

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

**Jornada sobre biocombustibles aplicados a
la automoción**

28 de noviembre de 2007

Pedro Luis Arias Ergueta
ETS de Ingeniería de Bilbao (UPV/EHU)

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

INDICE:

Introducción

Posibilidades y limitaciones del hidrógeno

Motores de hidrógeno

Sistemas pila de combustible-motor eléctrico

Sistemas de combustión interna

Comparación y alternativas

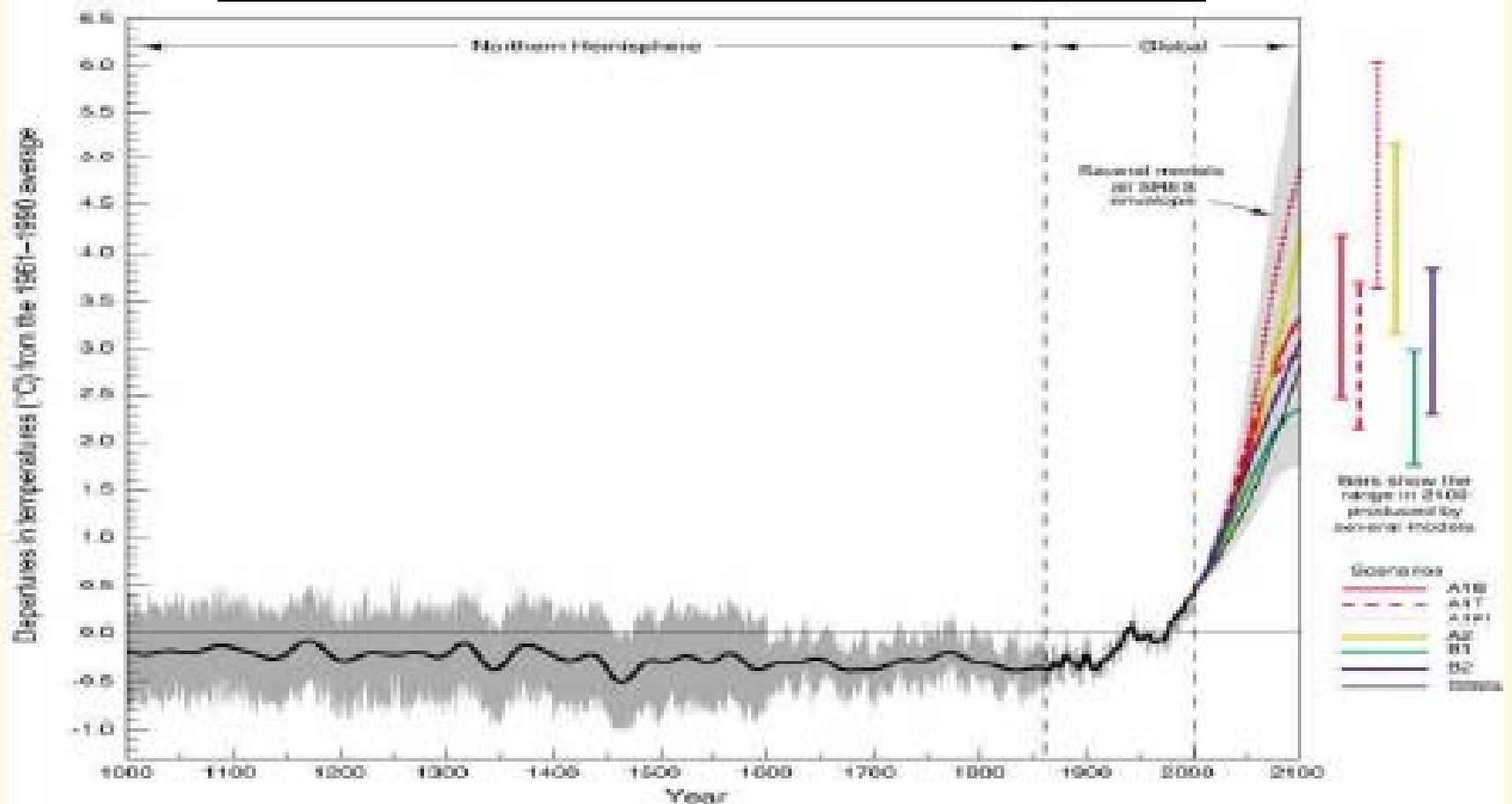
Automóviles disponibles

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

INTRODUCCIÓN

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

La temperatura global aumenta



PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

Algunos efectos ya son perceptibles



Arctic sea ice, 1979



Arctic sea ice, 2003

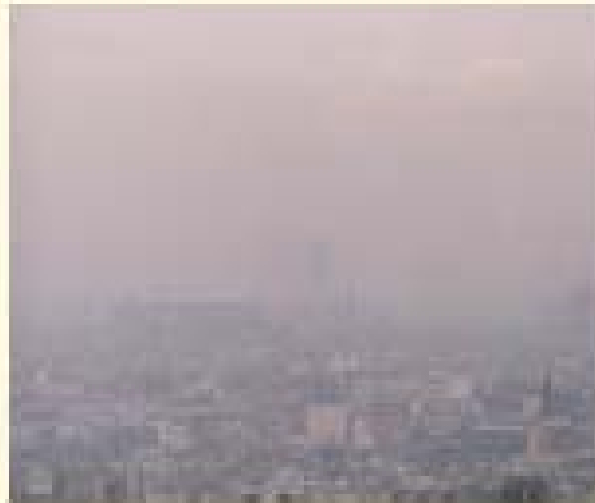
Source: NASA

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

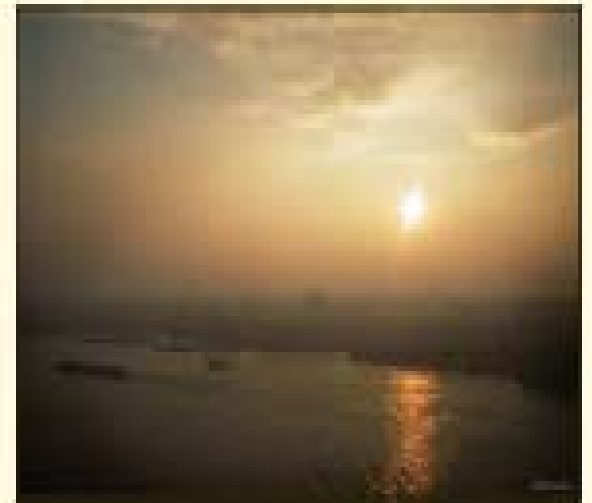
La contaminación urbana: Un problema preocupante



Los Angeles



Paris



Rotterdam

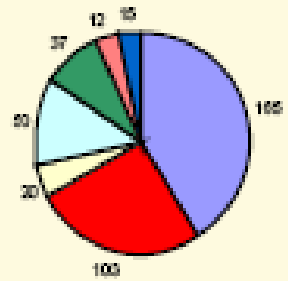
PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

