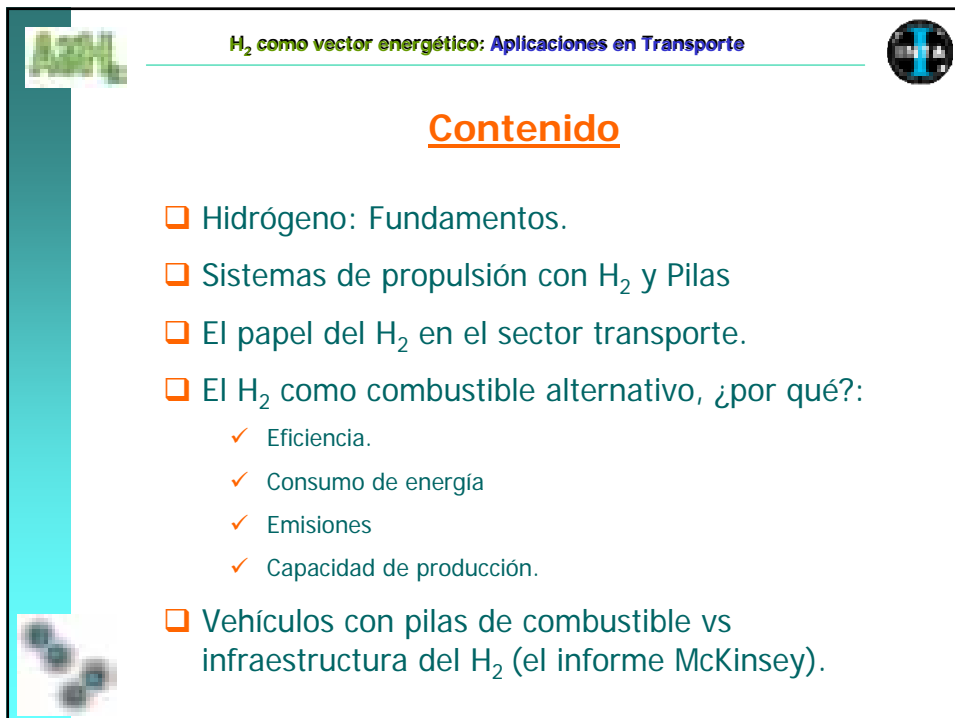




# El hidrógeno como vector energético y su aplicación al transporte

Antonio González García-Conde  
*Vice-presidente de la Asociación Española del Hidrógeno*  
*Director del Departamento de Aerodinámica y Propulsión del INTA*

Salón Vehículo y Combustible Alternativos. Valladolid, 6 de octubre de 2011




**H<sub>2</sub> como vector energético: Aplicaciones en Transporte**

## Contenido

- ❑ Hidrógeno: Fundamentos.
- ❑ Sistemas de propulsión con H<sub>2</sub> y Pilas
- ❑ El papel del H<sub>2</sub> en el sector transporte.
- ❑ El H<sub>2</sub> como combustible alternativo, ¿por qué?:
  - ✓ Eficiencia.
  - ✓ Consumo de energía
  - ✓ Emisiones
  - ✓ Capacidad de producción.
- ❑ Vehículos con pilas de combustible vs infraestructura del H<sub>2</sub> (el informe McKinsey).

**HIDROGENO: Fundamentos**

1.  Es el elemento más abundante del Universo, pero no se encuentra libre en la Tierra.

**No es un recurso natural, el hidrógeno hay que producirlo**



2. El hidrógeno puede producirse a partir de muy variados recursos (agua, recursos fósiles, biomasa, microorganismos, ...),



siguiendo diversos procesos de transformación (electrólisis, gasificación, reformado, fotoelectrólisis, fotobiólisis, ...)

**Por la diversidad de recursos, la utilización del vector H<sub>2</sub> implica mayor seguridad de abastecimiento energético y mayor acceso a la energía.**

**Todos los procesos de transformación suponen un gasto energético, cuyos costes son asumibles (al igual que sucede con la electricidad), pero a diferencia de la electricidad, el hidrógeno es almacenable**

**HIDROGENO: Fundamentos**

3. El almacenamiento, transporte y distribución de hidrógeno no presenta dificultades técnicas (comprimido, licuado, hidruros metálicos, compuestos químicos intermedios,...), pero **es caro**.



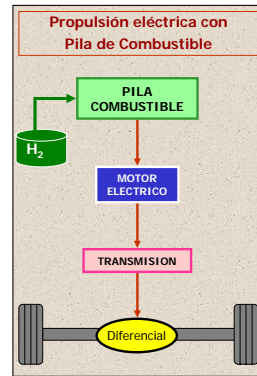
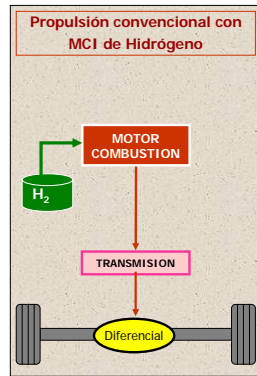
4. Para su utilización el hidrógeno puede combinarse con el oxígeno por procesos térmicos o electroquímicos para generar energía mecánica o eléctrica con una **emisión solo de vapor de agua**.

