

II Jornada Crisis Energética / AEREN

5 de noviembre 2005, Santa Fe del Penedès

aeren



asociación para el estudio
de los recursos energéticos

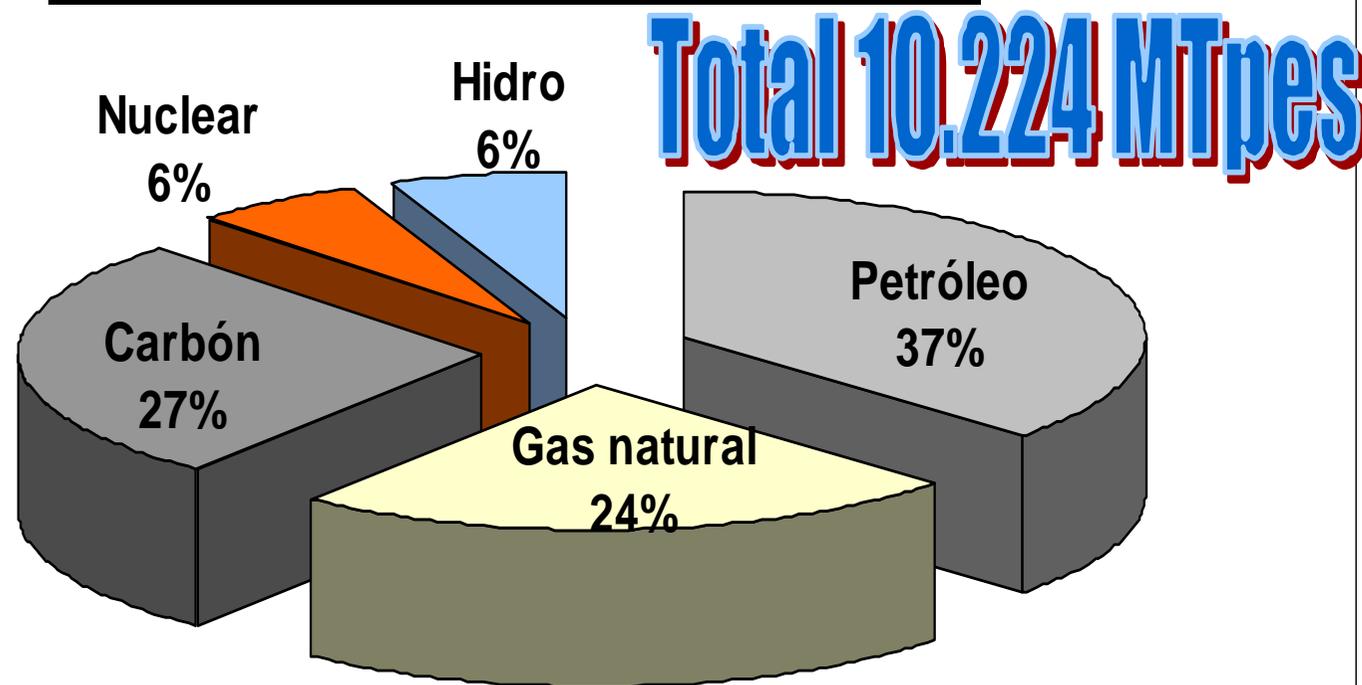
ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS A LOS COMBUSTIBLES FÓSILES

ENERGÍAS RENOVABLES

- **¿CÚANTO CONSUMIMOS AHORA Y CÓMO?**
- **¿QUÉ PRETENDEMOS DE ELLAS Y POR QUÉ?**
- **¿CUÁLES SON?**
- **¿QUÉ PUEDEN HACER POR NOSOTROS?**
- **¿TIENEN LÍMITES?**

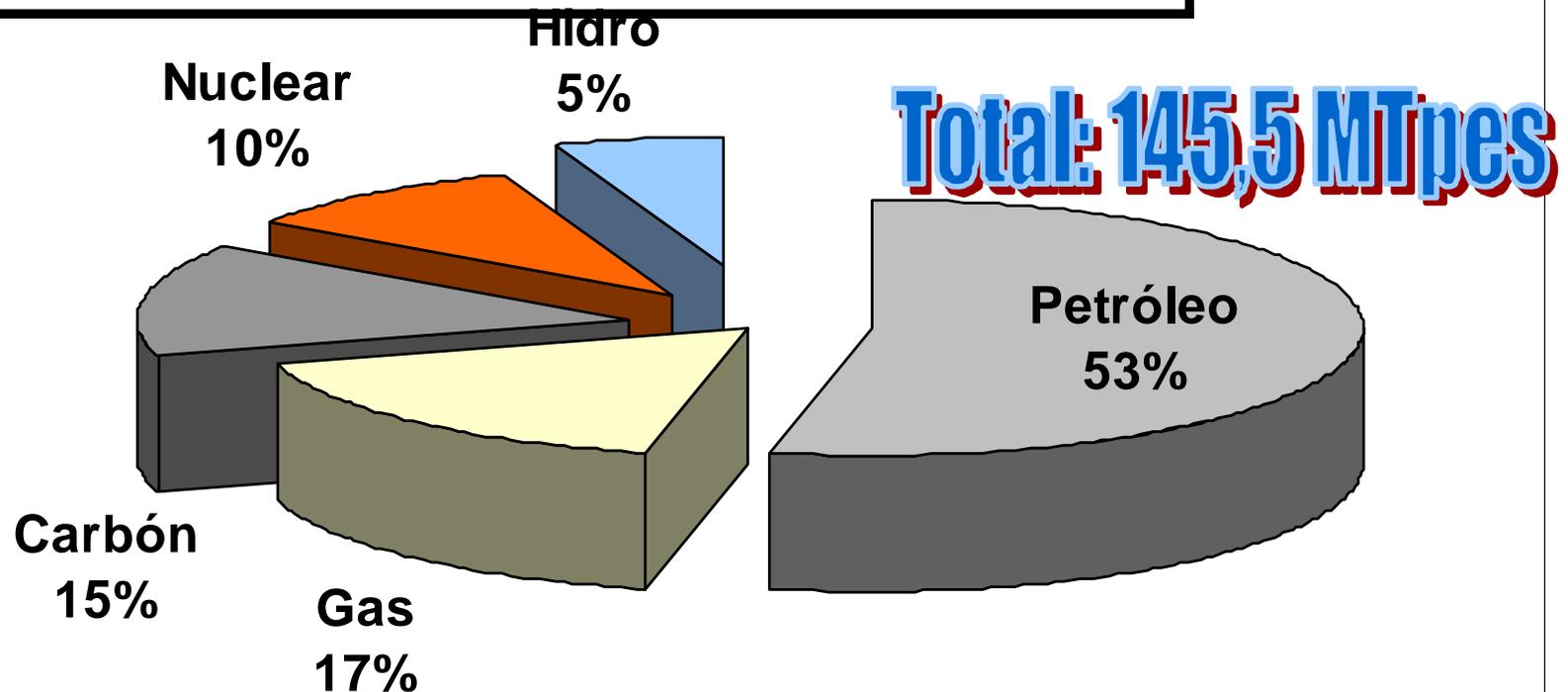
¿CUÁNTO CONSUMIMOS AHORA?

