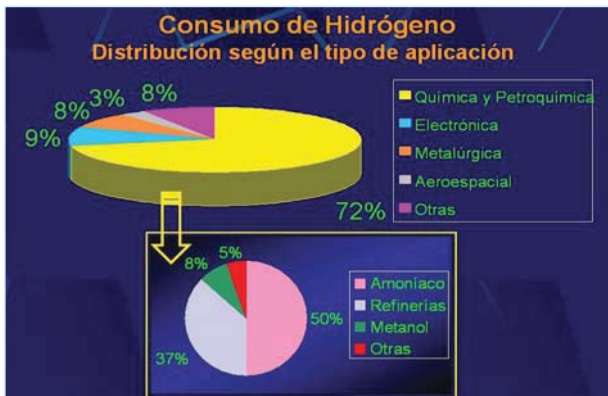
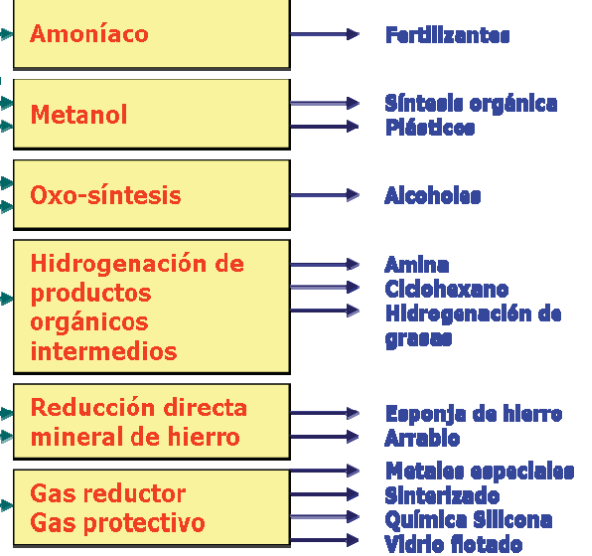
- El 96% se produce a partir de combustibles fósiles
- El 95% de la producción es "cautiva" (se consume "in situ")

Uso energético Indirecto: Combustibles y lubricantes



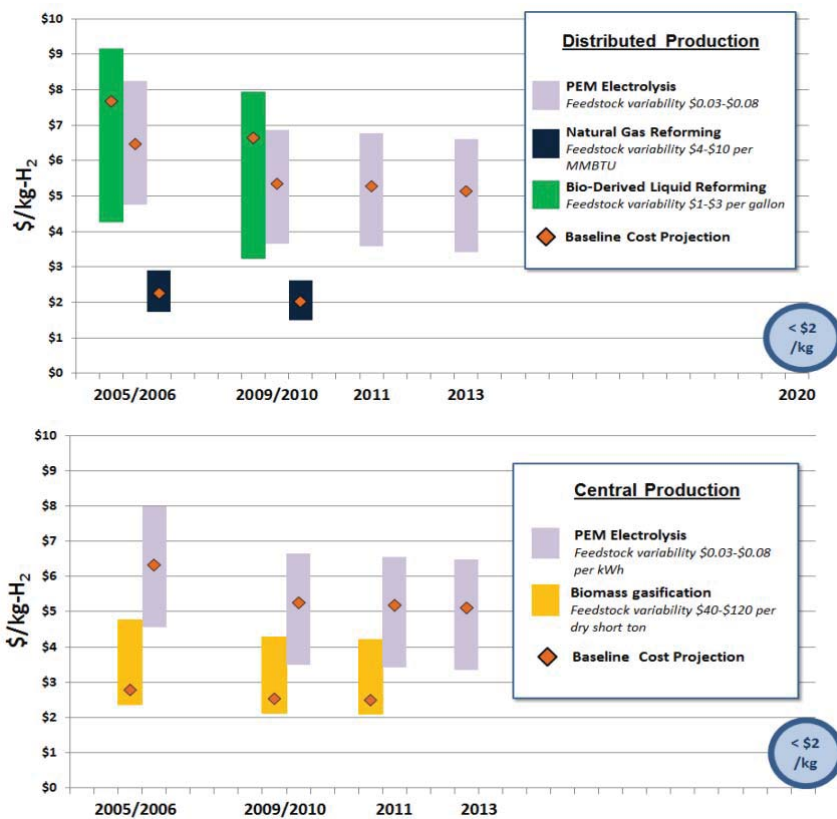
Hidrógeno

Uso no energético: Productos químicos



El uso actual del H₂ es industrial, no energético

Costes de Producción del Hidrógeno



El almacenamiento del Hidrógeno

El hidrógeno es muy ligero, ocupa mucho volumen.



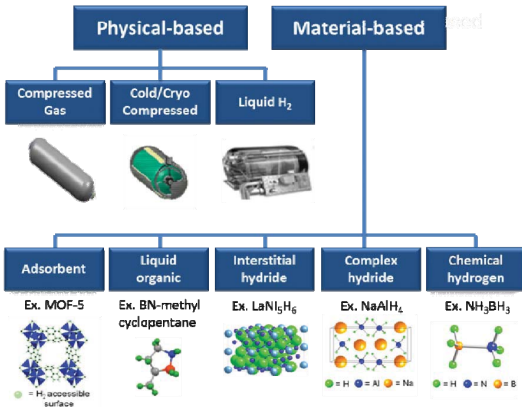
Copyright Stan Jirman - stanj@PhotoTrek.ORG

Almacenamiento del Hidrógeno

- Gas comprimido.
- Líquido.
- Hidruros metálicos.
- Compuestos químicos.
- Materiales de Carbono
- Nuevos materiales nano-estructurados.

Propiedad	H ₂	Metano	Propano	Gasolina
Poder Calorífico Inferior (MJ/kg)	120	50	46.3	44.5
Densidad (kg/Nm ³)	0.09	0.72	1.87	0.73 (kg/l)
Poder Calorífico Inferior (MJ/m ³)	10.79	35.9	86.58	31.67 (MJ/l)





Propiedad	H ₂	Metano	Propano	Gasolina
Poder Calórico Inferior (MJ/kg)	120	50	46.3	44.5
Densidad (kg/Nm ³)	0.09	0.72	1.87	0.73 (kg/l)
Poder Calórico Inferior (MJ/m ³)	10.79	35.9	86.58	31.67 (MJ/l)