**En su uso final el hidrógeno es intrínsecamente limpio y si se tiene en cuenta toda la cadena desde su producción al uso final, el hidrógeno como vector ofrece reducciones de emisiones de GEI.**

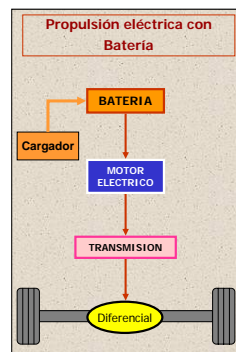


**HIDROGENO: Fundamentos**

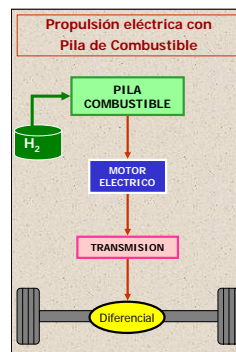
5. En aplicaciones de sistemas de propulsión para transporte terrestre, el hidrógeno puede utilizarse en **MCI** (Motores de Combustión Interna) configurando una cadena de **tracción convencional**, o con **Pilas de Combustible** para configuraciones de **tracción eléctrica**



**Sistemas de propulsión basados en H<sub>2</sub> y PC: Configuraciones**

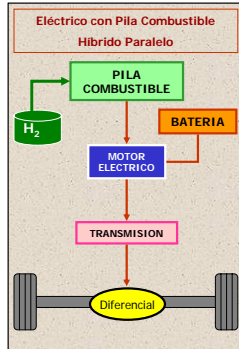


**“Full Power”**  
 La PC se dimensiona para suministrar **toda la potencia** necesaria para mover el vehículo.



**VEHICULO ELECTRICO PURO**

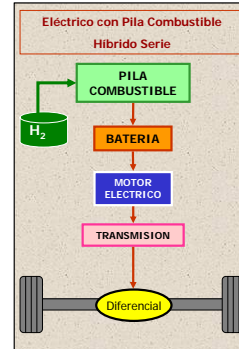
Sistemas de propulsión basados en H<sub>2</sub> y PC: Configuraciones



La pila de combustible se dimensiona para suministrar la potencia de cruceo y la batería la potencia pico.

**“Base Load”**

La PC se dimensiona para suministrar solo la **potencia base** que requiere el vehículo. Los picos de potencia los suministra un dispositivo de almacenamiento (batería, supercondensador)

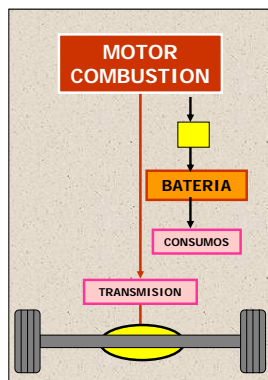


La pila de combustible se dimensiona solo para recargar la batería. La batería suministra toda la potencia al motor eléctrico

**VEHICULO ELECTRICO HIBRIDO**

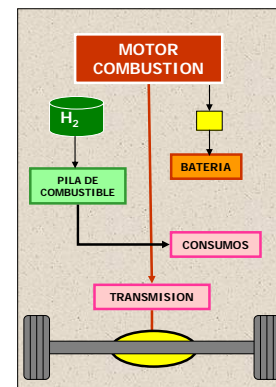
Combina dos sistemas de propulsión eléctrica: la Pila de Combustible y la batería o el supercondensador.

Sistemas de propulsión basados en H<sub>2</sub> y PC: APUs



**APUs**

La potencia necesaria para la propulsión es suministrada por un motor convencional y la pila de combustible se encarga de proporcionar toda o parte de la potencia eléctrica que necesitan los equipos de a bordo



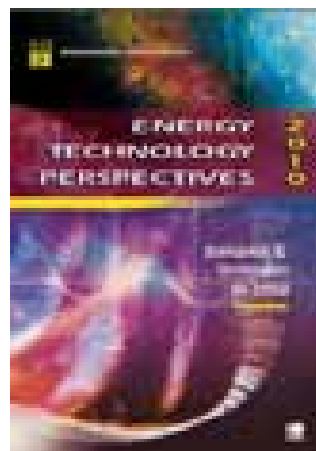
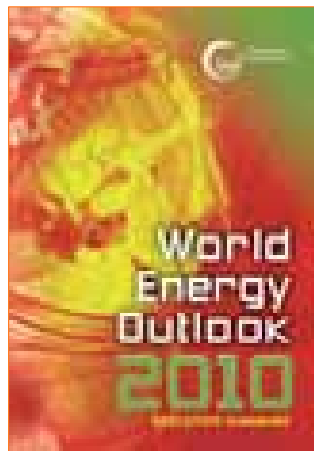
Esta es una configuración que puede ser muy adecuada para grandes vehículos (camiones, trenes, aviones, etc.) al objeto de alimentar los consumos eléctricos con el motor principal apagado.