Consumo mundial de energía primaria por fuentes (2004, según BP)



¿CUÁNTO CONSUMIMOS EN ESPAÑA?

Consumo español de energía primaria por tipo de fuente (2004 según BP)



¿CUANTO ES ESTO EN EL MUNDO? CONSUMO DE PETRÓLEO

- SE QUEMAN 4.500 ESTADIOS BERNABEU LLENOS DE PETRÓLEO CADA AÑO
- O TAMBIÉN 50.000 PRESTIGES AL AÑO



¿CUANTO ES ESTO EN EL MUNDO? CONSUMO DE CARBÓN

- SE QUEMAN 2.300 ESTADIOS BERNABEU DE CARBÓN CADA AÑO
- (5.538 MILLONES DE TONELADAS)



¿CUANTO ES ESTO EN EL MUNDO? EL CONSUMO DE GAS

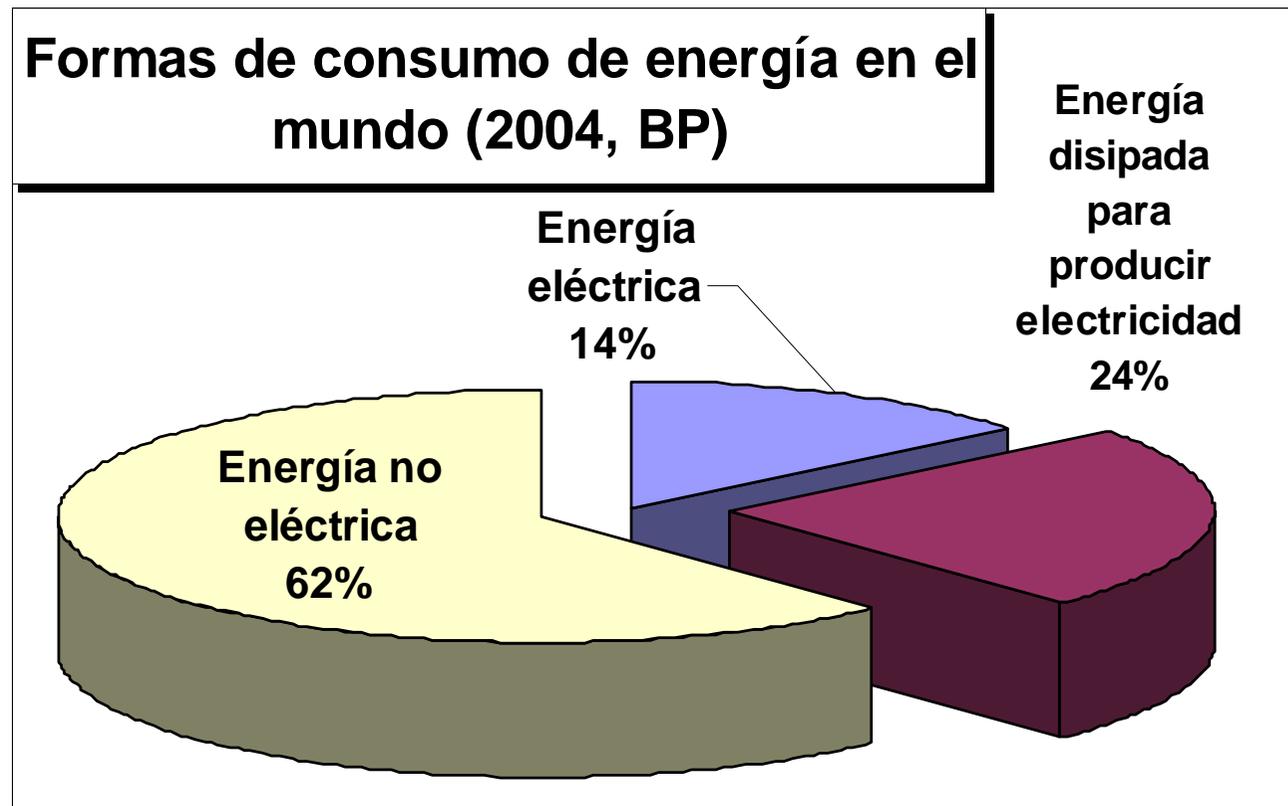
- 2,4 MILLONES DE ESTADIOS BERNABEU A PRESIÓN ATMÓSFERICA
- 2,422 BILLONES DE m^3



¿EN QUÉ FORMA SE CONSUME?