Transporte de Hidrógeno

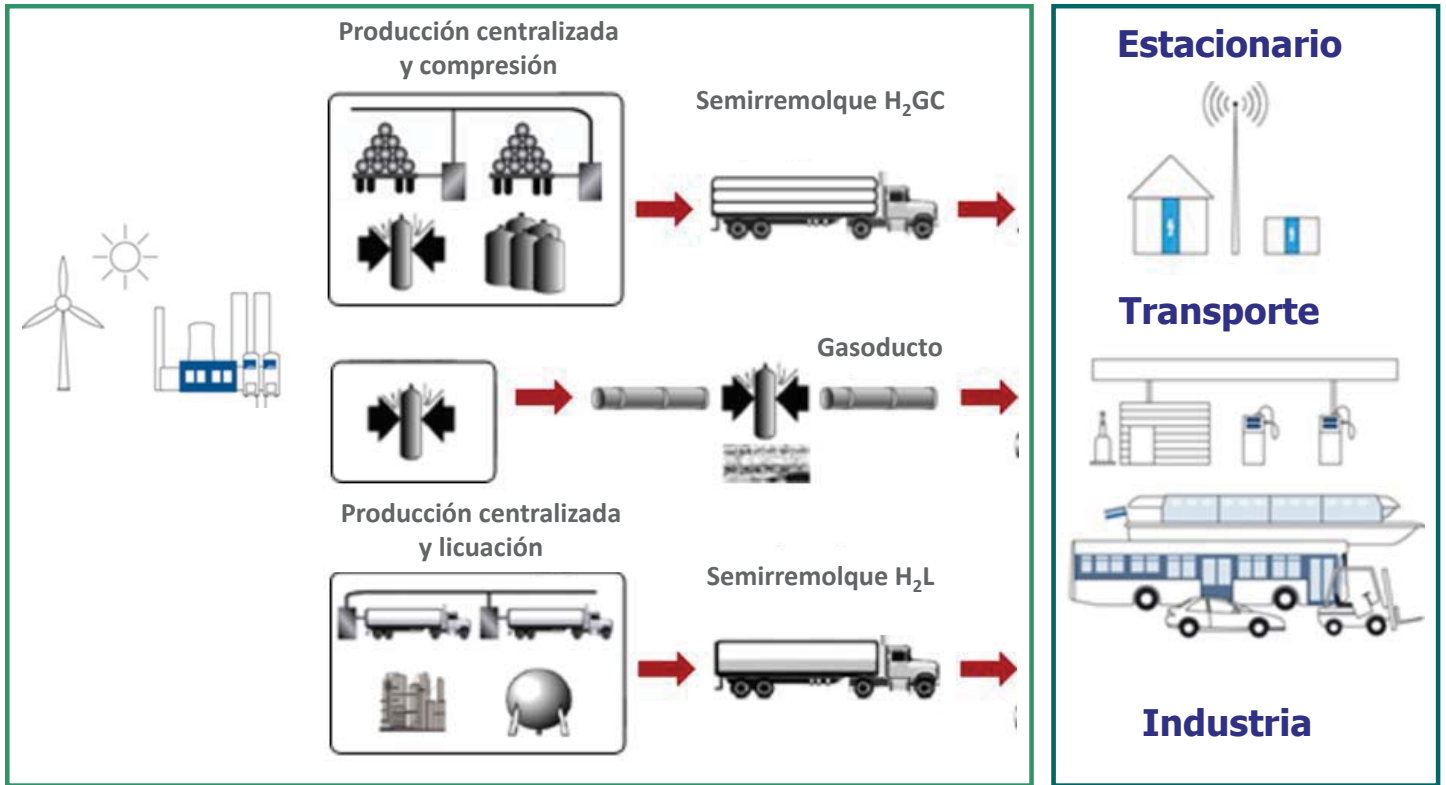
Infraestructura y Logística de Distribución y Entrega de Hidrógeno.



Infraestructura de transporte, distribución y entrega de H₂ :

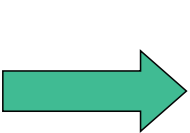
Modos de distribución

Aplicaciones



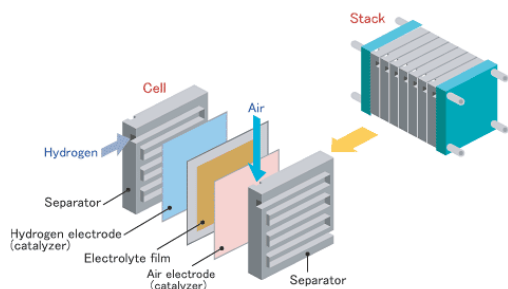
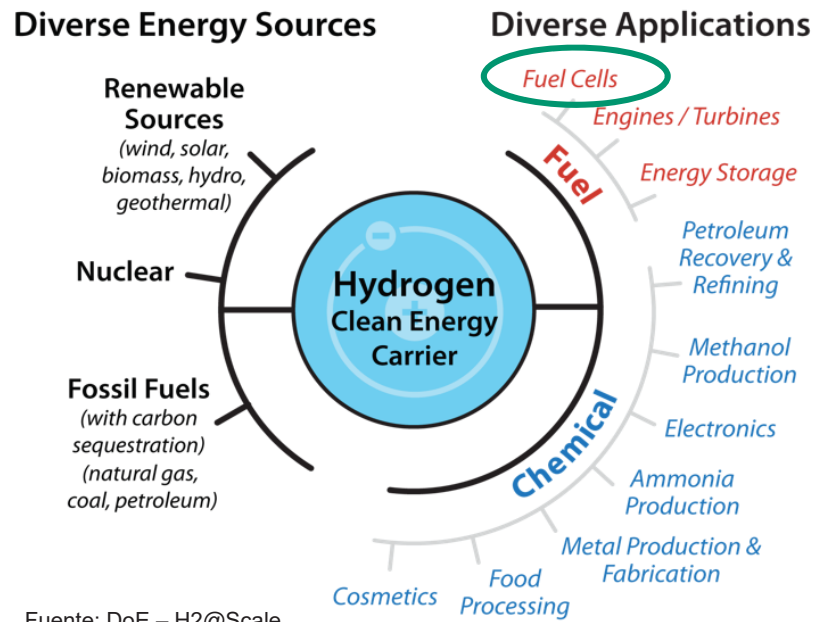
El transporte de hidrógeno licuado por barco o camión a largas distancias, lleva asociadas altas pérdidas de energía por evaporación (aunque el H₂ evaporado puede usarse para propulsión o generación de potencia a bordo)

El transporte de hidrógeno por gasoducto requiere 4,6 veces más energía que el transporte del gas natural (por unidad de energía transportada)



La utilización de hidrógeno para fines energéticos a largo plazo se basará en la construcción e interconexión de una infraestructura de producción distribuida, además de la producción centralizada

El hidrógeno es un **portador de energía flexible** que puede ser producido a partir de cualquier fuente de energía primaria y se puede transformar eficazmente en cualquier forma de energía para diferentes aplicaciones de uso final.



El hidrógeno es particularmente adecuado para su uso en **pilas de combustible** que utilizan de manera eficiente el hidrógeno para generar electricidad.

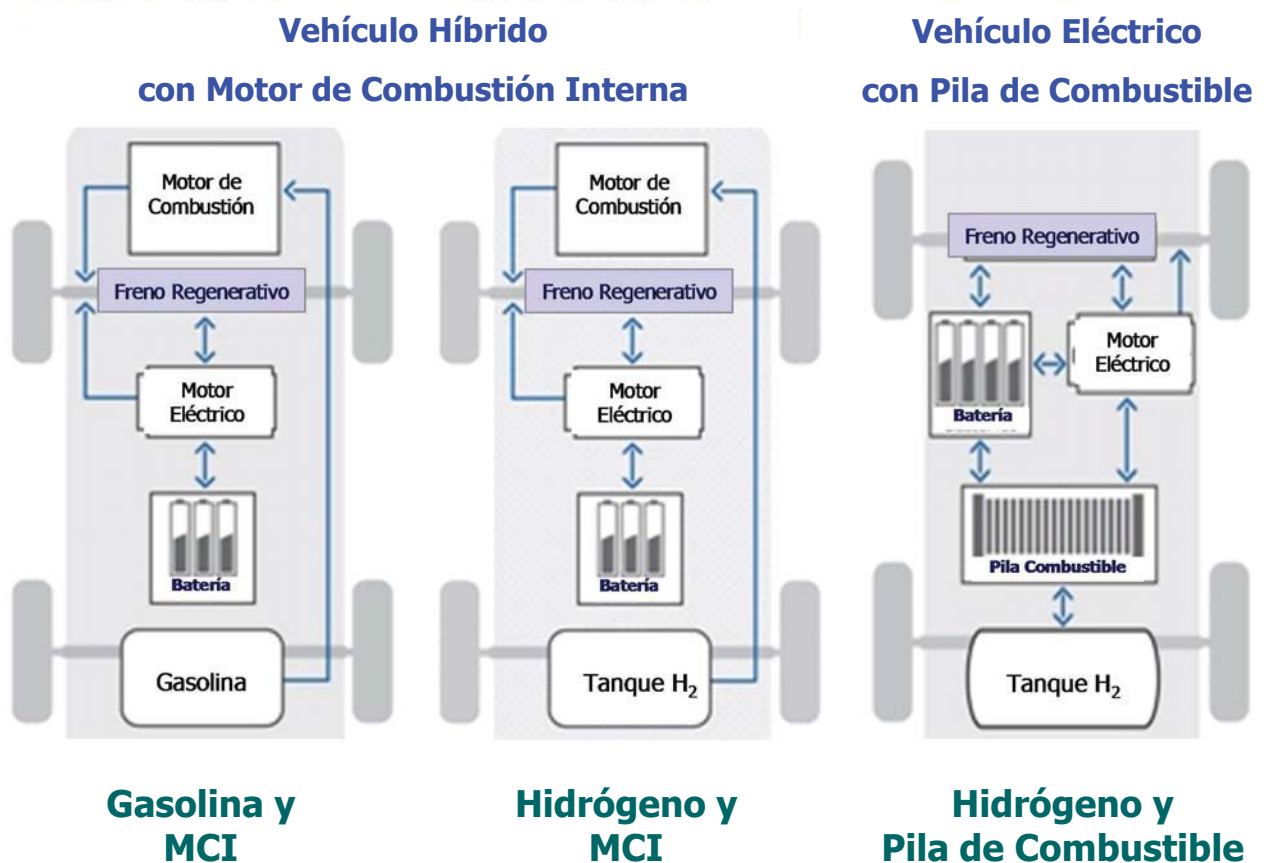
Utilización del Hidrógeno

H₂ y pilas de combustible en aplicaciones transporte

Dos ejemplos:

- ✓ *Vehículos eléctricos con pilas de combustible.*
- ✓ *Vehículos para manejo de materiales y mercancías.*

Vehículos Híbridos. Cadenas de tracción





¿ Por qué el hidrógeno como combustible alternativo para el transporte ?