¿ Qué papel jugará el hidrógeno en el Sector Transporte dentro del contexto energético del futuro ?



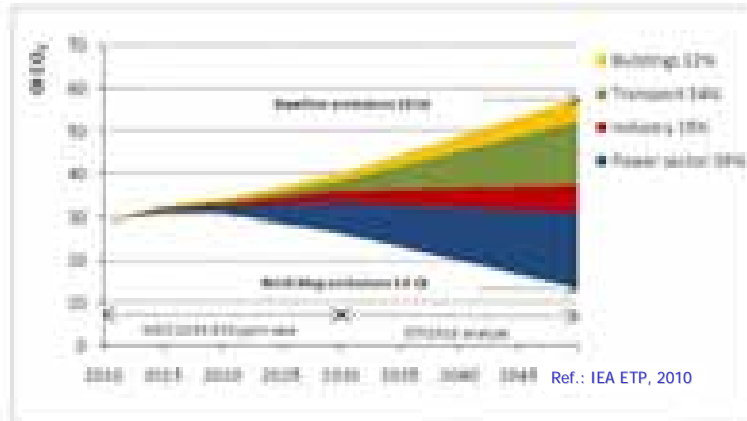
Agencia Internacional de la Energía





### Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> energéticas entre los escenarios "Baseline" y "Blue Map"

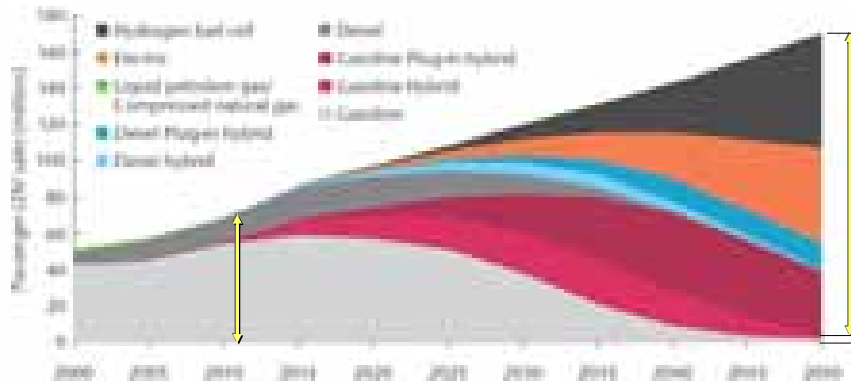
(por sectores, 2007-2050)



**Punto clave: La cuota de reducción de emisiones de los sectores de uso final de la energía aumenta entre 2030 y 2050**



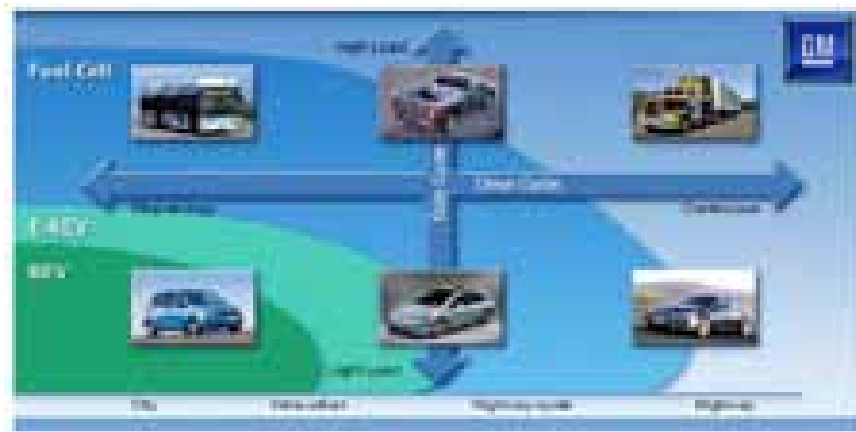
Ventas anuales de vehículos ligeros (LDV) por tipo de tecnología  
"BLUE MAP Scenario"



Source: IEA, 2009

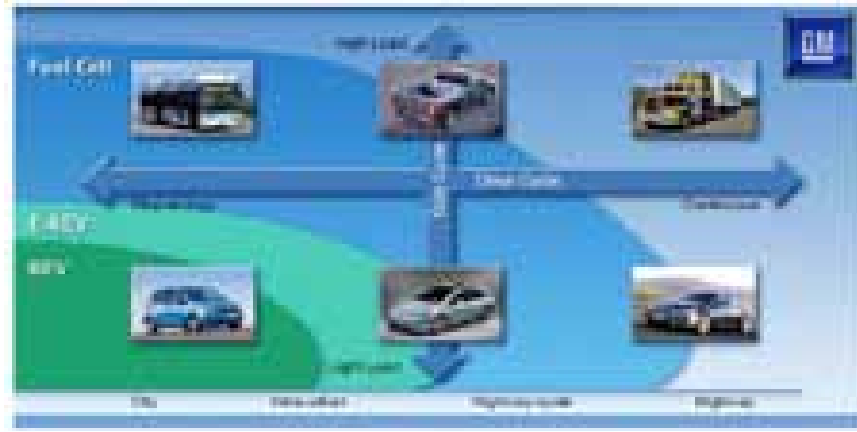
Ref.: IEA Technology Roadmap: EV and PHEV, 2010

**Punto clave: Serán necesarios vehículos a hidrógeno y pilas de combustible además de vehículos eléctricos e híbridos.**



**No existe una solución única, depende del:**

- **Rango de Operación:** Urbano, interurbano o autovía-largo recorrido
- **Ciclo de Conducción:** Continuo o Arranque-parada.
- **Nivel de carga exigida:** Vehículo ligeros o pesados.