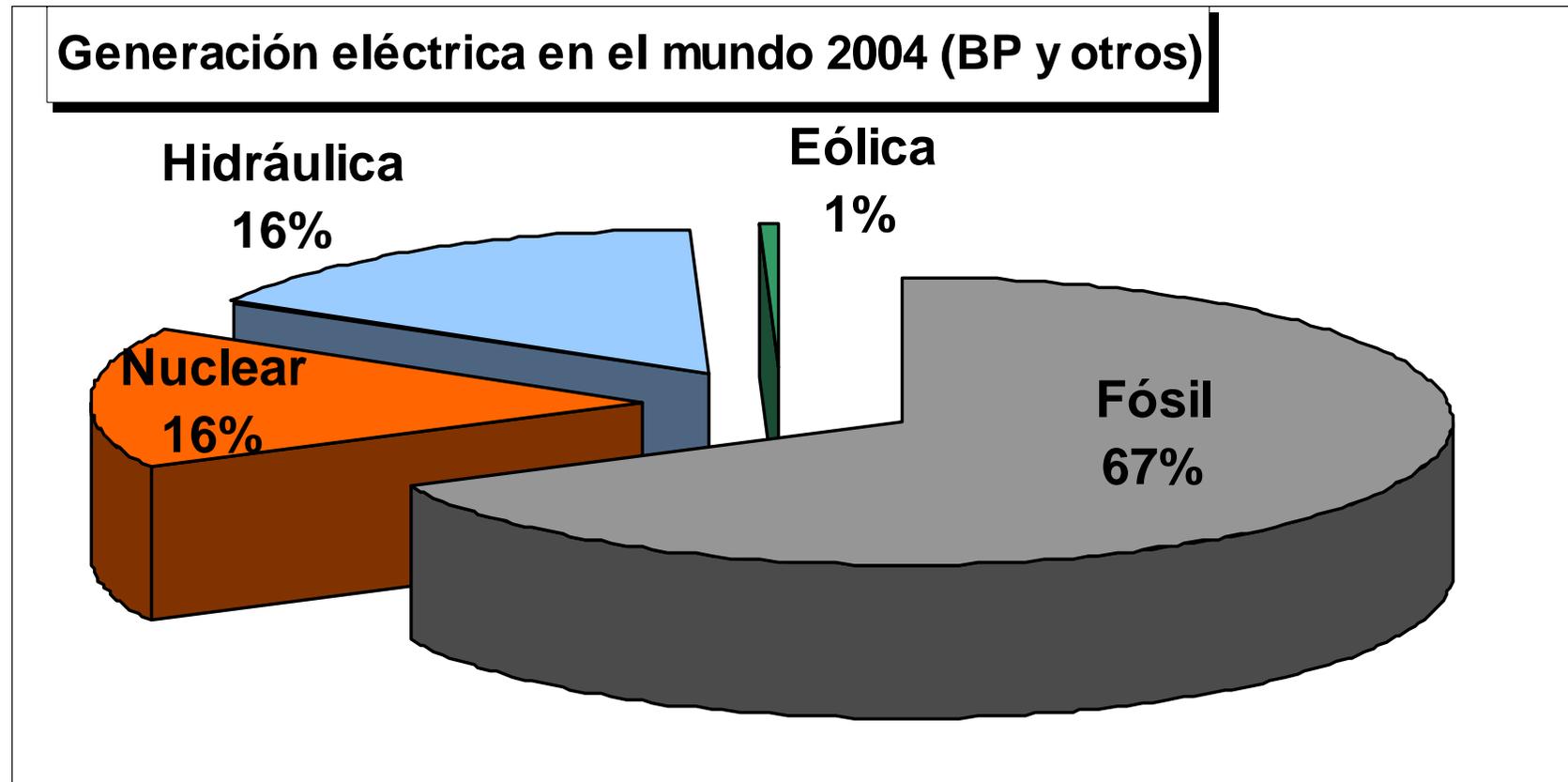
- La mayoría del consumo es

**NO
ELÉCTRICO**



¿Y LA ELECTRICIDAD, DE DÓNDE SALE?

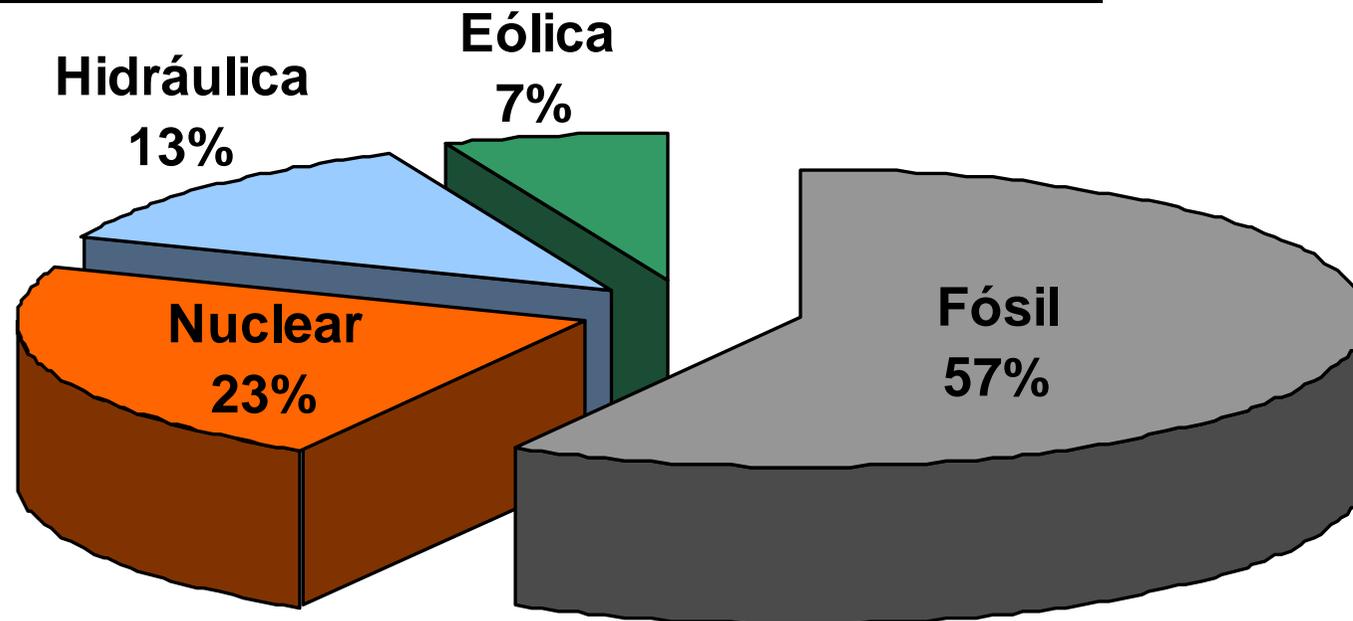
LA MAYOR PARTE, DE QUEMAR COMBUSTIBLES FÓSILES



LA ELECTRICIDAD EN ESPAÑA

EL 2º PRODUCTOR MUNDIAL EÓLICO (9 GW)

Generación eléctrica en España 2004 (BP y otros)



¿QUÉ PRETENDEMOS DE ELLAS Y POR QUÉ?

- ¿Queremos evitar emisiones de gases de efecto invernadero?
- ¿Queremos reemplazar a los combustibles fósiles y nucleares?
- ¿Queremos ambas cosas?
- **PREGUNTAS CLAVE**
 - ¿En qué grado?
 - ¿En cuánto tiempo?
 - ¿Con qué medios y energías?



SOLAR FOTOVOLTAICA

Los paneles solares fotovoltaicos convierten directamente la luz solar en electricidad

- **De los 1.350-1.000 vatios/m² solares que reciben producen entre 70 y 180 vatios (5 a 18% de rendimiento)**



FOTOVOLTAICA. VENTAJAS

- Se pueden instalar en los tejados, cerca de los lugares de trabajo (si no hay sombras)
- Los paneles fijos tienen un mantenimiento bajo, excepto por la limpieza del polvo y la prevención de la congelación



FOTOVOLTAICA. INCONVENIENTES/1

LAS CENTRALES SOLARES OCUPAN MUCHO ESPACIO.