El efecto de las emisiones de los vehículos con motor

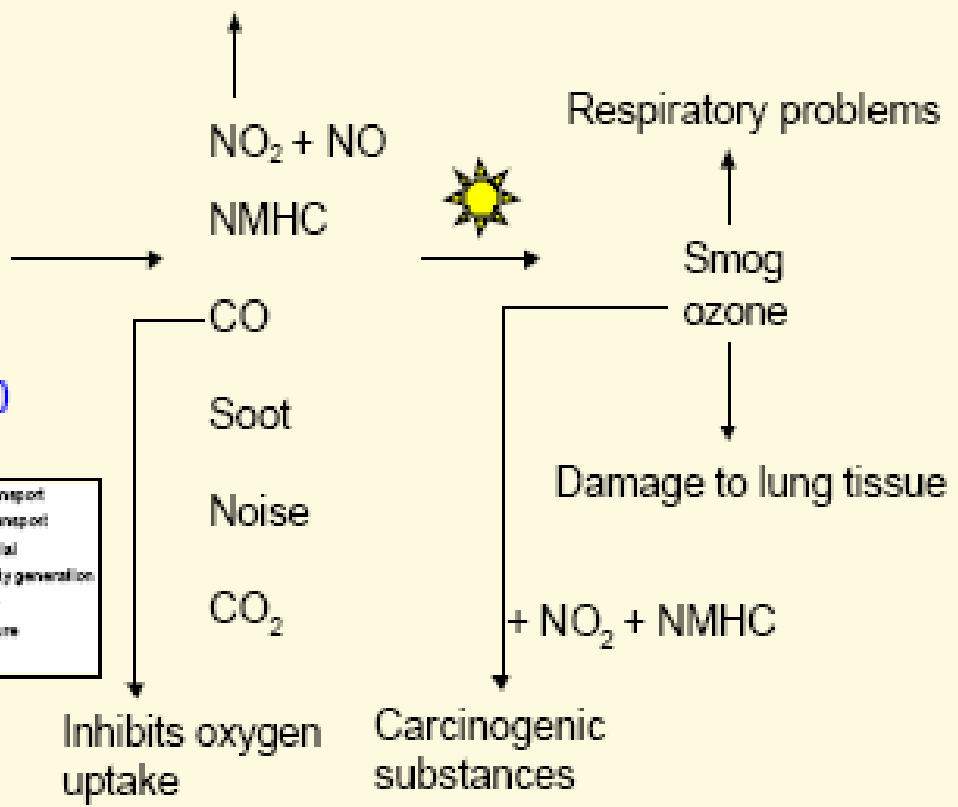
Adverse effect on immune system



NOx emissions per sector, Netherlands 2000

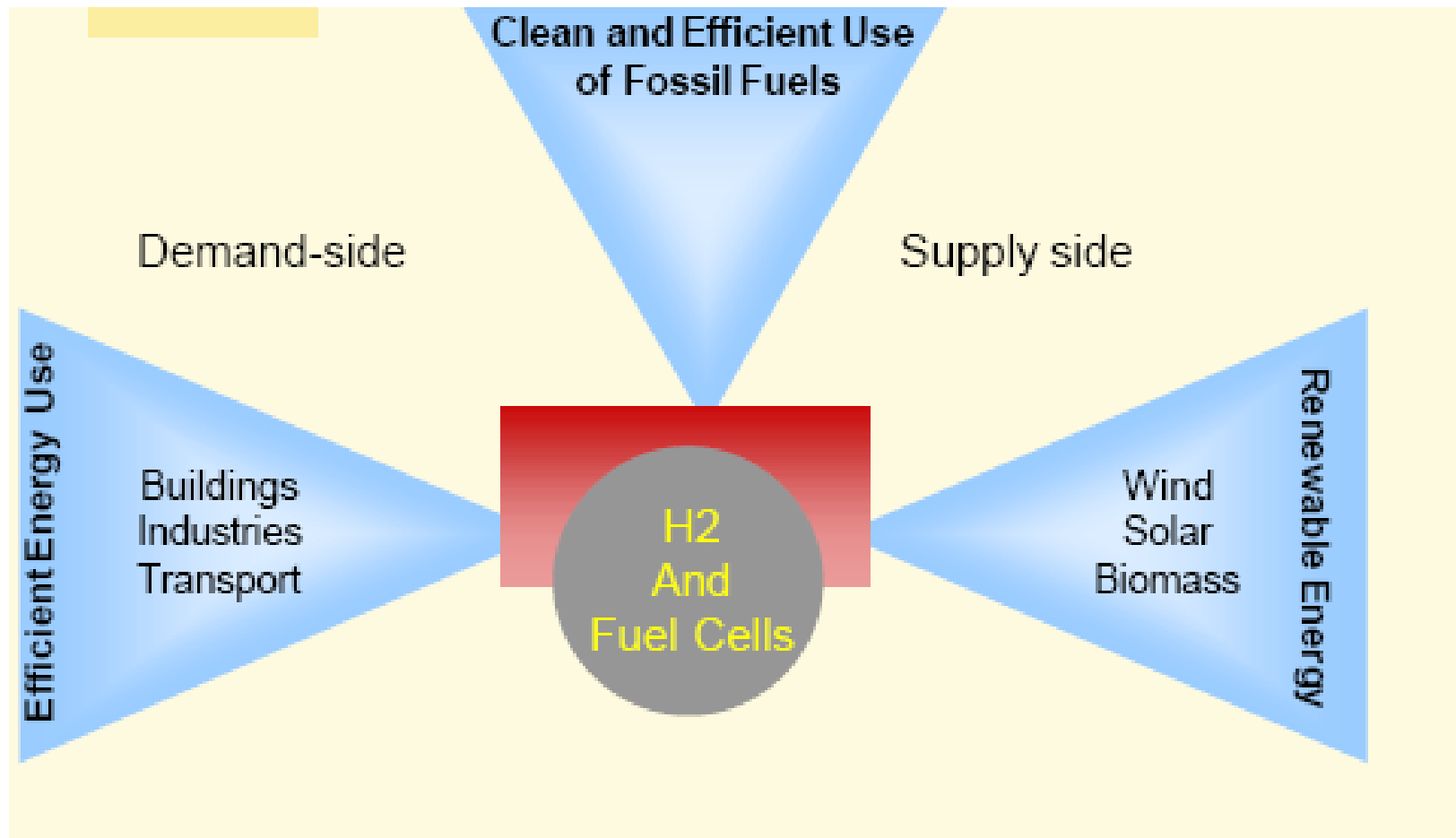


Mln kg



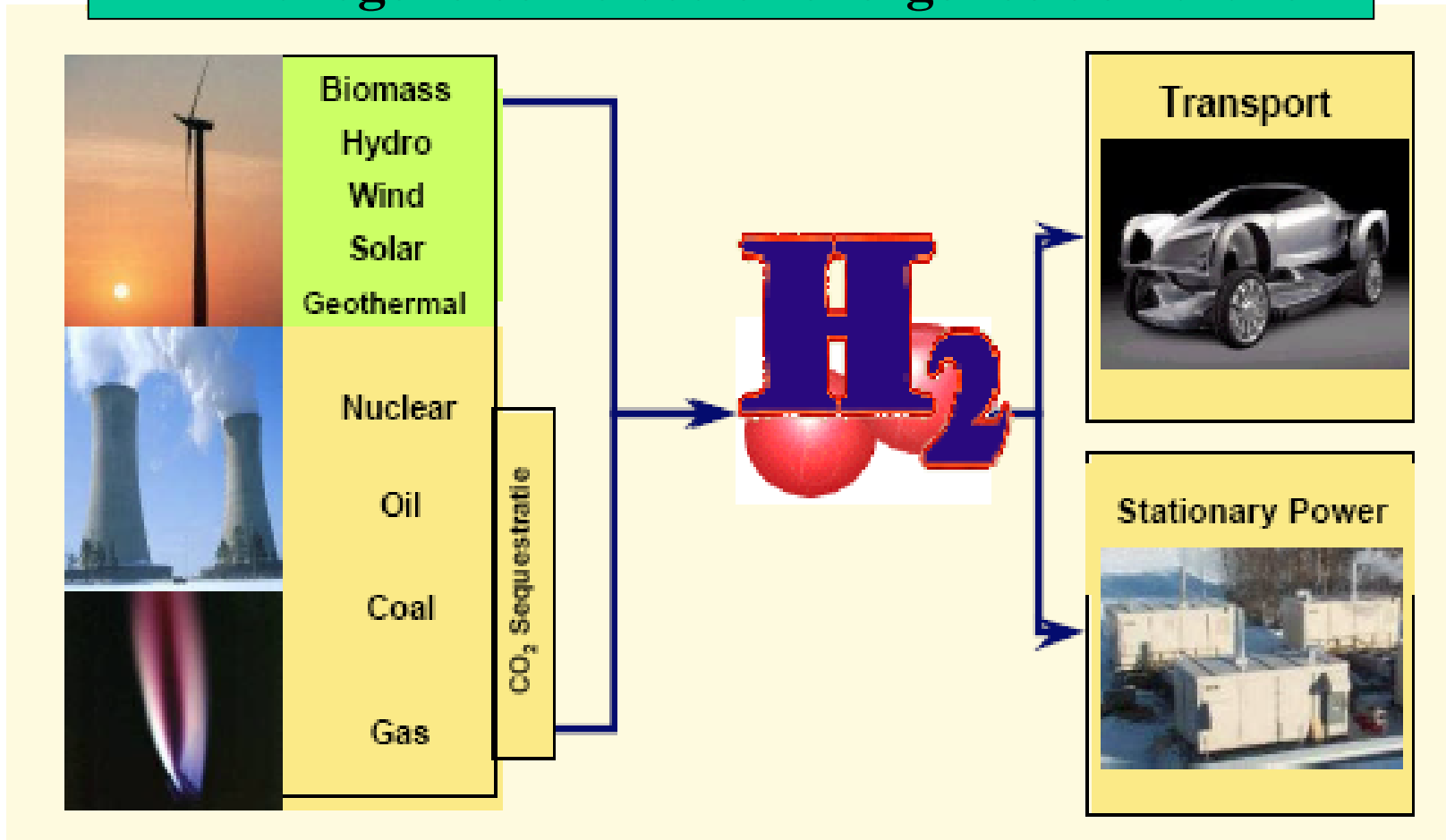
PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

¿Qué podemos hacer?



PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

El hidrógeno como vector energético del futuro



PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

Posibilidades y limitaciones del hidrógeno

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

- El hidrógeno es un vector energético. No existe en cantidades significativas en nuestro planeta. Sin embargo sirve para almacenar y transportar energía, así como para producirla mediante su combustión convencional o electroquímica.
- Sus poderes caloríficos valen:
 - Inferior: 120 MJ/kg
 - Superior: 141.86 MJ/kg

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

- 1 kg de H₂ equivale a 2.78 kg de gasolina, a 2.80 kg de gasóleo y a unos 3 kg de gas natural