¿ Por qué el H₂ como combustible alternativo para el transporte ?

Sistemas de Propulsión Terrestre basados en H₂ y Pilas de Combustible

- *Eficiencia* -

Sistemas de propulsión basados en H₂ y PC: EFICIENCIA

Diferencia principal entre sistemas de tracción basados en pilas de combustible y en motores de combustión interna

- ❑ Los MCI presentan su punto de operación óptimo (el que ofrece un menor consumo específico de combustible), en o cerca de su punto de máxima potencia.
- ❑ Las pilas de combustible tienen rendimientos mayores a cargas parciales (a máxima potencia su eficiencia es menor).

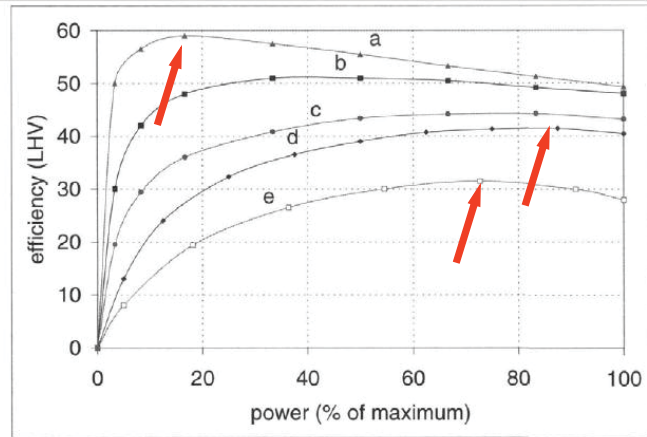


FIGURE 10-2. Comparison of the efficiency of fuel cells and internal combustion engines:

- a) fuel cell system operating at low pressure and low temperature;
- b) fuel cell system operating at high pressure and high temperature;
- c) fuel cell system with an onboard fuel processor;
- d) compression ignition internal combustion engine (diesel);
- e) spark ignition internal combustion engine (gasoline).

Ref.: Frano Barbir, *PEM Fuel Cells: Theory and Practice*.

Sistemas de propulsión basados en H₂ y PC: EFICIENCIA

Diferencia principal entre sistemas de tracción basados en pilas de combustible y en motores de combustión interna

En un ciclo normal de conducción, en coches, motos y autobuses urbanos, **la mayor parte del tiempo el motor opera a cargas parciales.**

En estas condiciones, **la eficiencia que se obtiene de los MCI está lejos de su máximo y las pilas de combustible pueden llegar a duplicar la eficiencia de los MCI.**

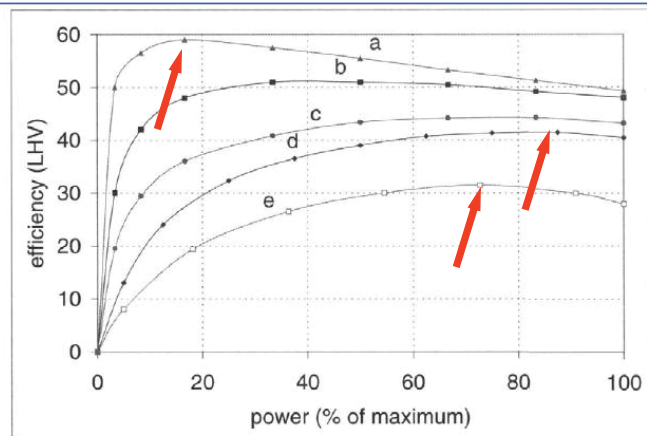


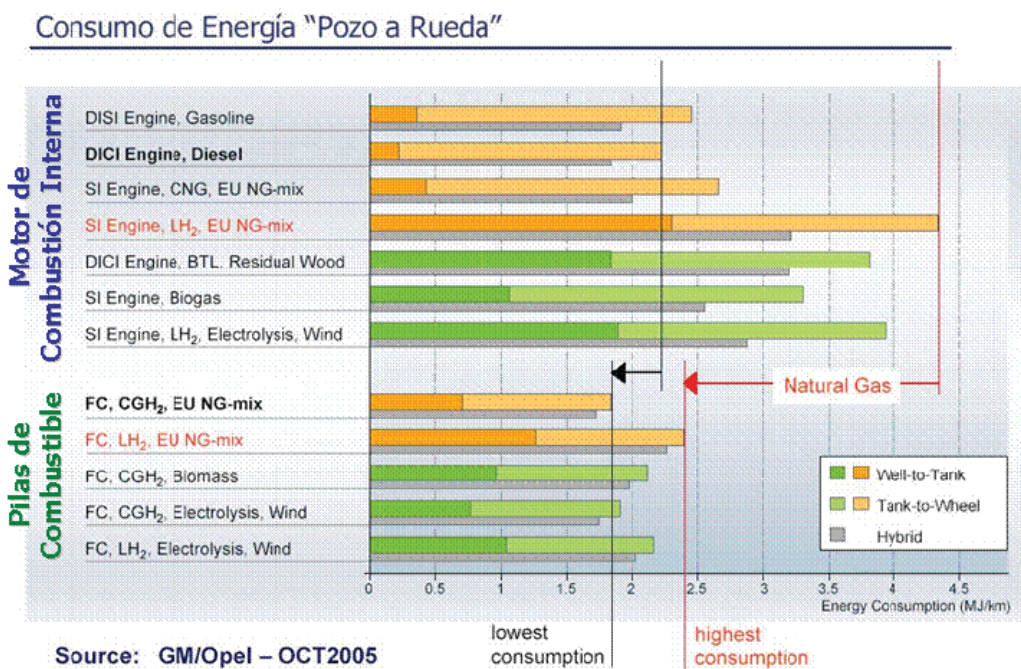
FIGURE 10-2. Comparison of the efficiency of fuel cells and internal combustion engines:

- a) fuel cell system operating at low pressure and low temperature;
- b) fuel cell system operating at high pressure and high temperature;
- c) fuel cell system with an onboard fuel processor;
- d) compression ignition internal combustion engine (diesel);
- e) spark ignition internal combustion engine (gasoline).

Ref.: Frano Barbir, *PEM Fuel Cells: Theory and Practice*.