Reemplazar una central como la nuclear de Almaraz ocuparía unos 200 Km²

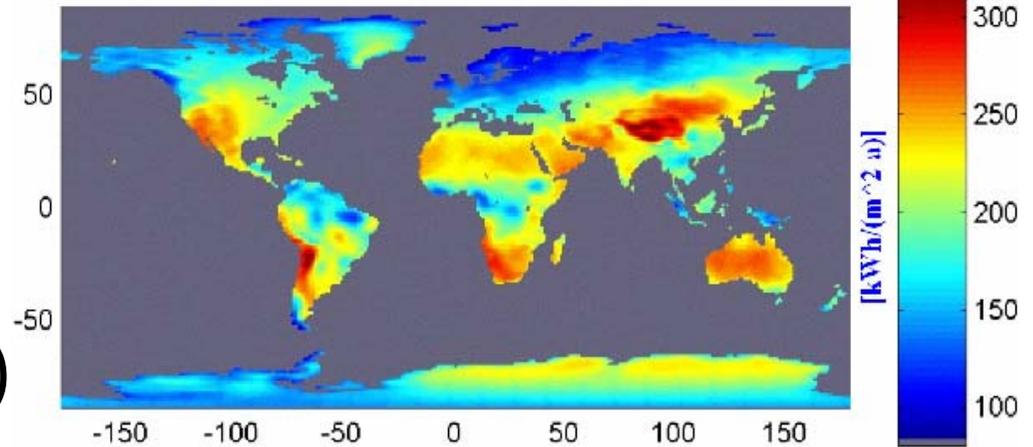


FOTOVOLTAICA. INCONVENIENTES/2

No funcionan
(o funcionan peor):

- De noche
- Con nubes
- En lugares septentrionales (mundo industrial)

(Alemania puede tener la mitad de insolación que España)



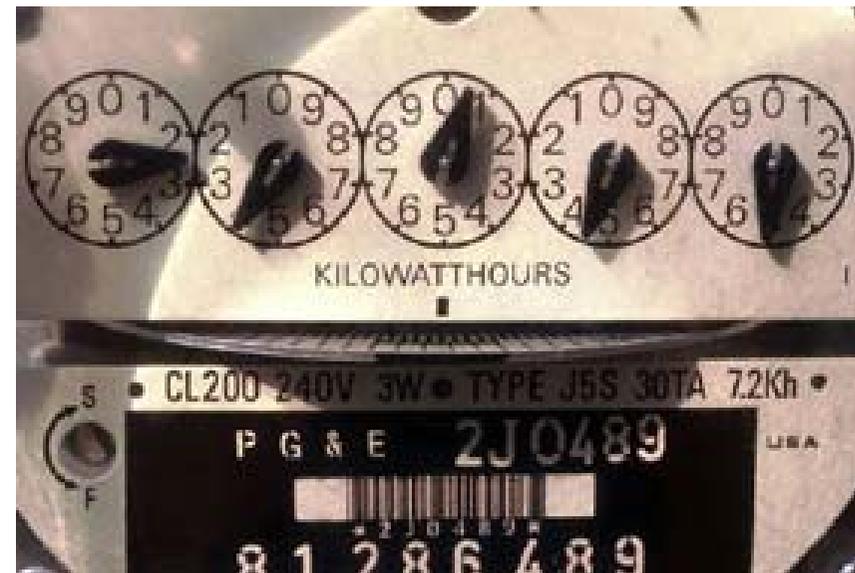
FOTOVOLTAICA. INCONVENIENTES/3

- *La energía fotovoltaica solo produce electricidad*
- *Y la electricidad producida no se puede utilizar para el transporte...salvo que se transforme en combustible*



FOTOVOLTAICA. INCONVENIENTES/4

- La producción de módulos es muy costosa (6€/KWp instalado)
- La electricidad que producen los módulos, también (45 c€/KWh)



Adaptado de "<http://www.peakoilandhumanity.com/>"

FOTOVOLTAICA. INCONVENIENTES/5

- La gran dificultad de la energía fotovoltaica es que no existe una forma barata de almacenar la energía durante el día...



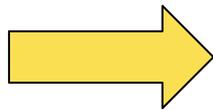
...para que podamos encender las luces durante la noche.

FOTOVOLTAICA. INCONVENIENTES/6

Una forma en que podría hacerse es la de convertir el exceso de energía solar en hidrógeno durante el día
– ...y después convertir de nuevo el hidrógeno en electricidad durante la noche.



Electricidad solar



Hidrógeno

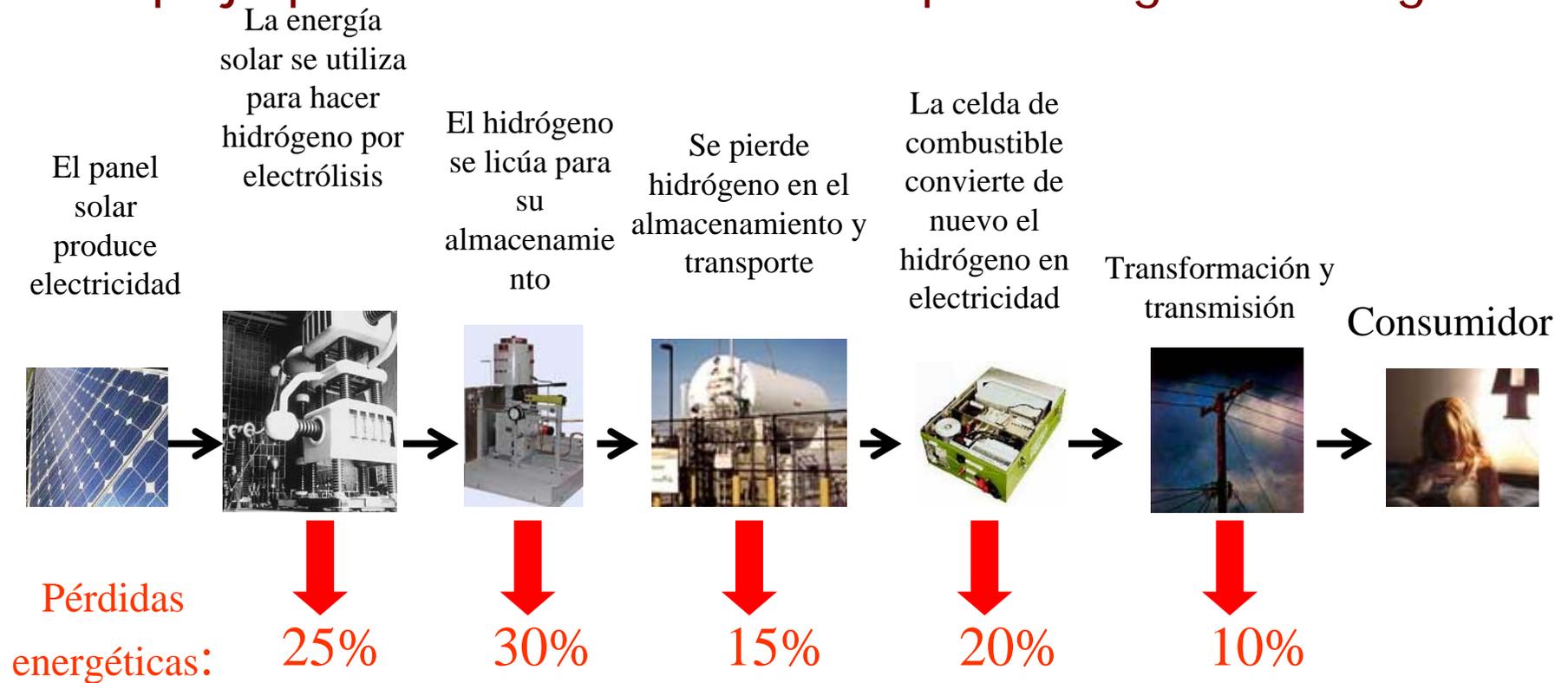


Electricidad

FOTOVOLTAICA. INCONVENIENTES/7

100 → 15 → 11,2 → 7,8 → 6,7 → 5,3 → 4,7

El problema de hacer esto es que en cada paso de complejo proceso de conversión se pierde algo de energía