- 1 L de H₂ líquido equivale a 0.268 L de gasolina y a 0.236 L de gasóleo
- 1 L de H₂ gas (350 bar y 25 °C) equivale a 0.10 L de gasolina, a 0.09 L de gasóleo y a unos 0.3 L de gas natural (350 bar y 25 °C).

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

- Un electrolizador con un rendimiento del 85 % que produzca $10 \text{ Nm}^3/\text{h}$ de H_2 , consume 35.29 kW y 8.091 kg/h de agua
- Una pila de combustible de 10 kW que tenga un rendimiento global del 45 % consume 7.40 Nm^3 de H_2/h ó 0.667 kg de H_2/h y produce 6.00 kg/h de agua,
- 1 kW eléctrico produce 0.4 kW eléctricos si la energía se almacena como hidrógeno y se recupera de nuevo como energía eléctrica en una pila de combustible.

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

Hidrógeno a partir de energías eólica o fotovoltaica

Example: all vehicles will run on Hydrogen

Vehicle type	Fuel Consumption ICE 2002	Fuel Consumption FCV*
passenger gasoline	185 PJ	75 PJ
Passenger LPG	20 PJ	8 PJ
passenger diesel	75 PJ	40 PJ
heavy duty diesel	200 PJ	106 PJ
Total	480 PJ	230 PJ

* Fuel consumption calculated from GM well to wheel study

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

**Hidrógeno a partir de energías eólica o fotovoltaica
Estimaciones Horizonte 2020**

7500 MW Wind energy renders: 70 PJ electricity
1500 MW Solar PV renders: 5 PJ electricity

Efficiency electrolyser: max 85% (at present: 75%)

75 PJ electricity renders **63.5 PJ hydrogen**

We needed:

230 PJ total (123 PJ passenger cars + 107 PJ Heavy Duty)

Assuming 100% efficiency in distribution and storage

ENERGÍA, COMBUSTIBLES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Hidrógeno a partir de biomasa (2020)

350 PJ Biomass renders:	183 PJ hydrogen
44 PJ wind + PVelectricity renders:	63.5 PJ hydrogen
Total supply Renewable Hydrogen:	245 PJ hydrogen
We needed for transport:	230 PJ total

Assuming 100% efficiency in distribution and storage

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

MOTORES DE HIDRÓGENO

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

La generalización del hidrógeno como combustible en el campo del transporte implica una evolución de diversos sistemas:

- Producción de hidrógeno**
- Almacenamiento, transporte y distribución del hidrógeno**
- Motores alimentados con hidrógeno (directa o indirectamente)**

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

VEHÍCULOS PROPULSADOS POR HIDRÓGENO. 2 TIPOS:

- **Combustión convencional**
- **Conversión electroquímica**

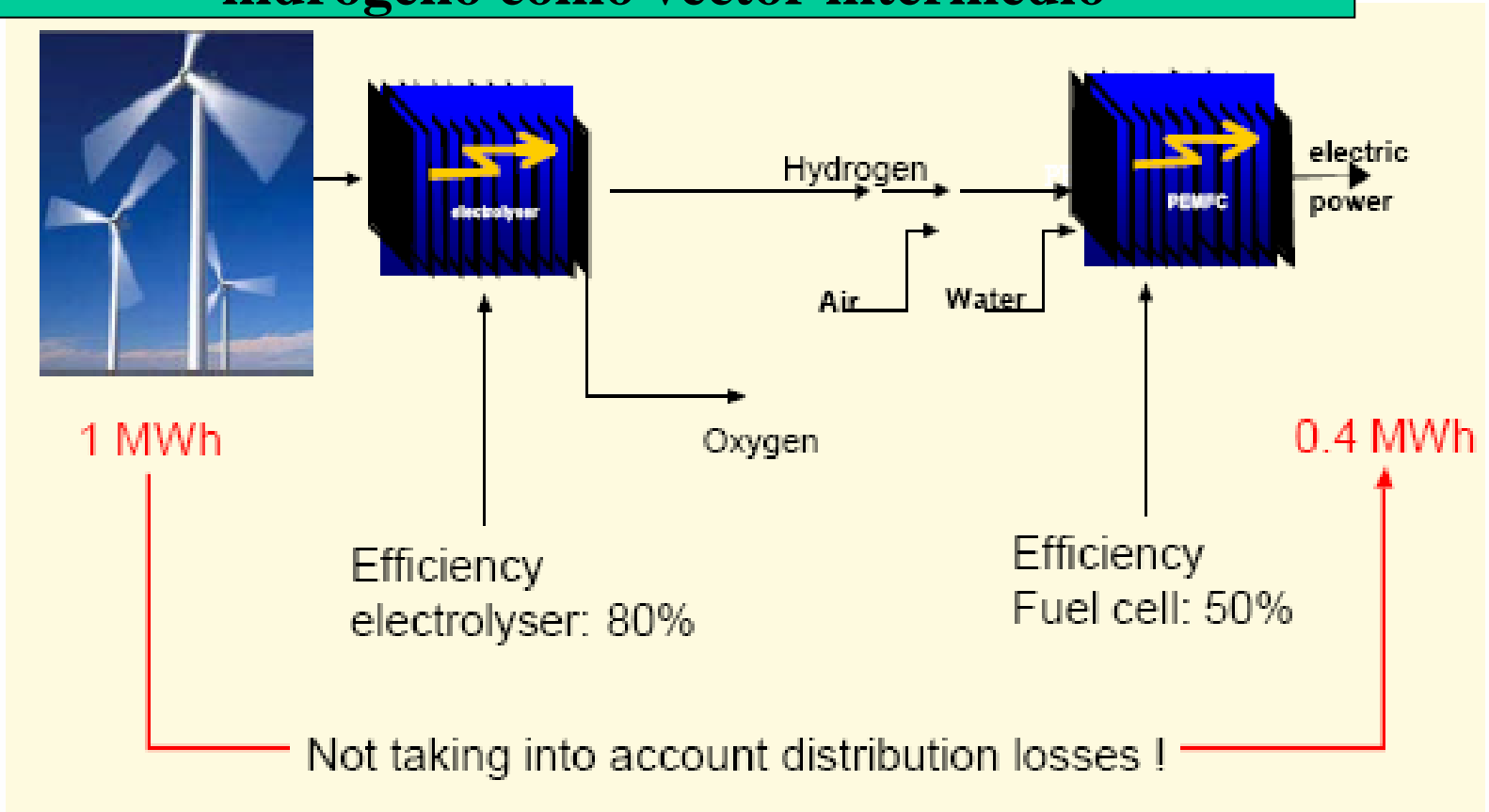
PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

En los motores de combustión el hidrógeno reacciona con el oxígeno del aire de forma similar a como se opera con los carburantes convencionales

La conversión electroquímica se realiza en pilas de combustible. En ellas el hidrógeno y el oxígeno se combinan para producir energía eléctrica que permite operar un motor eléctrico

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

La eficiencia en la producción de electricidad con hidrógeno como vector intermedio



PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

Transporte y distribución de hidrógeno* Pérdidas (%) energéticas

Energy consumption for Hydrogen compression and liquefaction

Hydrogen Compression: 200 bar: 10% *versus* 1% for NG
800 bar: 16% *versus* 2% for NG
Hydrogen Liquefaction: $\geq 25\%$

Energy consumption of Hydrogen distribution

Hydrogen Tube trailers: 20% per 100 km delivery distance
versus ~ 6% for natural gas
Hydrogen Pipeline: 10% per 1000 km pipeline distance
versus ~ 2% for natural gas