Sistemas de Propulsión Terrestre basados en H₂ y Pilas de Combustible
- *Consumo de Energía* -

Sistemas de propulsión basados en H₂ y PC: Consumo Energía

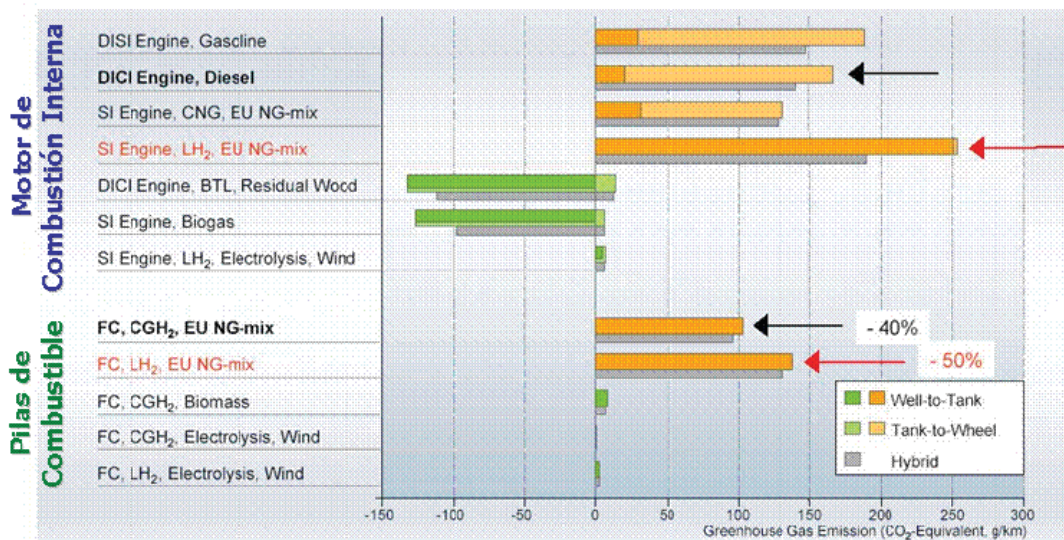


- Las pilas de combustible ofrecen una clara reducción de consumo en el caso de las tecnologías de tracción por MCI que, hoy en día, son menos eficientes.
- En el caso de las mejores tecnologías (Diesel Inyección Directa Common Rail), las pilas solo consiguen una pequeña reducción.

Sistemas de Propulsión Terrestre basados en H₂ y Pilas de Combustible
- Emisiones -

Sistemas de propulsión basados en H₂ y PC: Emisiones

Emisiones de Gases Inverandero en Perspectiva "Pozo a Rueda"



Las pilas de combustible ofrecen una clara reducción de emisiones tanto en comparación con las mejores como con las peores tecnologías de tracción por MCI de hoy en día.

Source: GM/Opel – OCT2005

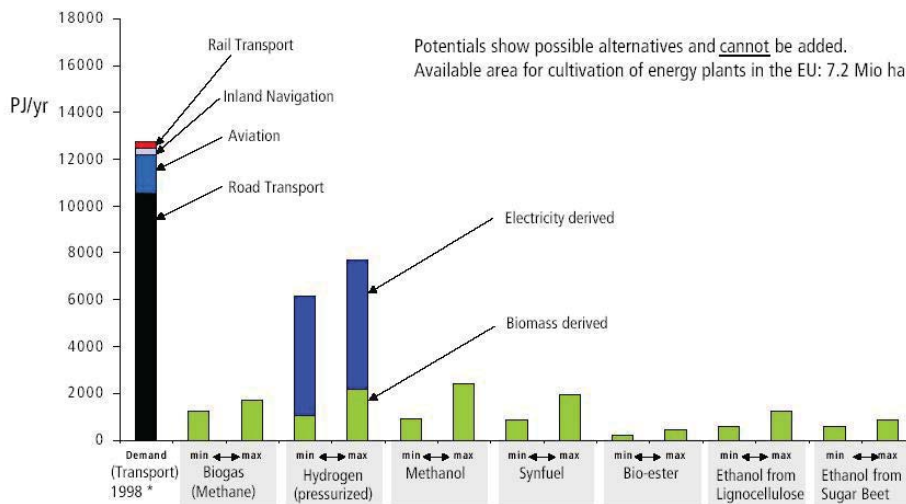
Sistemas de Propulsión Terrestre basados en H₂ y Pilas de Combustible
- Capacidad de producción de H₂ -

Potencial de Producción de Combustibles de Automoción de origen Renovable para Europa después de 2020

- Escenario Alternativo de LBST [EU15] -



L-B-Systemtechnik



¿ Es relevante el H₂ frente a otros combustibles alternativos?

Los fabricantes de automoción líderes del Mundo se han comprometido a desarrollar vehículos de pilas de combustible.

Alemania, Japón, EEUU y la Unión Europea han anunciado planes para desarrollar la infraestructura de suministro de hidrógeno

	Toyota	<ul style="list-style-type: none"> 2010-2013: U.S. demo fleet of 100 vehicles 2015: Target for large-scale commercialization "FCHV-adv" can achieve 431-mile range and 68 mpgge
	Honda	<ul style="list-style-type: none"> Clarity FCX named "World Green Car of the Year"; EPA certified 72mpgge; leasing up to 200 vehicles 2015: Target for large-scale commercialization
	Daimler	<ul style="list-style-type: none"> Small-series production of FCEVs began in 2009 Plans for tens of thousands of FCEVs per year in 2015 – 2017 and hundreds of thousands a few years after In partnership with Linde to develop fueling stations. <i>Recently moved up commercialization plans to 2014</i>
	General Motors	<ul style="list-style-type: none"> 115 vehicles in demonstration fleet 2012: Technology readiness goal for FC powertrain 2015: Target for commercialization
	Hyundai-Kia	<ul style="list-style-type: none"> 2012-2013: 2000 FCEVs/year 2015: 10,000 FCEVs/year "Borrego" FCEV has achieved >340-mile range.
	Volkswagen	<ul style="list-style-type: none"> Expanded demo fleet to 24 FCEVs in CA Recently reconfirmed commitment to FCEVs
	SAIC (China)	<ul style="list-style-type: none"> Partnering with GM to build 10 fuel cell vehicles in 2010
	Ford	<ul style="list-style-type: none"> Alan Mulally, CEO, sees 2015 as the date that fuel cell cars will go on sale.
	BMW	<ul style="list-style-type: none"> BMW and GM plan to collaborate on the development of fuel cell technology



H₂ Mobility (Sept. 2009)



Comercialización FCEVs e Infraestructura llenado (Enero 2011)



UK H₂ Mobility (Febrero 2012)



Scandinavian Hydrogen Highway Partnership (Octubre 2012)



USA H₂ Mobility (Mayo 2013)



Clean Power for Transport: Deployment of alternative fuels infrastructure (Enero 2013)



Mobilité Hydrogène France (Julio 2013)