Adaptado de "<http://www.peakoilandhumanity.com/>"

FOTOVOLTAICA. INCONVENIENTES/8

- TIENE UN FACTOR DE CARGA EXTREMADAMENTE BAJO (Un 17% típico en un lugar soleado como España), FRENTE AL 90-95% DE LAS FÓSILES O NUCLEARES

Factor de carga:

Número de horas efectivas de generación respecto del total de horas del año

En Extremadura:
 $1.500/8.760 = 0,17$

FOTOVOLTAICA. INCONVENIENTES/9

- Exigen un nivel tecnológico de sociedad de alto nivel energético
- Apenas un puñado de países tienen la tecnología
- Su TRE es muy baja (si es que es positiva) y difícil de calcular, por lo imbricada que está en la sociedad tecnológica

**ES MÁS QUE DUDOSO QUE
UNA SOCIEDAD DE BAJO
NIVEL ENERGÉTICO
PUDIESE
PRODUCIRLAS Y
MANTENERLAS**



FOTOVOLTAICA. EJEMPLOS DE SUSTITUCIÓN. ESPAÑA/1

- Supongamos que se desea sustituir toda la electricidad española actual (fósil y nuclear) por fotovoltaica (32 GWp diurnos; 20 GWp nocturnos)
- Se necesitaría una superficie de unos 3.000 Km².
- Y mecanismos para almacenar, como mínimo, unos 200 GWh

Costaría unos 900.000 M€ en módulos fotovoltaicos, convertidores, transfos y redes y además, unos sistemas de almacenaje equivalentes a 200.000 millones de baterías de coche (~ 80 Ah a 12V)



FOTOVOLTAICA. EJEMPLOS DE SUSTITUCIÓN. ESPAÑA/2

- Supongamos que se desea sustituir toda la energía primaria española actual, fósil y nuclear, por fotovoltaica (138 MTPe~620 TWh)
- Se necesitaría una superficie de unos 8.300 Km².
- Y mecanismos para almacenar, como mínimo, unos 500 GWh



FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA/1

- Previstos 400 MWp hasta el 2010
- Ayudas IDAE 10% a fondo perdido hasta 100 KWp (limitadas a 6 M€) (Eliminadas)
- Ayuda financiera ICO hasta 80% valor total del proyecto.
- Con estos datos:
 - Amortización en 10-12 años (Mitad sur de España)
 - Seguros: 1 c€/KWh (2% ingresos)
 - O&M: 2 c€/KWh (4% ingresos)

FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA/2

- Ayuda estatal a 25 años del 575% de la tarifa media publicada en el BOE y después el 460% sin límite.
- En 2005 se han presentado 5.000 proyectos por unos 400 MWp. 9 de cada 10 se quedarán sin ayuda IDAE
- La tendencia y presión política es hacia la concentración de huertos en poder de grandes empresas (quitar el límite de los 100 KWp).

ENERGÍA EÓLICA. ESTADO ACTUAL



ENERGÍA EÓLICA EN ESPAÑA

- SEGUNDO PRODUCTOR MUNDIAL (9.153 MW INSTALADOS EN 9.2005)
- PRODUCE UNOS 20.000 GWh/año (exactamente la producción eléctrica de Asturias)
- TIENE PREVISTO ALCANZAR EL 15% DE LA PRODUCCIÓN ELÉCTRICA EN 2011 (Hoy es el 7%, CON 40 GW de consumo pico)



EÓLICA. CÓMO FUNCIONA/1

- Constante de Bentz (59%)
- Límites por tamaño (5 MW está cerca del límite)
- Los costes de mantenimiento aumentan con el tamaño
- La producción es función cúbica de la velocidad del viento