* B. Eliasson, ABB-Switzerland in Fuel Cell World Proceedings, 2002

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

Nuevas estaciones de servicio



PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

Hydrogen for Transport Applications



* Image provided by Hexion / Nexus Global

**Producción local de H₂ a partir de GN
75 m³N/h, 6 kg H₂/h, 1 coche/h**



PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

Para reemplazar una estación de servicio de 10^7 L de combustible/año

- Central production, and tube trailer ($26 \cdot 10^6$ m³/yr):
 - Results in 36 tube trailers/day (compared to one 30 m³ gasoline truck/day)
- On-site NG-reforming @ 75% efficiency:
 - Annual NG consumption: about $13 \cdot 10^6$ m³
 - Equivalent to 6500 houses (2000 m³/yr/house)
- On-site electrolysis @ 85% efficiency:
 - Annual electricity use: about $110 \cdot 10^6$ kWh
 - Equivalent to 33.103 houses (3300 kWh/yr/house)

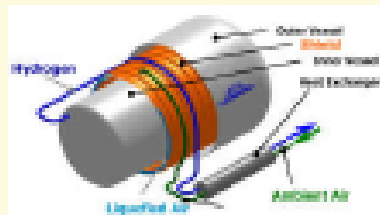


PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

Almacenamiento de hidrógeno para vehículos de pasajeros

Driving range: > 600 km
 Refuelling time: < 2.5 minutes
 Cost < \$333

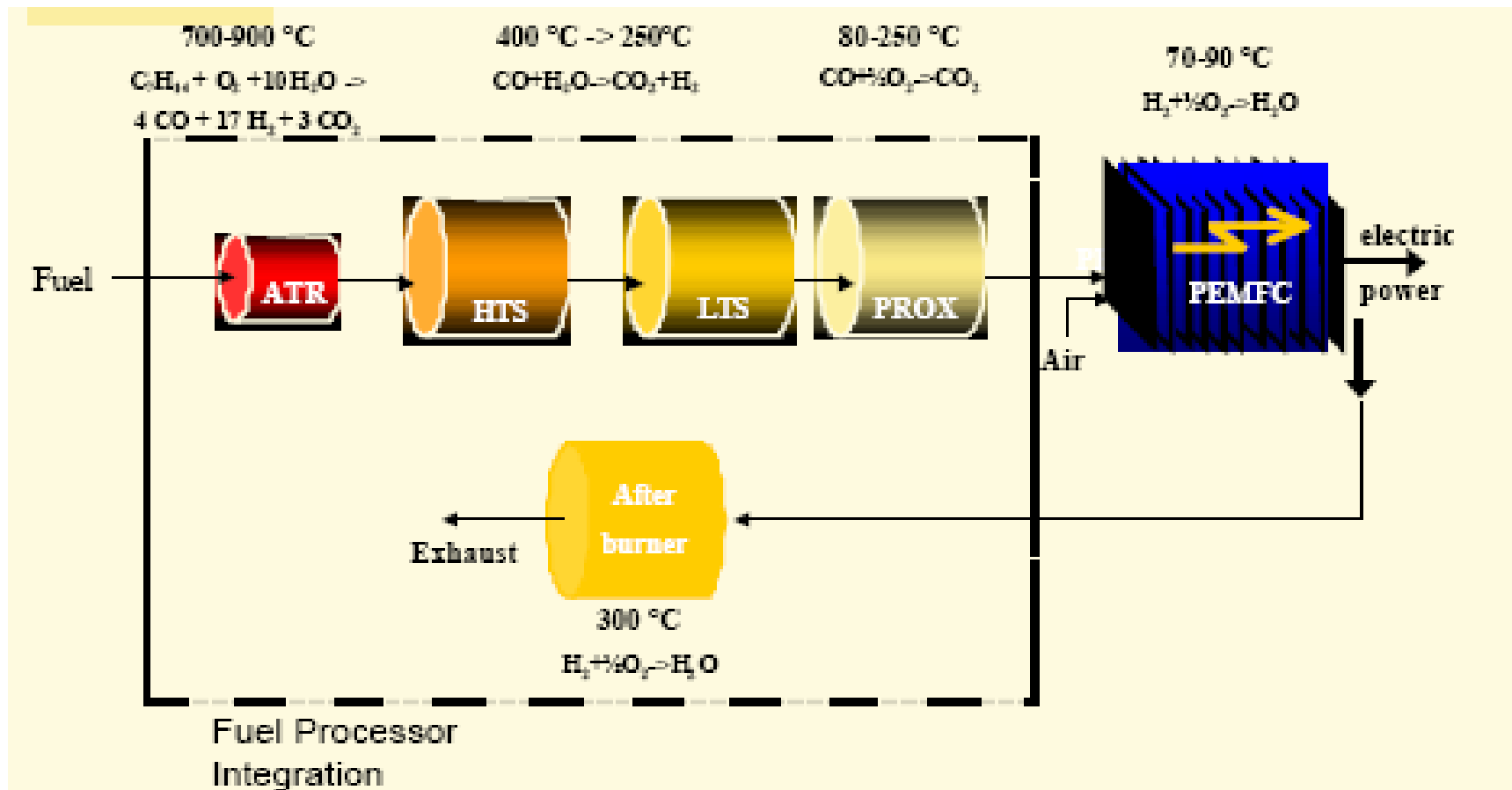
State of the Art (DoE 2004 Review)



	volumetric density kWh/l	gravimetric density kWh/kg	cost \$/kWh
DoE target	3	2.7	2
compressed H2 350 bar	0.8	2.1	12
compressed H2 700 bar	1.3	1.9	16
liquid H2	1.6	2.0	6
Metal Hydride	0.6	0.8	16