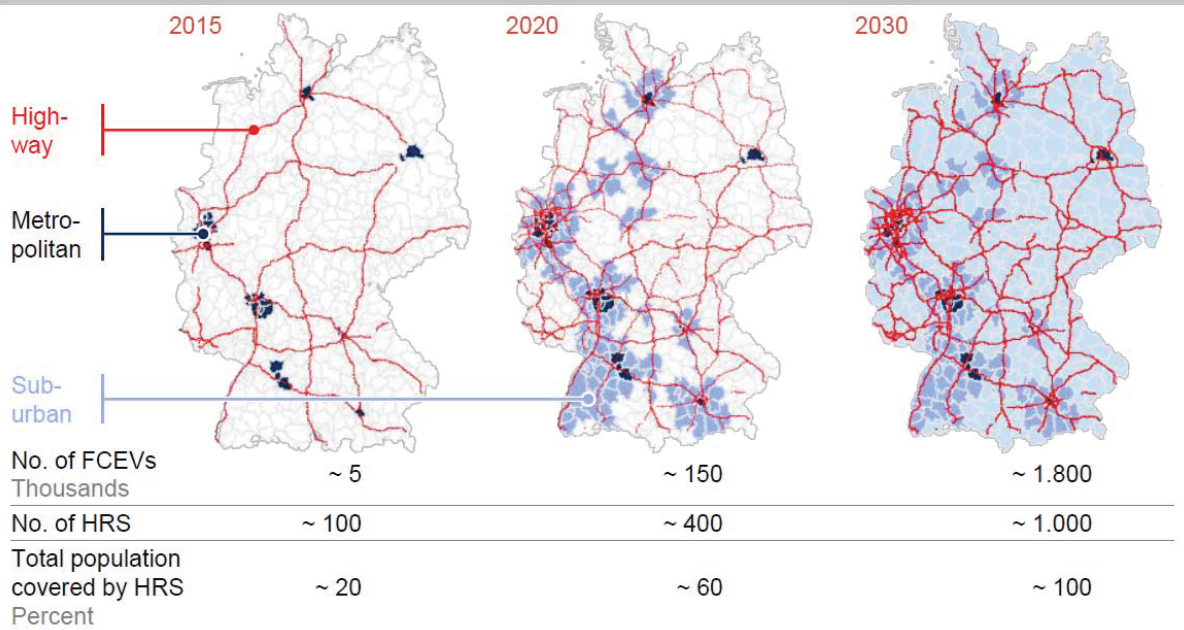
Transporte y Distribución del Hidrógeno

Desarrollo de la infraestructura de suministro

Potential HRS rollout in Germany

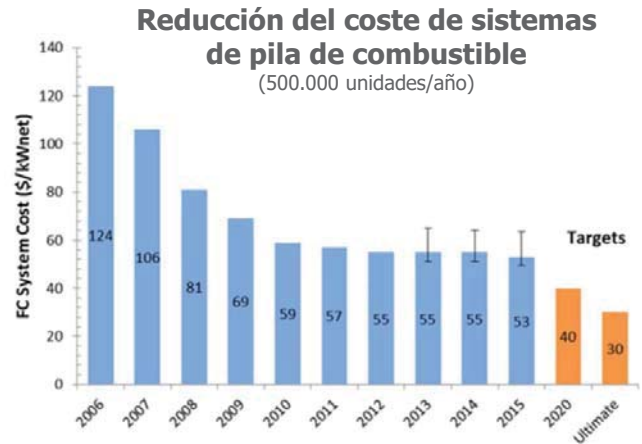
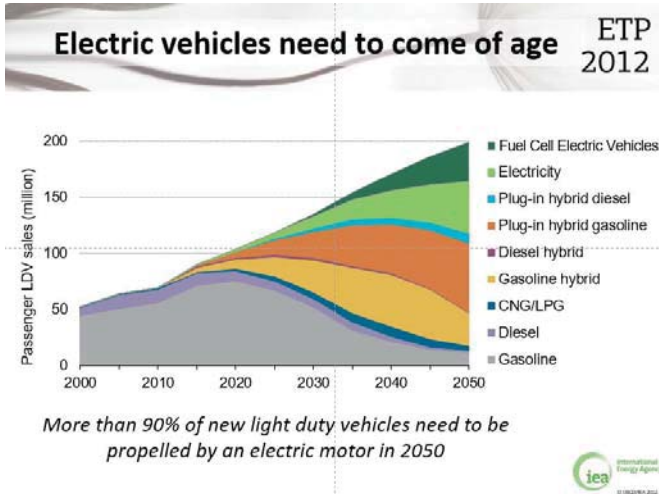
H₂ Mobility

- Tier-1 regions
- Tier-2 regions
- Tier-3 regions



Los **FCEVs** pueden proporcionar el servicio de movilidad de los coches convencionales actuales con muy bajas emisiones de carbono.

Si el **despliegue de FCEVs** alcanzara una cuota de participación del 25% en el transporte por carretera para el año 2050, se podrá contribuir hasta con un 10% del total acumulado de reducción de emisiones de C del transporte, que sería necesaria para pasar de un escenario ETP 6°C (6DS) al de 2DS (IEA, ETP 2012)



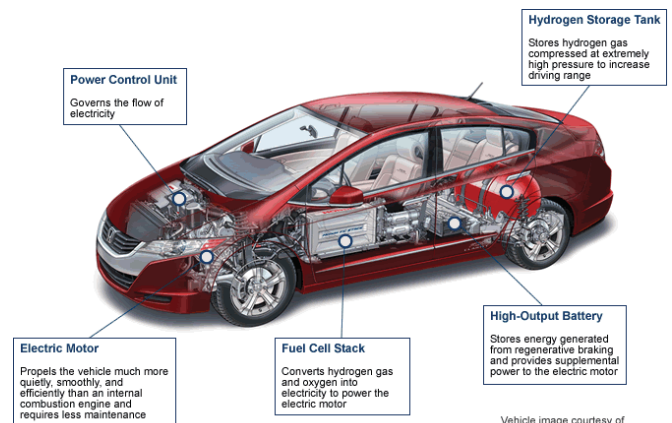
Fuente: DoE H2@Scale 06/06/2016

Desarrollo Honda FCX Clarity

- Autonomía: 460 km.
- Recarga en 4 min.



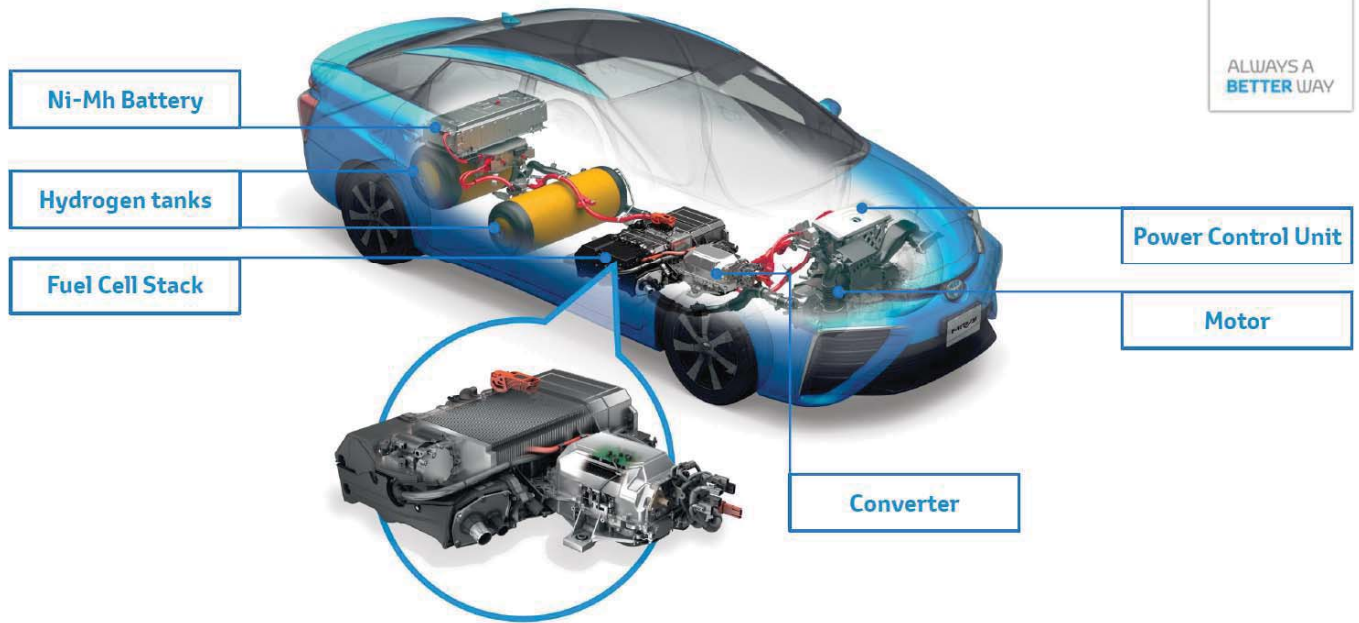
Technology release	1999	2003	2006
Stack appearance			
Output	60 kW	86 kW	100 kW
Size	134 L	66 L	52 L
Weight	202 kg	96 kg	67 kg
Electrolytic membrane	Fluorine electrolytic membrane Max. operating temperature: 80°C	Aromatic electrolytic membrane Max. operating temperature: 95°C	Aromatic electrolytic membrane Max. operating temperature: 95°C
Stack construction/cell structure	Bolt-fastened construction Machined carbon separators Separate seals	Panel box construction Stamped metal separators with unitized seals	V Flow cell structure 1-box stack: construction Wave flow channel separators



Toyota Fuel Cell System Components



ALWAYS A BETTER WAY



Toyota Mirai

World Hydrogen Energy Conference - Test & Drive

(Zaragoza, Junio 2016)





BMW H₂ Fuel Cell Vehicle

World Hydrogen Energy Conference - Test & Drive

(Zaragoza, Junio 2016)



Hyundai ix35 Fuel Cell: the future driven today

This mid-sized SUV is the first hydrogen fuel-cell car that you can buy in the UK, and emits nothing but water vapour from its exhaust pipe