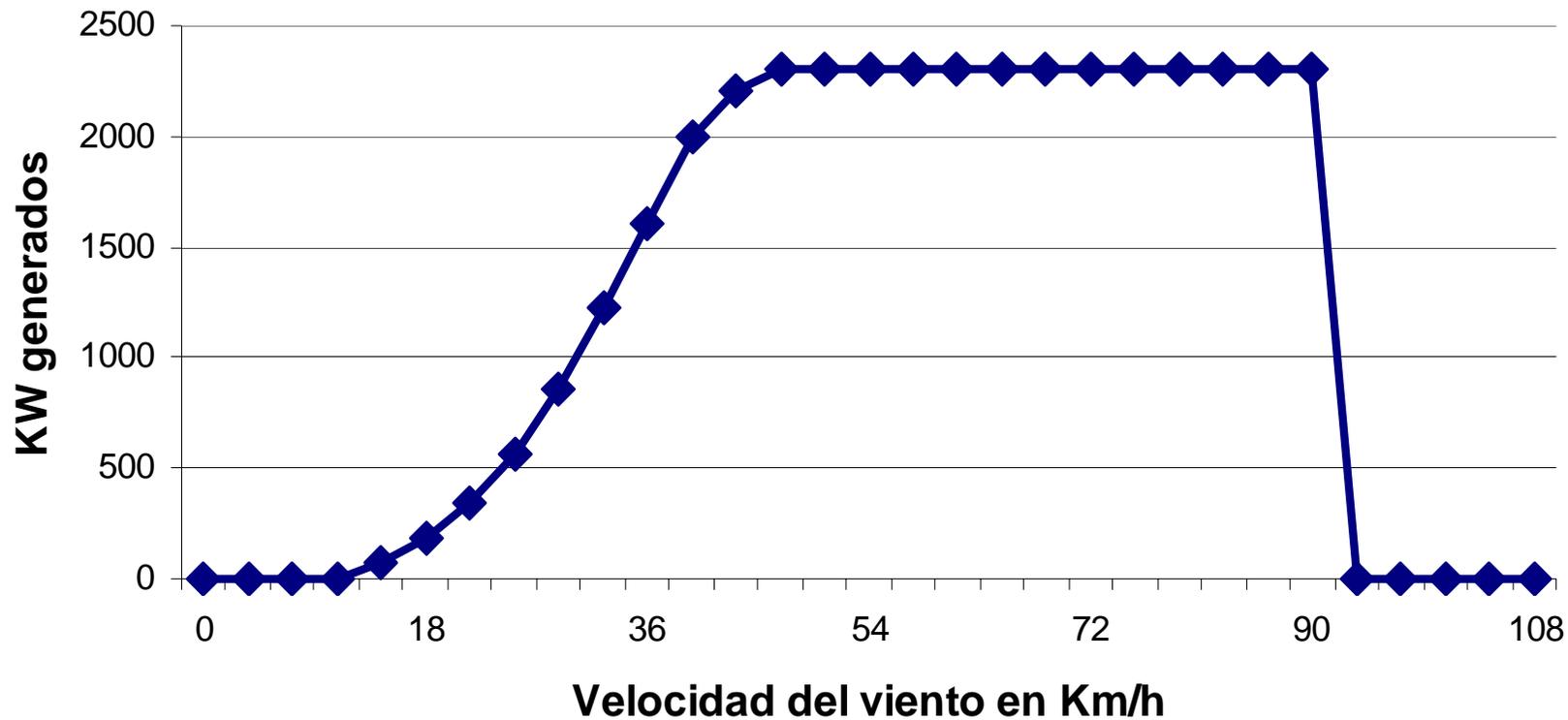
EÓLICA. CÓMO FUNCIONA/2

Un campo de clase 3 necesita el doble de generadores de un determinado tipo, para producir la misma energía que un campo de clase 6

VIENTOS	V PROMEDIO EN Km/h	MW GENERADOS	POTENCIA NOMINAL	INCREMENTO PARQUE
Clase 6	29.52	2.22	100	
Clase 5	26.64	1.63	73	36%
Clase 4	25.2	1.39	62	61%
Clase 3	23.4	1.11	50	100%
Clase 2	21.24	0.83	37	270%
Clase 1	18.36	0.54	24	416%

ENERGÍA EÓLICA. CÓMO FUNCIONA/3

Producción del Nordex 90 de 2,3 MW



ENERGÍA EÓLICA. VENTAJAS

- De las renovables más probadas y competitivas
- La TRE es aparentemente superior a la solar
- No es muy contaminante, una vez instalada y en según qué niveles



ENERGÍA EÓLICA. INCONVENIENTES/1

- Suministro errático: los aerogeneradores no funcionan cuando...

hace demasiado viento
($>60-80\text{Km/h}$)...



... o hace demasiado poco
($<3-8\text{ Km/h}$)



ENERGÍA EÓLICA. INCONVENIENTES/2

Los periodos de calma exigen disponer de un respaldo de energía fósil o nuclear

En otras palabras, hay que tener siempre centrales convencionales de reserva (que se construyen para rendir menos) a la espera de periodos de calma sin viento.

**Los días
sin viento:**



**Seguirán
Siendo
necesarios**



ENERGÍA EÓLICA. INCONVENIENTES/3

- Sólo produce electricidad, en un mundo esencialmente NO ELÉCTRICO.
- Esto obliga a transformar (perder) a transportadores energéticos (p.e. hidrógeno) para los muchos usos no eléctricos de la energía



ENERGÍA EÓLICA. INCONVENIENTES/4

- Tiene un factor de carga bajo, incluso en campos eólicos excelentes (2.500-3000 horas equivalentes al año; un 28-35%)
- No digamos de campos de clases inferiores



ENERGÍA EÓLICA. LIMITACIONES/1

- Aunque parezca mentira, el viento en el mundo es limitado (son 1200 TW u 80 veces lo que el hombre consume de energía primaria en la actualidad)



ENERGÍA EÓLICA. LIMITACIONES/2

- Pretender capturar el 1% de todos los vientos del planeta, a todas las alturas y en todos los lugares:
 - Podría ser un desastre ecológico
 - Es técnicamente inviable
 - Los vientos podrían derivar por la ley de mínimo esfuerzo
 - Supondría un coste insoportable en materiales y energía. Industria muy pesada
 - Sólo aportaría el 80% de las necesidades energéticas actuales



EÓLICA EN PLATAFORMAS MARINAS

- El uso de hormigón para enclavar un generador de 2,3 MW sobre el mar puede cuadruplicar (4.000 toneladas) el de uno en tierra, a tan solo 9 metros de profundidad marina.
- La corrosión de los elementos es un factor fundamental
- El mantenimiento es muy costoso e intenso en energía fósil (¡HELICÓPTEROS!)
- Las corrientes aéreas más estables, pueden fácilmente derivarse, si los campos alcanzan cierta dimensión



EÓLICA. UN MODELO

- ESTUDIO DE GENERADOR MODERNO (Nordex N90) de 2,3 MW
 - 90-110 metros de torre
 - 45 metros de palas
 - 150 toneladas de acero
 - 10 toneladas de cobre
 - 30 toneladas de fibra de vidrio
 - 1.000 toneladas de hormigón
 - No se incluyen líneas de alta tensión al campo



EÓLICA. EJEMPLO DE SUSTITUCIÓN EN ESPAÑA/1

- **UNA ESPAÑA ELÉCTRICA DE ORIGEN EÓLICO EQUIVALE A 50.000 GENERADORES COMO EL NORDEX N90 (En campos de clase 6).**
- **PERO NI CON 100.000 GENERADORES SE PODRÍA ASEGURAR EL SUMINISTRO ELÉCTRICO ACTUAL**



EÓLICA. EJEMPLO DE SUSTITUCIÓN EN ESPAÑA/2

- PERO 100.000 GENERADORES DE TIPO NORDEX N90 EXIGIRÍAN:
- EL 70% DEL CONSUMO ANUAL DE ACERO ESPAÑOL
- 2 VECES LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE FIBRA DE VIDRIO
- 2 VECES EL CONSUMO ESPAÑOL ANUAL DE CEMENTO

¡Y ESO ES UNA INDUSTRIA MUY PESADA!



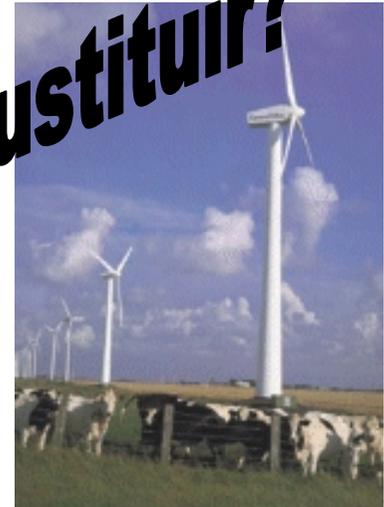
EÓLICA. EJEMPLO DE SUSTITUCIÓN EN ESPAÑA/3

SI HUBIESE QUE SUSTITUIR ADEMÁS A LOS FÓSILES CON HIDRÓGENO, PRODUCIDO CON AEROGENERADORES, SE NECESITARÍAN 200.000 GENERADORES ADICIONALES

...Y ESO SUPONDRÍA

- 2 VECES EL CONSUMO ANUAL DE ACERO
- 5 VECES LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE FIBRA DE VIDRIO
- 6 VECES EL CONSUMO ANUAL ESPAÑOL DE CEMENTO

¿Cuánto y cuando y cómo se quiere sustituir?