**Vehículos ligeros:** Las PC aportan mas autonomía que las baterías.  
**Transporte urbano:** Las PC permiten alcanzar mayores cargas.  
**Vehículos pesados:** Las PC y las baterías están excluidas para la tracción.  
 Las PC pueden utilizarse como APUs

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

## Sistemas de Propulsión Terrestre basados en H<sub>2</sub> y Pilas de Combustible

- Eficiencia -



## Sistemas de propulsión basados en H<sub>2</sub> 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.

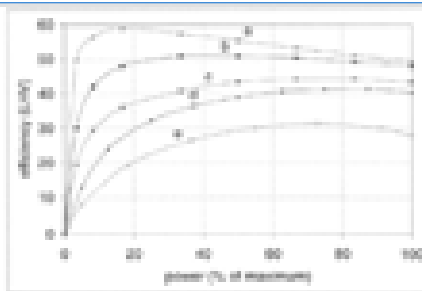
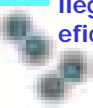


FIGURE 10.1. Comparison of the efficiency of fuel cells and internal combustion engines.

- (a) fuel cell systems operating at low pressure and low temperatures,
- (b) fuel cell systems operating at high pressure and high temperatures,
- (c) fuel cell systems with an onboard fuel processor,
- (d) compression engines (internal combustion engine (diesel)),
- (e) spark engines (internal combustion engine (gasoline)).

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



## Sistemas de Propulsión Terrestre basados en H<sub>2</sub> y Pilas de Combustible

### - Consumo de Energía -



## Sistemas de propulsión basados en H<sub>2</sub> y PC: Consumo Energía

Consumo de Energía "Piso a Rueda"



- 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 H<sub>2</sub> y Pilas de Combustible - Emisiones -



## Sistemas de propulsión basados en H<sub>2</sub> y PC: Emisiones

Emisiones de Gases Invernadero en Perspectiva "Well to Wheel"



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.

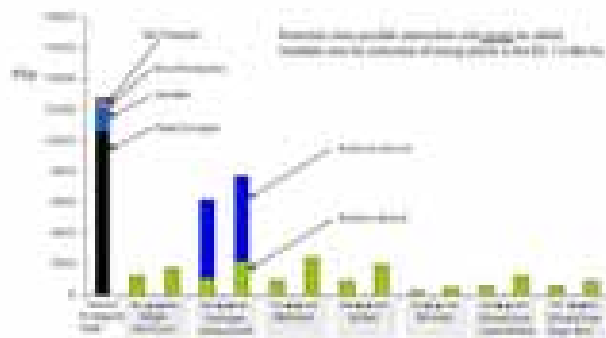
Source: SAE Paper - OCT2008



Sistemas de Propulsión Terrestre basados en H<sub>2</sub> y Pilas de Combustible  
 - Capacidad de producción de H<sub>2</sub> -



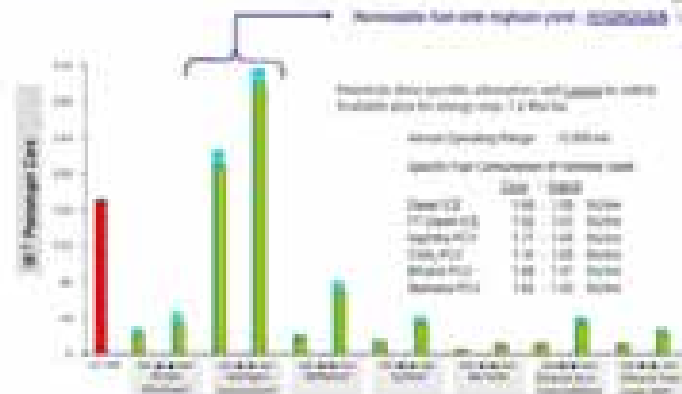
Potencial de Producción de Combustibles de Automoción de origen Renovable para Europa después de 2020  
 - Escenario Alternativo de LBST [EU15] -



¿ Es relevante el H<sub>2</sub> frente a otros combustibles alternativos?



Nº de Vehículos de pasajeros que pueden alimentarse a partir de Recursos Energéticos Renovables en Europa después de 2020 [EU15]



¿ Es relevante el H<sub>2</sub> frente a otros combustibles alternativos?