The Hyundai ix35 Fuel Cell is on sale now, priced at £53,105

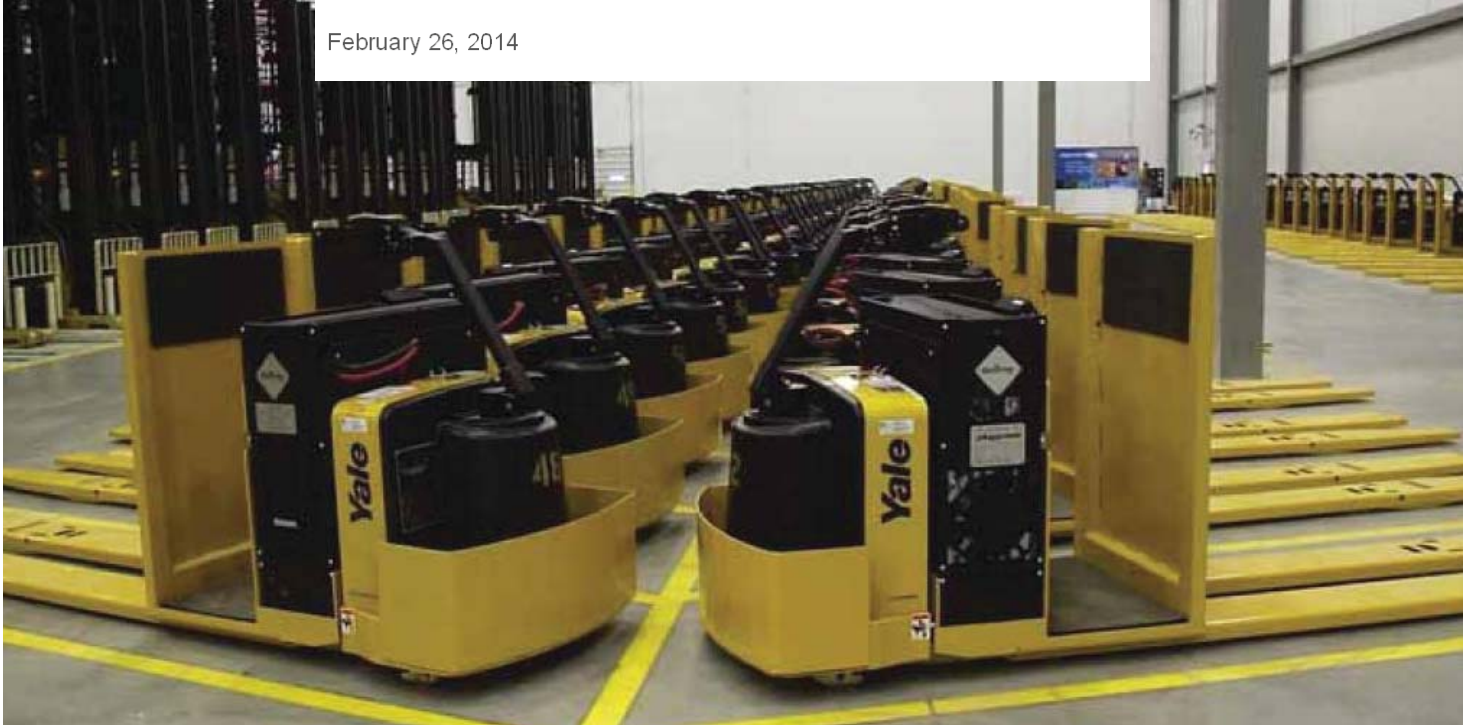
6 October 2015 • 7:00am

Plug Power receives milestone order from Walmart

Multi-site hydrogen fuel cell deployment includes 1,738 fuel cell battery replacement units for lift trucks.

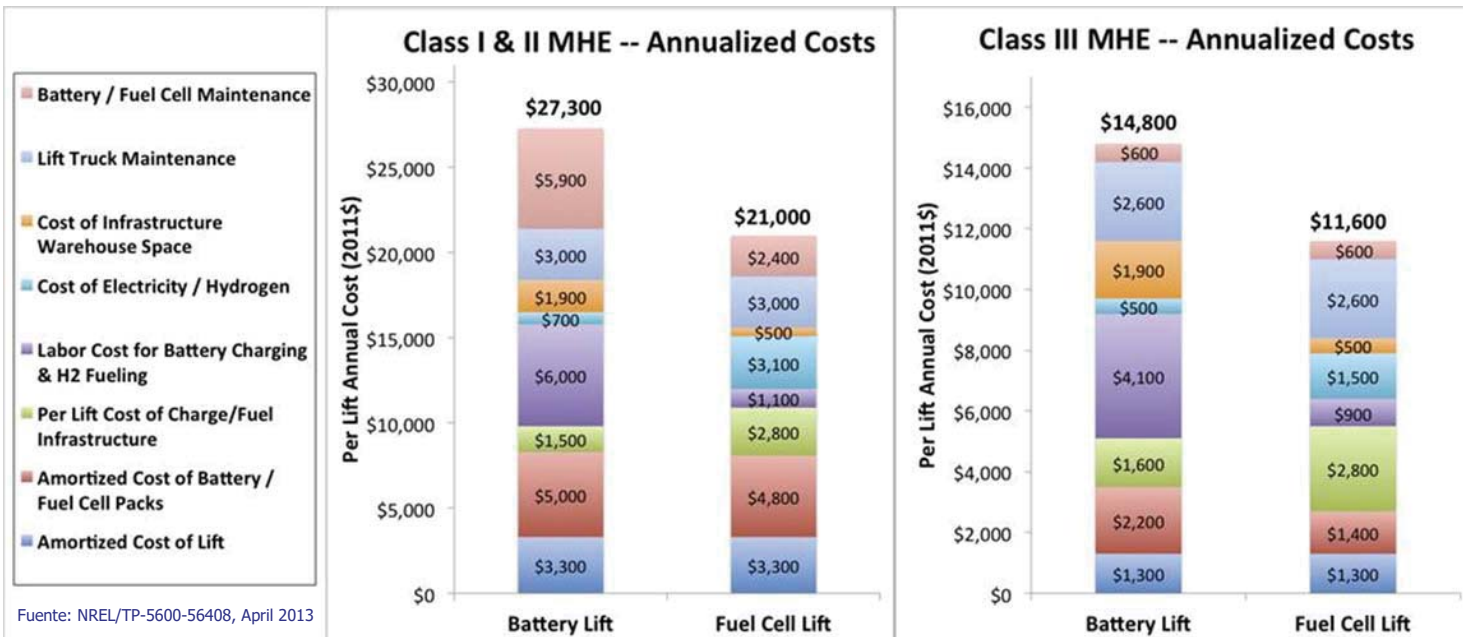
By Modern Materials Handling Staff

February 26, 2014



Costo Total de la Propiedad de carretillas clase I, II y III

(Escenario de despliegue intensivo: 100 carretillas, 3 turnos/día, 350 días/año)



H₂ y pilas de combustible en aplicaciones estacionarias

Dos ejemplos

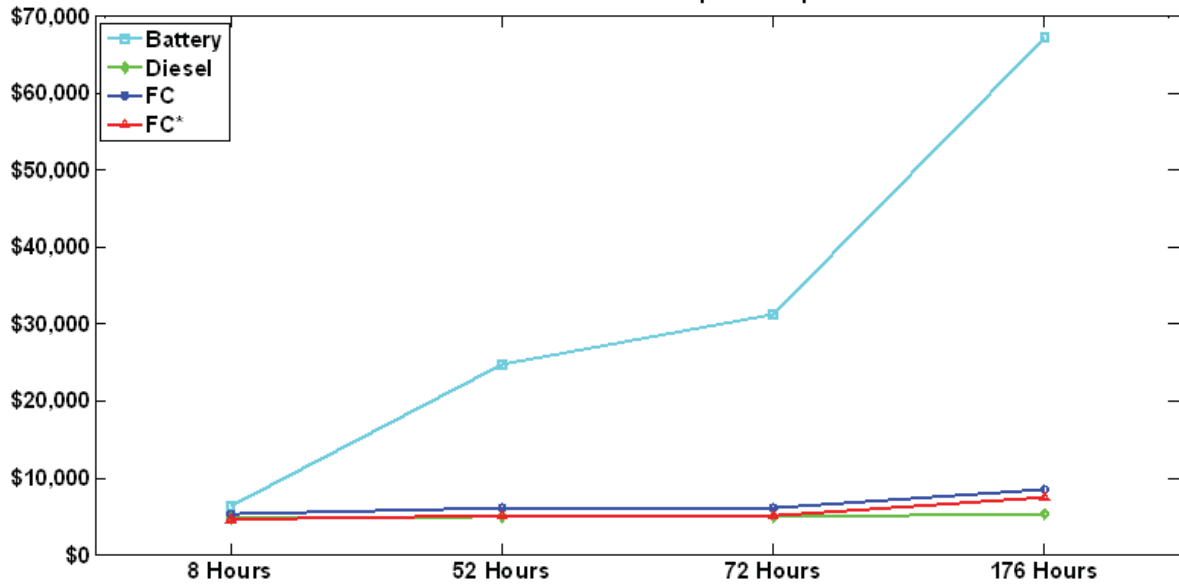
- ✓ **Sistemas de potencia ininterrumpida para respaldo y protección de cargas críticas** (telecomunicación, computación, equipos médicos, ...)
- ✓ **Micro-cogeneradores** (aplicación residencial).