EOLICA. EJEMPLO DE SUSTITUCIÓN EN EL MUNDO/1

- **EL MUNDO CONSUME 60 VECES MÁS ELECTRICIDAD QUE ESPAÑA**
- **HACER UN MUNDO ELÉCTRICO EÓLICO EXIGIRÍA UNOS 6 MILLONES DE GENERADORES N90 EN CAMPOS DE CLASE 6 (Si los hubiere):**
- **90% DE LA PRODUCCIÓN MUNDIAL ANUAL DE ACERO**
- **11 3 VECES LA PROD. MUNDIAL ANUAL DE FIBRA DE VIDRIO**
- **3,4 VECES LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE CEMENTO)**



Fuentes: World Steel Industry, 2003.
World Cement Industry 2003
Varios

EOLICA. EJEMPLO DE SUSTITUCIÓN EN EL MUNDO/2

- SI HUBIESE QUE SUSTITUIR A TODOS LOS FÓSILES CON HIDRÓGENO SE NECESITARÍAN UNOS 21 MILLONES DE GENERADORES

Y SUPONDRÍAN:

- **3 VECES LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ACERO DE 2004)**
- **2.200 VECES LA PROD. MUNDIAL DE FIBRA DE VIDRIO**
- **21 VECES LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE CEMENTO**
- LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO ES CAUSANTE DE AL MENOS EL 7% DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO



¿es esto ecológico?

¿Son energías limpias?

Fuentes: World Steel Industry, 2003.
World Cement Industry 2003
Varios

EL MITO DEL HIDRÓGENO

La economía del
hidrógeno :

¿Qué implica?

¿Es factible?

¿Es renovable?



EL HIDRÓGENO. NECESIDADES

- Se trata de reemplazar el petróleo que se usa para el transporte por hidrógeno.

Esto exigiría la fabricación de:

- 700 millones de coches de célula de combustible
- La energía para producir hidrógeno (¿renovable?)
- La infraestructura para producir hidrógeno líquido, almacenarlo y transportarlo al consumidor
- Las hidrogeneras para sustituir las actuales gasolineras.

EL HIDRÓGENO. NECESIDADES/2

Una economía de hidrógeno tendría que incluir también a los camiones, y a las flotas aéreas y marítima mundiales.

VENTAJAS DEL HIDRÓGENO/1

- Podría producirse de fuentes eólicas, solares hidroeléctricas o nucleares
- Combustión limpia. El agua es el único producto de la combustión
- Transportable: Puede ser la forma más práctica de “llevar” la electricidad para hacer funcionar los vehículos

VENTAJAS DEL HIDRÓGENO/2

- ¿Que si funciona? ¡PUES CLARO QUE FUNCIONA!
- PERO SEGÚN
PARA QUÉ USOS
Y VOLÚMENES



PROBLEMAS DEL HIDRÓGENO/1

Características físicas:

- **Diez veces más inflamable que la gasolina**
- **Su onda explosiva es 20 veces mayor que la de la gasolina**
- **Tiene muy poca energía por unidad de volumen (exige depósitos enormes)**
- **La llama es invisible**
- **El pequeño tamaño de la molécula de hidrógeno hace que se filtre con facilidad**



Número atómico: 1

Masa atómica: 1,00707

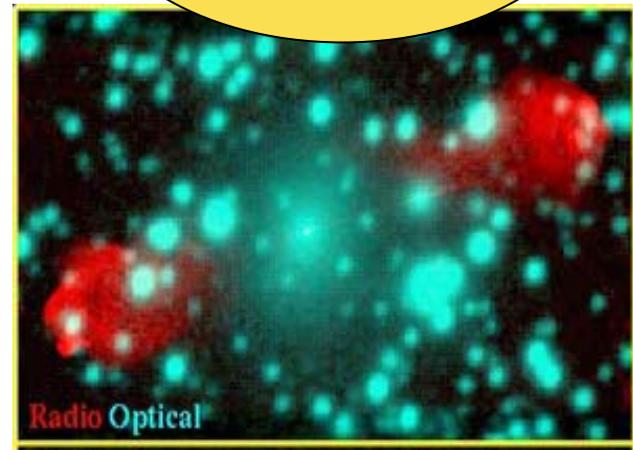
PROBLEMAS DEL HIDRÓGENO/2

*No es una **fuentes** de energía, sino, en el mejor de los casos, un simple **transportador** de la misma:*

- No hay fuentes subterráneas explotables de hidrógeno.
- Cuesta más energía producir hidrógeno que la energía que el hidrógeno producido entrega

¿Por qué? – Pues porque en el proceso se pierde energía en forma de calor. Puras leyes de la Termodinámica.

¿De dónde saldrá la energía para fabricarlo?



PROBLEMAS DE HIDRÓGENO/3

CUALQUIER FORMA DE ALMACENAJE ES UN PROBLEMA

Si se transporta como **gas** debe hacerse a muy altas presiones (700 a 1.400 Kg/cm².)



Licuadao resulta más práctico de transportar.

PERO SUPONE:

Una pérdida del 30% en el proceso de licuefacción



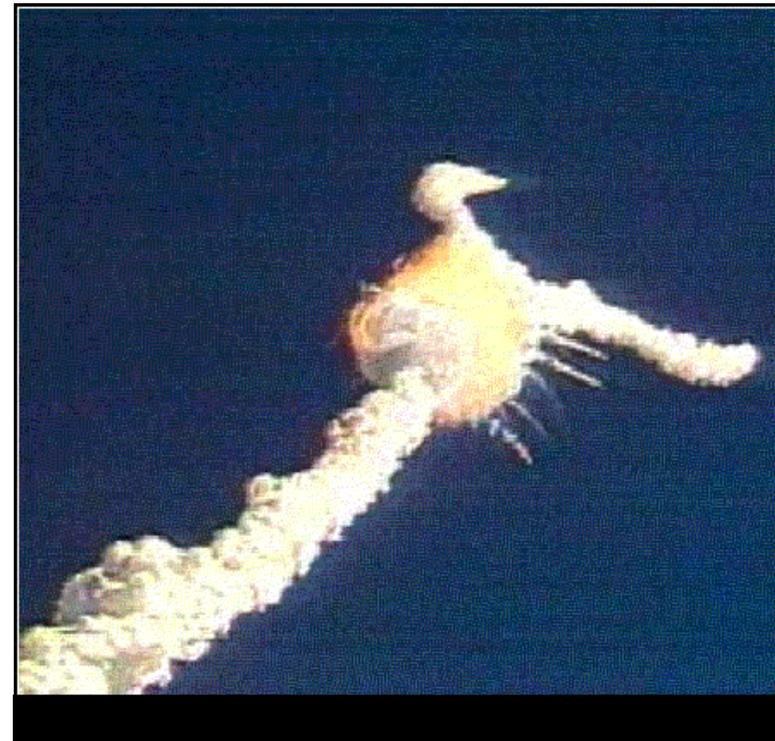
+ una pérdida por evaporación de un 1,7% diario