Vehículos con Pilas de Combustible

VS

- Infraestructura del H<sub>2</sub> -

### Vehículos con Pilas de Combustible vs Infraestructura de H<sub>2</sub>

Del análisis del pozo a las ruedas se puede concluir que la mayor ventaja en términos de reducción de emisiones y de aumento de la eficiencia, se logra con sistemas de propulsión con pila de combustible que utilicen hidrógeno obtenido a partir de biomasa o a partir de agua por electrólisis con energía eólica

La falta de una infraestructura para la producción, transporte, distribución y suministro de hidrógeno se considera el mayor obstáculo para la introducción de los vehículos con pila de combustible

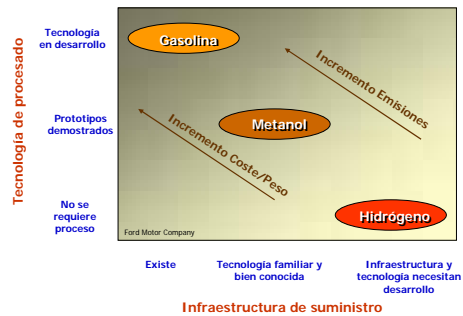
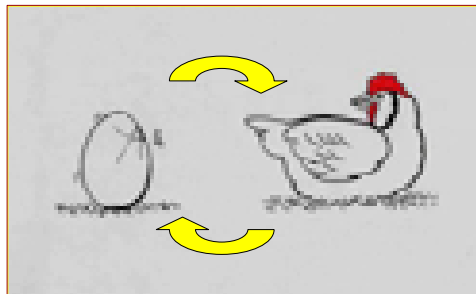


Figura 9: Comparación cualitativa de combustibles a utilizar en vehículos con pila de combustible (Fuente: Ford Motor Company)

### Vehículos con Pilas de Combustible vs Infraestructura de H<sub>2</sub>

#### El círculo vicioso ...

No se fabricarán vehículos con pilas de combustible mientras no haya una infraestructura suficiente de estaciones de repostado de hidrógeno



No se construirá infraestructura de estaciones de repostado de hidrógeno mientras no haya suficientes vehículos con pilas de combustible para repostar.

... ya se empieza a superar

Vehículos con Pilas de Combustible vs Infraestructura de H<sub>2</sub>

**La superación del círculo vicioso**

Comercialización de FCVs y creación infraestructura H<sub>2</sub> al mismo tiempo y con la misma dimensión



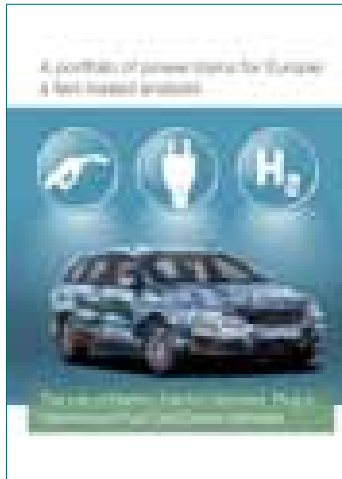
Vehículos con Pilas de Combustible vs Infraestructura de H<sub>2</sub>

**La superación del círculo vicioso**

Inicio de creación de infraestructura de H<sub>2</sub> en Europa "H<sub>2</sub> Mobility"



**El informe McKinsey**



Noviembre 2010

**Metodología:**

- ❑ Motorizaciones: ICE, BEV, PHEV y FCV
- ❑ Segmentos comerciales: A, B, C, J1 y J2
- ❑ Análisis de costes, emisiones, eficiencia energética y prestaciones
- ❑ Análisis del **Pozo a la Rueda**
- ❑ > 10.000 datos empresariales confidenciales

Industry participants

Car OEMs	
Oil and Gas	
Utilities	
Industrial gas companies Equipment OEMs	
Wind	
Electrolyser companies	
NGOs, GOs	

**Vehículos con H<sub>2</sub> y Pilas de Combustible: El estado del arte**

**Gestión del calor**

Los sistemas actuales han reducido las pérdidas de calor y el calor remanente se utiliza para el control climático del vehículo



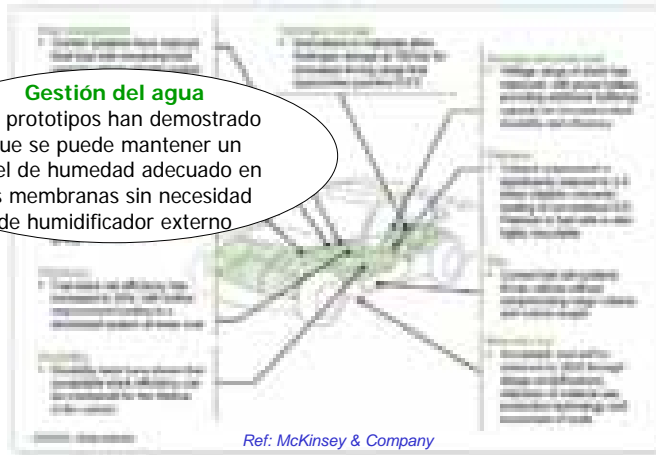
Ref: McKinsey & Company

**Habiéndose resuelto todos los problemas tecnológicos, el punto de mira de los vehículos con pilas de combustible ha cambiado de la demostración al despliegue comercial**