Fuente: Iberdrola, EHEC 2014



Annualized Cost of Ownership - Backup Power



Battery	\$6300	\$24800	\$31300	\$67200
Diesel	\$4700	\$4900	\$4900	\$5300
FC	\$5300	\$6100	\$6100	\$8500
FC*	\$4600	\$5100	\$5100	\$7400

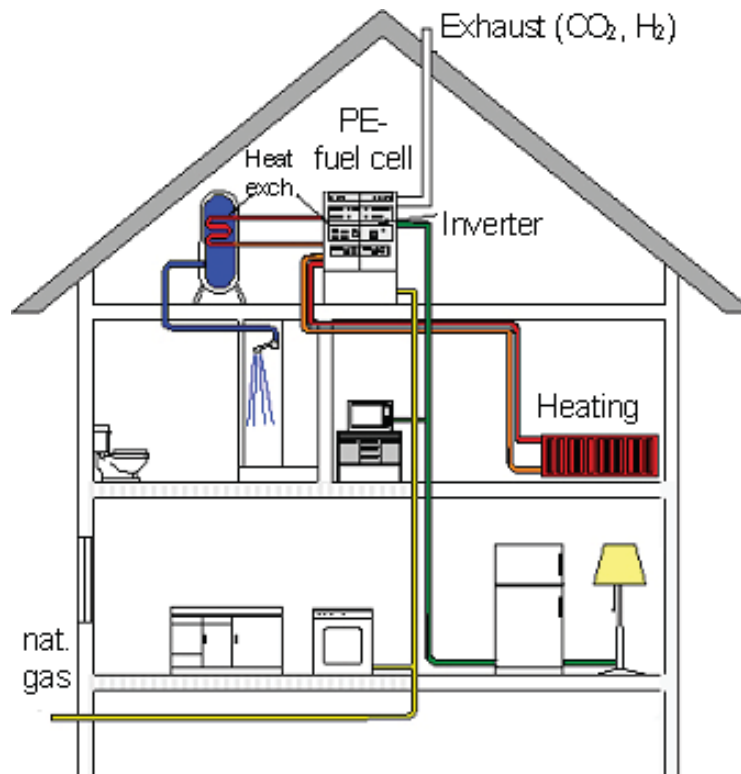


NREL 049_00_23

Created: Apr-07-14 10:05 AM | Data Through: 2013Q4

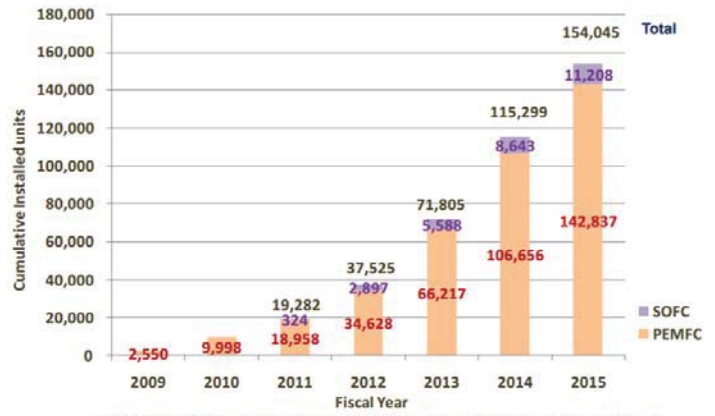
Fuente: NREL/TP-5400-62025, June 2014

Cogeneración Residencial





▲ Joint announcement ceremony to promote ENE FARM held by Tokyo Gas and five partner companies on January 28



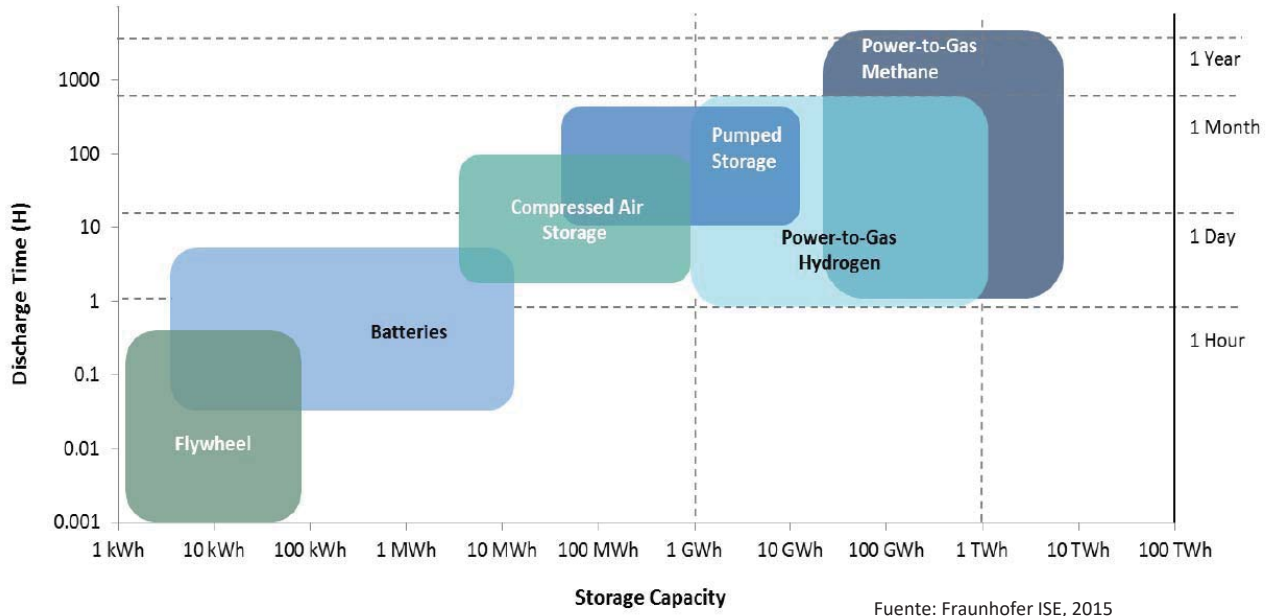
Source: Agency for Natural Resources and Energy, Ministry of Economy, Trade and Industry



El hidrógeno para almacenamiento de energía

- *Integración de renovables*
- Power to Fuel, Power to Power, Power to Gas

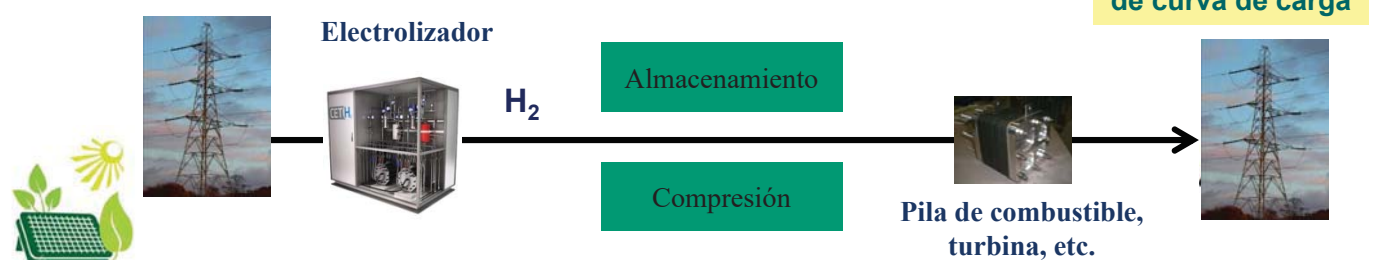
El hidrógeno **permite almacenar energía de bajo carbono** tanto en pequeñas cantidades bajo requisitos de espacio y peso restringidos, como es el caso de los vehículos eléctricos de pila de combustible (FCEVs), como en grandes cantidades durante largos períodos de tiempo, para su uso en generación de potencia y calor:
“Power to Fuel” , **“Power to Power”** o **“Power to Gas”**.