Adaptado de "<http://www.peakoilandhumanity.com/>"

PROBLEMAS DE HIDRÓGENO/4

EL CHALLENGER Y EL DISCOVERY SON PUNTAS TECNOLOGICAS

- EL HIDRÓGENO LÍQUIDO TIENE QUE ESTAR A -250°C
- HAY QUE GASTAR ENERGÍA CONSTANTEMENTE PARA MANTENERLO REFRIGERADO
- LA CAPA AISLANTE ES UN PROBLEMA ENORME (VARIOS cm)
- LAS FUGAS Y PÉRDIDAS SIGUEN SIN SOLUCIÓN



PROBLEMAS DEL HIDRÓGENO/5

- **Por lo anterior (pérdidas y evaporación + inflamabilidad), con un vehículo de hidrógeno hay que olvidarse de los estacionamientos cerrados**



Informe de Exxon-Mobil , Oct. 2004

Adaptado de "<http://www.peakoilandhumanity.com/>"

PROBLEMAS DEL HIDRÓGENO/6

*El transporte a las estaciones de servicio
sería un problema*



=

Para transportar la misma
cantidad de energía
equivalente a la estación
se necesitarían 21
camiones por cada uno
de gasolina*



* The Future of the Hydrogen Economy: Bright or Bleak?, Baldur Eliasson y Ulf Bossel, ABB Switzerland Ltd.

PROBLEMAS DEL HIDRÓGENO/7

El efecto sobre la capa de ozono

Si el hidrógeno
tuviese que
reemplazar
completamente
a los fósiles:

- Las fugas de hidrógeno serían similares a las de los clorofluorcarbonos (CFCs)
- Podrían causar indirectamente hasta un 10% de disminución del ozono atmosférico
- Los científicos tienen dudas sobre los efectos en la atmósfera, porque tiene un conocimiento muy limitado de ciclo de hidrógeno.

PROBLEMAS DEL HIDRÓGENO/8

La tecnología no está disponible:

- La tecnología de la célula (o celda) de combustible está todavía en fase de desarrollo
- Tenemos que recurrir a la utilización de hidrógeno de forma directa en los motores de combustión interna
- Un coche de hidrógeno cuesta hoy 100 veces más que uno de combustión interna



PROBLEMAS DEL HIDRÓGENO/9

- Más del 95% del hidrógeno comercial se obtiene ahora por reformado del gas natural o gasificación de carbón.
- La infraestructura para la producción a gran escala mediante la electrólisis de agua del viento y del sol tendría que empezar de cero.



PROBLEMAS DEL HIDRÓGENO/10

Coste de infraestructuras:

Convertir las infraestructuras de gasolina a hidrógeno
exigiría enormes cantidades de :

Energía



Capital



PROBLEMAS DEL HIDRÓGENO/11

- La pérdida por fugas por evaporación (1,7% diario), además de la pérdida de energía por el mantenimiento de gas licuado, hacen imposible las imprescindibles **RESERVAS ESTRATÉGICAS**

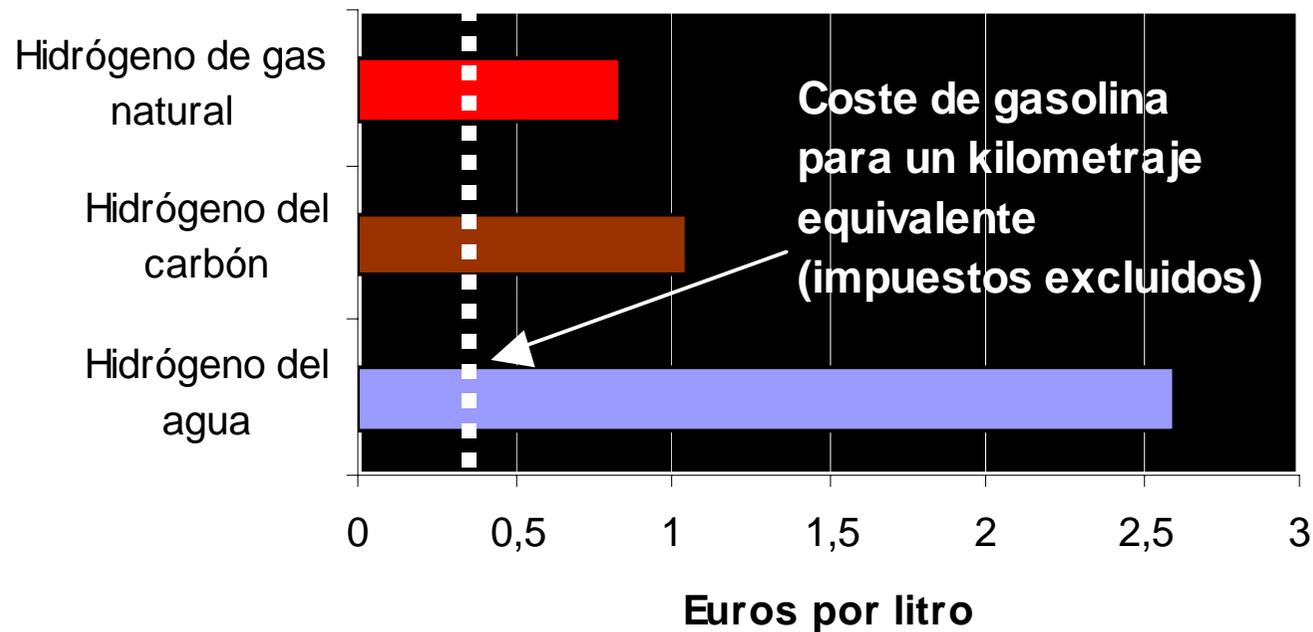


3-4 meses de consumo en EE.UU.
2-3 meses de consumo en Europa
1 mes de consumo en España

PROBLEMAS DEL HIDRÓGENO/12

EL COSTE ECONÓMICO DE LA ELECTROLISIS

Euros por litro de gasolina (en EEUU.) excluyendo
impuestos



Exxon-Mobil Report, Oct. 2004

Adaptado de "<http://www.peakoilandhumanity.com/>"

Gracias por su atención

Pedro Prieto Pérez
Editor de Crisis Energética
Vicepresidente de la Asociación
Para el Estudio de los Recursos Energéticos
(AEREN)

pedro@crisisenergetica.org
www.crisisenergetica.org/