Vehículos con H<sub>2</sub> y Pilas de Combustible: El estado del arte

**Gestión del agua**

Los prototipos han demostrado que se puede mantener un nivel de humedad adecuado en las membranas sin necesidad de humidificador externo



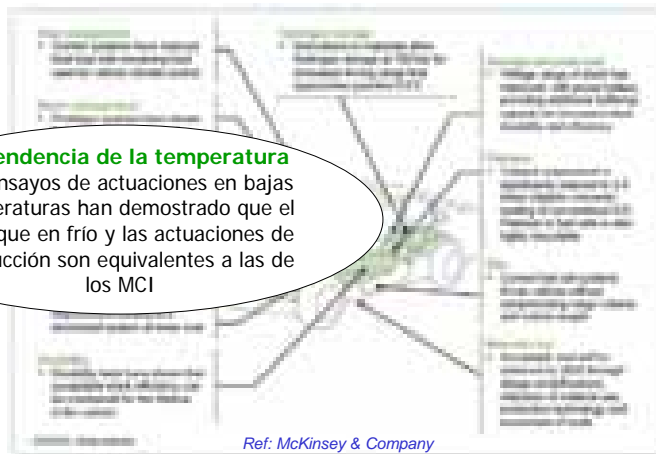
Ref: McKinsey & Company

Habiéndose resuelto todos los problemas tecnológicos, el punto de mira de los vehículos con pilas de combustible ha cambiado de la demostración al despliegue comercial

Vehículos con H<sub>2</sub> y Pilas de Combustible: El estado del arte

**Dependencia de la temperatura**

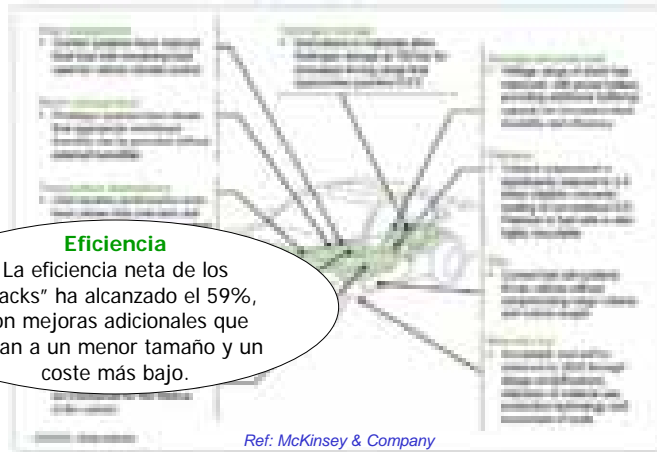
Los ensayos de actuaciones en bajas temperaturas han demostrado que el arranque en frío y las actuaciones de conducción son equivalentes a las de los MCI



Ref: McKinsey & Company

Habiéndose resuelto todos los problemas tecnológicos, el punto de mira de los vehículos con pilas de combustible ha cambiado de la demostración al despliegue comercial

Vehículos con H<sub>2</sub> y Pilas de Combustible: El estado del arte



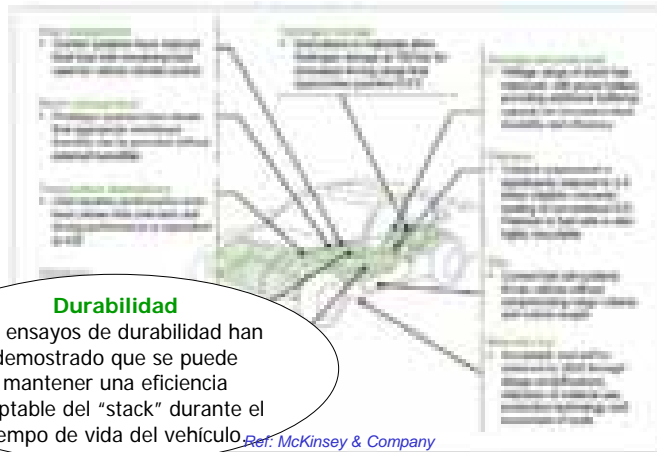
**Eficiencia**

La eficiencia neta de los "stacks" ha alcanzado el 59%, con mejoras adicionales que llevan a un menor tamaño y un coste más bajo.

Ref: McKinsey & Company

Habiéndose resuelto todos los problemas tecnológicos, el punto de mira de los vehículos con pilas de combustible ha cambiado de la demostración al despliegue comercial

Vehículos con H<sub>2</sub> y Pilas de Combustible: El estado del arte

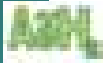


**Durabilidad**

Los ensayos de durabilidad han demostrado que se puede mantener una eficiencia aceptable del "stack" durante el tiempo de vida del vehículo.