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

Alternativa: fabricar en hidrógeno “on-board”



PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

SISTEMAS PILA DE COMBUSTIBLE – MOTOR ELÉCTRICO

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

Pilas de combustible para el transporte



Transport (50 kW)



City Transport (200 kW)



City Transport (2-7 kW)

☺ Cost Target: \$50 / kWe

1. Lowering of emissions: particles, NO_x, CO, C_xH_y, SO_x
2. Lowering of fuel use, decreasing CO₂ emissions
3. Lowering of noise
4. Fuel diversification

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

Los retos de las pilas de combustible para el sector transporte

The technical feasibility of Fuel Cell systems on hydrogen is proven.

Remaining technical issues are:

Robustness

Vehicles are operated between -30 and $+40$ °C, undergo mechanical and thermal shocks etc.

Cost

The cost level of the technology to be replaced is approximately €50/kWe

Efficiency

Gasoline and Diesel Hybrids are already 30% more efficient than non-hybrid vehicles.

In addition, for systems on gasoline and other liquid fuels:

Integrated Fuel Processors

CO tolerant fuel cells; High temperature membranes

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

**Motores de hidrógeno de
combustión interna**

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO



1-cylinder Hydrogen Vehicle by Lenoir, 1860

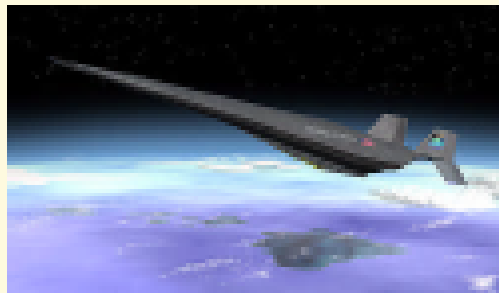


Ford Model U Hydrogen ICE Vehicle 2004

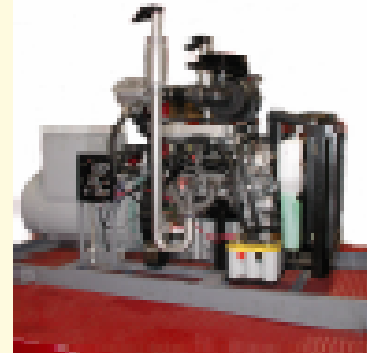
El hidrógeno como combustible convencional



Hydrogen Space Shuttle 1980



Hydrogen ScramJet Nasa 2004



Internal Combustion Hydrogen Engine 2004

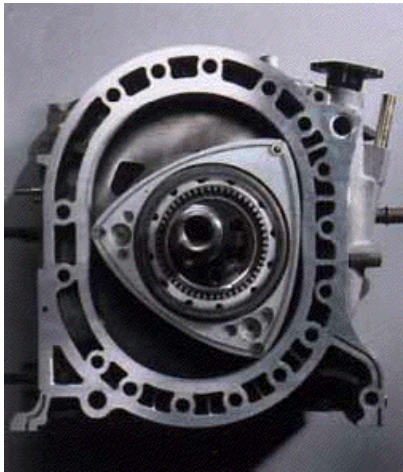
PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

Dos tipos de motor de combustión interna:

- **Similares a los convencionales para gasolinas**
- **Motores rotativos tipo Wankel (Mazda)**