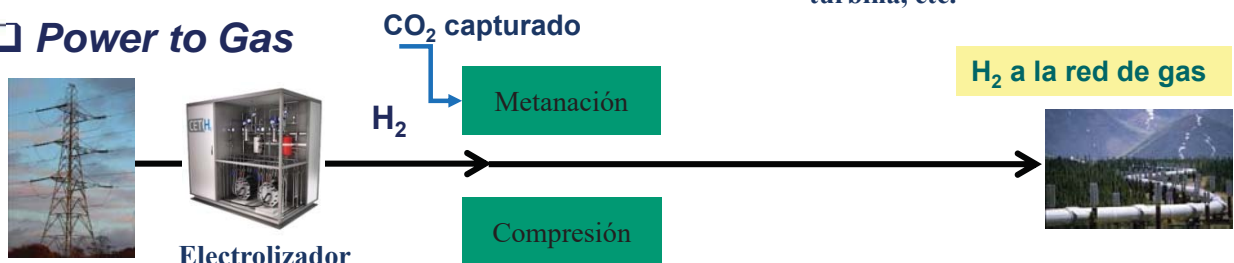
Power to Fuel



Power to Power

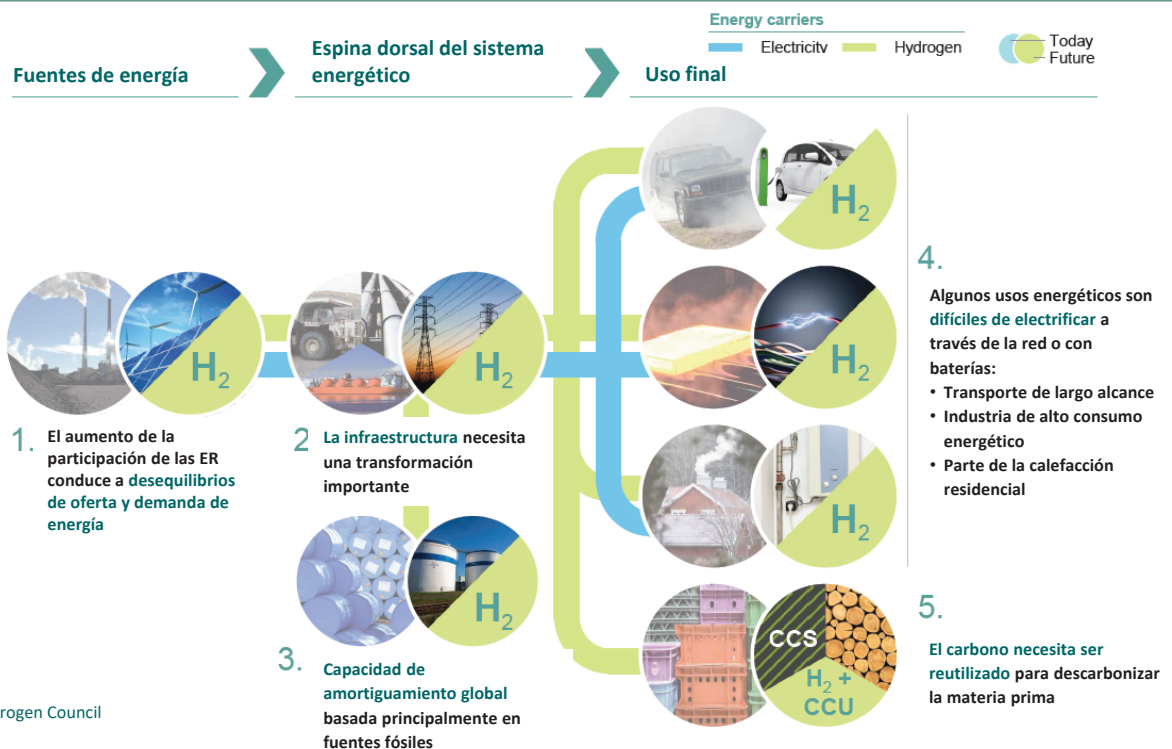


Power to Gas



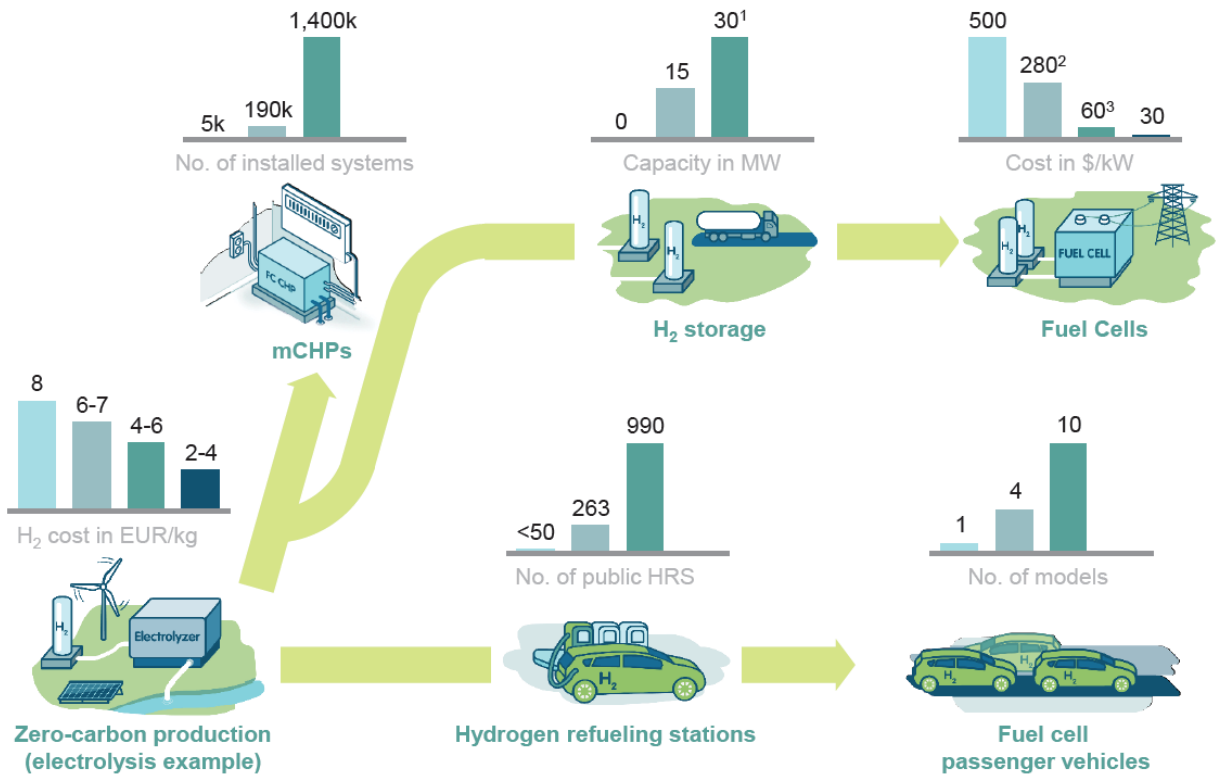
Conclusiones

Hidrógeno como portador de energía de emisión cero, necesario para superar los desafíos de la transición energética



Fuente: Hydrogen Council

2010 2016 2020 2050



¹ Extrapolating the growth to 20 MW in 2017/2018 from outstanding projects, ² Assuming 20k units production per year, ³ Assuming 100k units production per year in 2025
 Source: IEA, E4Tech, US DOE, Press research Fuente: Hydrogen Council

Muchas gracias por vuestra atención

La opción hidrógeno

Antonio González García-Conde
 Vice-Presidente de la Asociación Española del Hidrógeno
 Director Departamento Aeronaves – INTA