Ref: McKinsey & Company

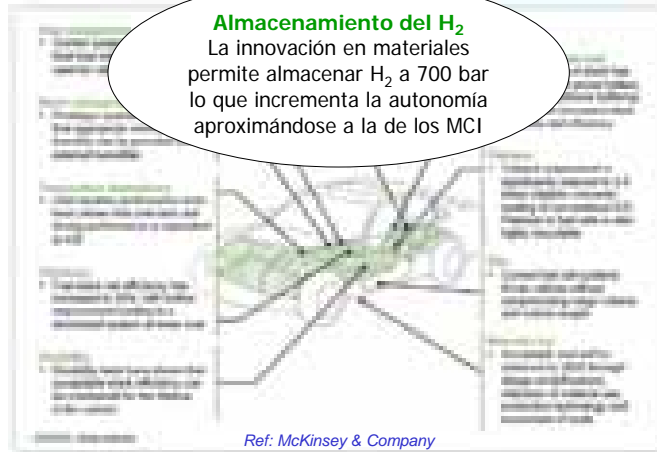
Habiéndose resuelto todos los problemas tecnológicos, el punto de mira de los vehículos con pilas de combustible ha cambiado de la demostración al despliegue comercial



Vehículos con H<sub>2</sub> y Pilas de Combustible: El estado del arte

**Almacenamiento del H<sub>2</sub>**

La innovación en materiales permite almacenar H<sub>2</sub> a 700 bar lo que incrementa la autonomía aproximándose a la de los MCI



Ref: McKinsey & Company

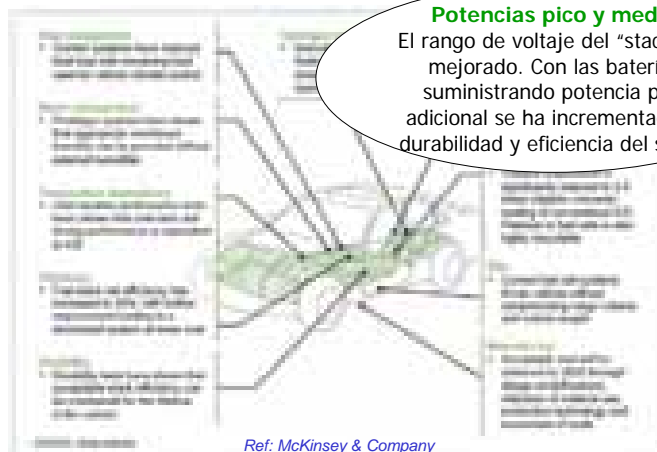
Habiéndose resuelto todos los problemas tecnológicos, el punto de mira de los vehículos con pilas de combustible ha cambiado de la demostración al despliegue comercial



Vehículos con H<sub>2</sub> y Pilas de Combustible: El estado del arte

**Potencias pico y media**

El rango de voltaje del "stack" ha mejorado. Con las baterías suministrando potencia pico adicional se ha incrementado la durabilidad y eficiencia del stack.

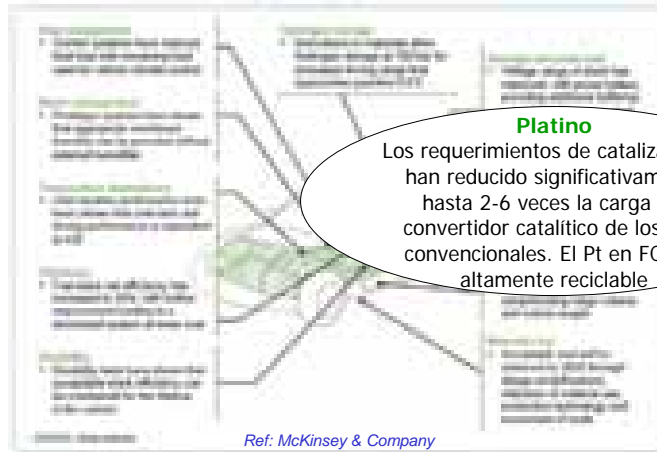


Ref: McKinsey & Company

Habiéndose resuelto todos los problemas tecnológicos, el punto de mira de los vehículos con pilas de combustible ha cambiado de la demostración al despliegue comercial



Vehículos con H<sub>2</sub> y Pilas de Combustible: El estado del arte

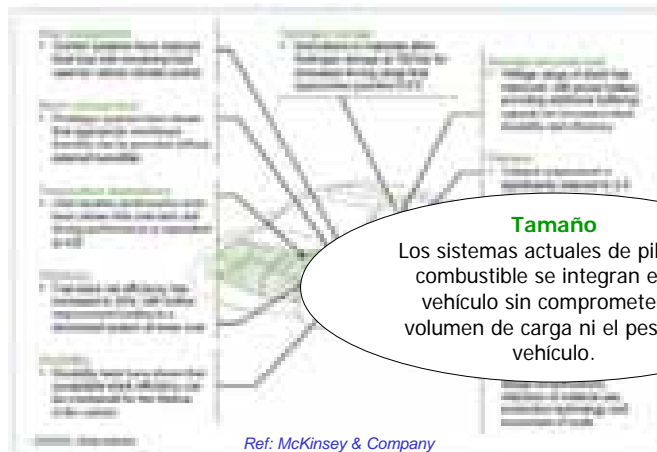


**Platino**  
Los requerimientos de catalizador se han reducido significativamente hasta 2-6 veces la carga del convertidor catalítico de los MCI convencionales. El Pt en FC's es altamente reciclable