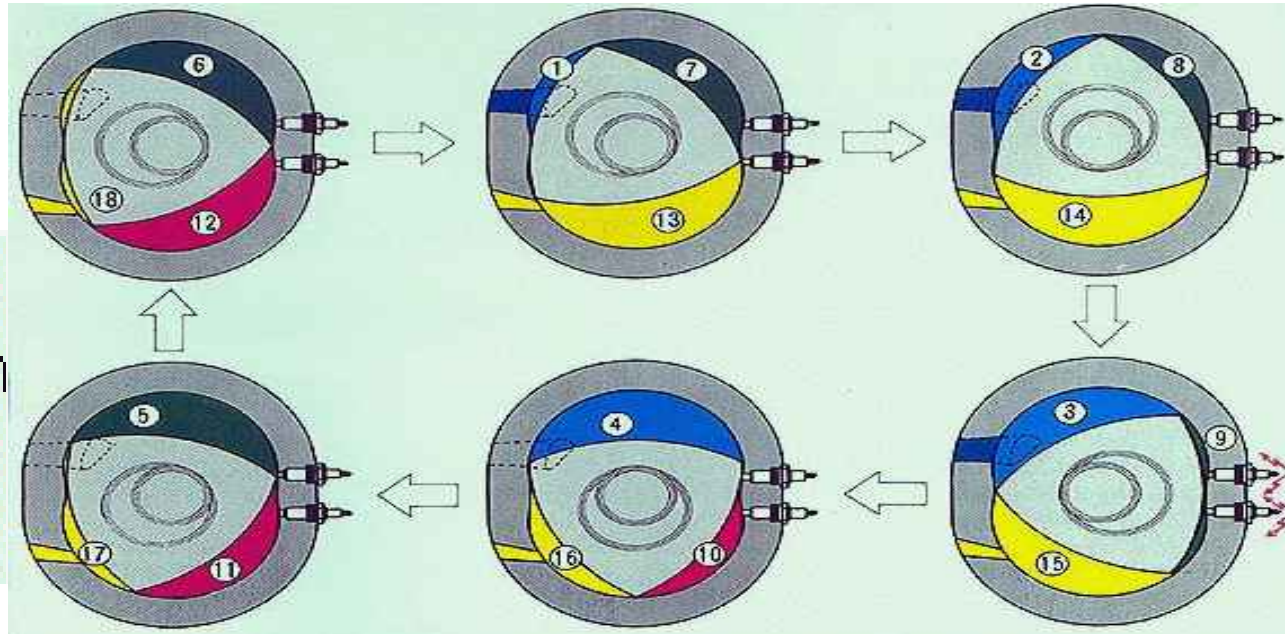
Ajustes necesarios para tener en cuenta la reactividad del hidrógeno

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO



Los motores rotativos Wankel presentan la ventaja de que el hidrógeno se quema en un volumen del motor diferente del de admisión, se reducen así problemas de retroceso de llama.

- 1-4 Admisión
- 5-9 Compresión
- 10-12 Potencia
- 13-18 Escape



PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

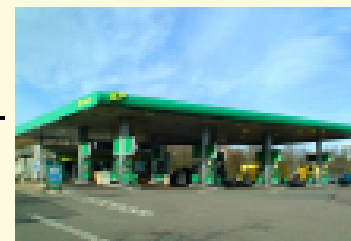
Comparación y alternativas

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

¿Cuál es la alternativa preferible?

- Motor de hidrógeno de combustión interna
- Motor eléctrico con pila y reformador de gasolina
- Motor eléctrico con pila y depósito de hidrógeno
- Motor de gasolina o gasóleo y baterías (híbrido)
- Etc.

For a comparison which makes sense, a well to wheel assessment is needed



PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

Del yacimiento al tanque (GM/LBST)

Fuel Pathway	MJ/MJ	g CO ₂ /MJ _{fuel}
gasoline	1.16	87
Compressed H ₂ (700 bar) from natural gas	1.87	103
Liquid H ₂ from natural gas	2.14	124
Compressed H ₂ (700 bar) from EU-mix electricity	4.64	208
Compressed H ₂ (700 bar) from Wind energy	1.66	0
Compressed H ₂ (700 bar) from Biomass	1.91	22

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

**Del tanque a la rueda y
del yacimiento a la rueda (GM/LBST)**

Vehicle	MJ/km	g CO ₂ /km
Gasoline ICE (2010)	2.44	211
Hydrogen ICE	2.03	209
Gasoline ICE HEV	1.78	154
Gasoline FCV HEV	1.54	133
Hydrogen ICE HEV	1.49	153
Hydrogen FCV HEV	1.05	108

700 bar Hydrogen from Natural Gas





PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

**Del yacimiento a la rueda FCV HEV
(GM/LBST)**

Hydrogen Source	g CO ₂ /km
Electricity EU-mix	218
Natural Gas	108
Biomass	23
Wind	0
Reference ICE 2010	211

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

Emisiones de vehículos del tanque a la rueda y del yacimiento a la rueda

	Gasoline ICE 2003	Gasoline Hybrid ICE 2004	Hydrocarbon FCV 2003	Hydrogen FCV 2003	
					
CO ₂	170/211	104/123	No reliable data	0/80*	g/km
CO	0.48	0.18	0.008	0	g/km
NO _x	0.03	0.01	0.000	0	g/km
HC	0.03	0.02	0.036	0	g/km

*: hydrogen produced by natural gas reforming

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

Seguridad de los vehículos de hidrógeno

- Disadvantages of Hydrogen:
 - High diffusion rates: danger of leaks
 - High flame propagation speed
 - Invisible flame (in theory)
 - Low energy of ignition
 - Wide ranges of flammability, detonability
- Advantages of Hydrogen:
 - High diffusion rate, buoyancy, therefore rapid dispersion
 - Less radiation from flame (as compared to gasoline)
 - Relatively low volumetric energy content

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

Automóviles disponibles

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

Automóviles disponibles:

BMW, Daimler Chrysler, Ford, General Motors, Honda, Hyundai, Mazda, Nissan, Morgan, Toyota, Volkswagen

Autobuses en circulación:

Daimler Chrysler, Thor, Irisbus, Fuel Cell Bus,

PRESENTE Y FUTURO DE LOS MOTORES DE HIDRÓGENO

AGRADECIMIENTOS:

A todas las personas de nuestro grupo de investigación.

Al Dr. De Bruijn del ECN por su hospitalidad y colaboración.