Ref: McKinsey & Company

Habiéndose resuelto todos los problemas tecnológicos, el punto de mira de los vehículos con pilas de combustible ha cambiado de la demostración al despliegue comercial

Vehículos con H<sub>2</sub> y Pilas de Combustible: El estado del arte

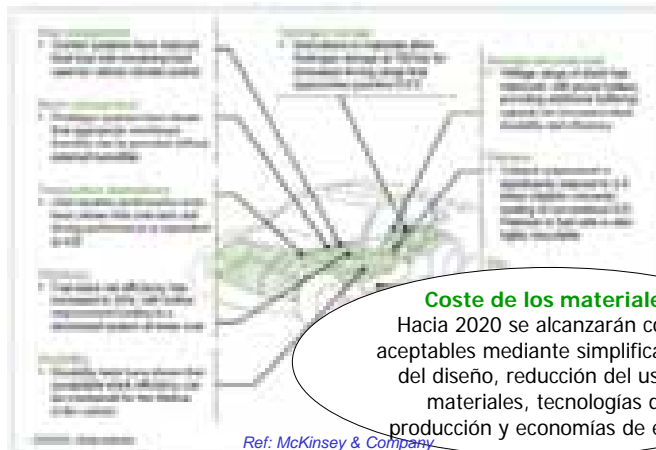


**Tamaño**  
Los sistemas actuales de pilas de combustible se integran en el vehículo sin comprometer el volumen de carga ni el peso del vehículo.

Ref: McKinsey & Company

Habiéndose resuelto todos los problemas tecnológicos, el punto de mira de los vehículos con pilas de combustible ha cambiado de la demostración al despliegue comercial

### Vehículos con H<sub>2</sub> y Pilas de Combustible: El estado del arte



**Coste de los materiales**  
Hacia 2020 se alcanzarán costes aceptables mediante simplificaciones del diseño, reducción del uso de materiales, tecnologías de producción y economías de escala

*Ref: McKinsey & Company*

**Habiéndose resuelto todos los problemas tecnológicos, el punto de mira de los vehículos con pilas de combustible ha cambiado de la demostración al despliegue comercial**

**AeH<sub>2</sub>**  
Asociación Española de Hidrógeno

85 socios individuales

[www.aeh2.org](http://www.aeh2.org)

## Actividades: Educación

La Asociación contribuye a la educación y a la formación dentro de su campo de actuación.

Periódicamente, la AeH2 organiza un **Curso sobre Hidrógeno y Pilas de Combustible**, de 160 horas de duración, en formación mixta (presencial y a distancia) o sólo a distancia, con opción de visitas técnicas.

Curso de Hidrógeno y  
Pilas de Combustible  
www.aeh2.com

[www.cursoh2.com](http://www.cursoh2.com)



AeH<sub>2</sub>

## Actividades: Representación



### La Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno y de las Pilas de Combustible

Es una iniciativa promovida por la Asociación Española del Hidrógeno y financiada por el Ministerio de Ciencia e Innovación.

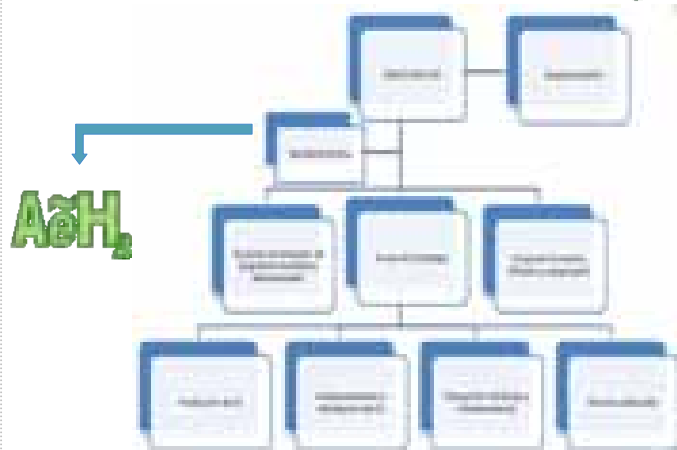
**Objetivo:** facilitar y acelerar el desarrollo y la utilización en España de sistemas basados en pilas de combustible e hidrógeno, en sus diferentes tecnologías.



AeH<sub>2</sub>

## Actividades: Representación

Estructura y forma de trabajo de la PTE HPC



[www.ptehpc.org](http://www.ptehpc.org)



A&H<sub>2</sub>

Gracias por su atención

[www.aeh2.org](http://www.aeh2.org)

A&H<sub>2</sub>