



Encuentro de Primavera

**ENERGÍA Y SOCIEDAD: LOS DEBATES
SOBRE EL AGOTAMIENTO DEL PETRÓLEO
Y EL "DECRECIMIENTO SOSTENIBLE"**

**Universidad Autónoma de Madrid (Cantoblanco)
viernes 31 de marzo y sábado 1 de abril de 2006**

**Energías renovables:
¿sustitutivas, paliativas o
distractivas?**

**Pedro A. Prieto
Vicepresidente de AEREN**

aeren



asociación para el estudio

Energías renovables: sustitutivas, paliativas o distractivas



El concepto de renovabilidad:

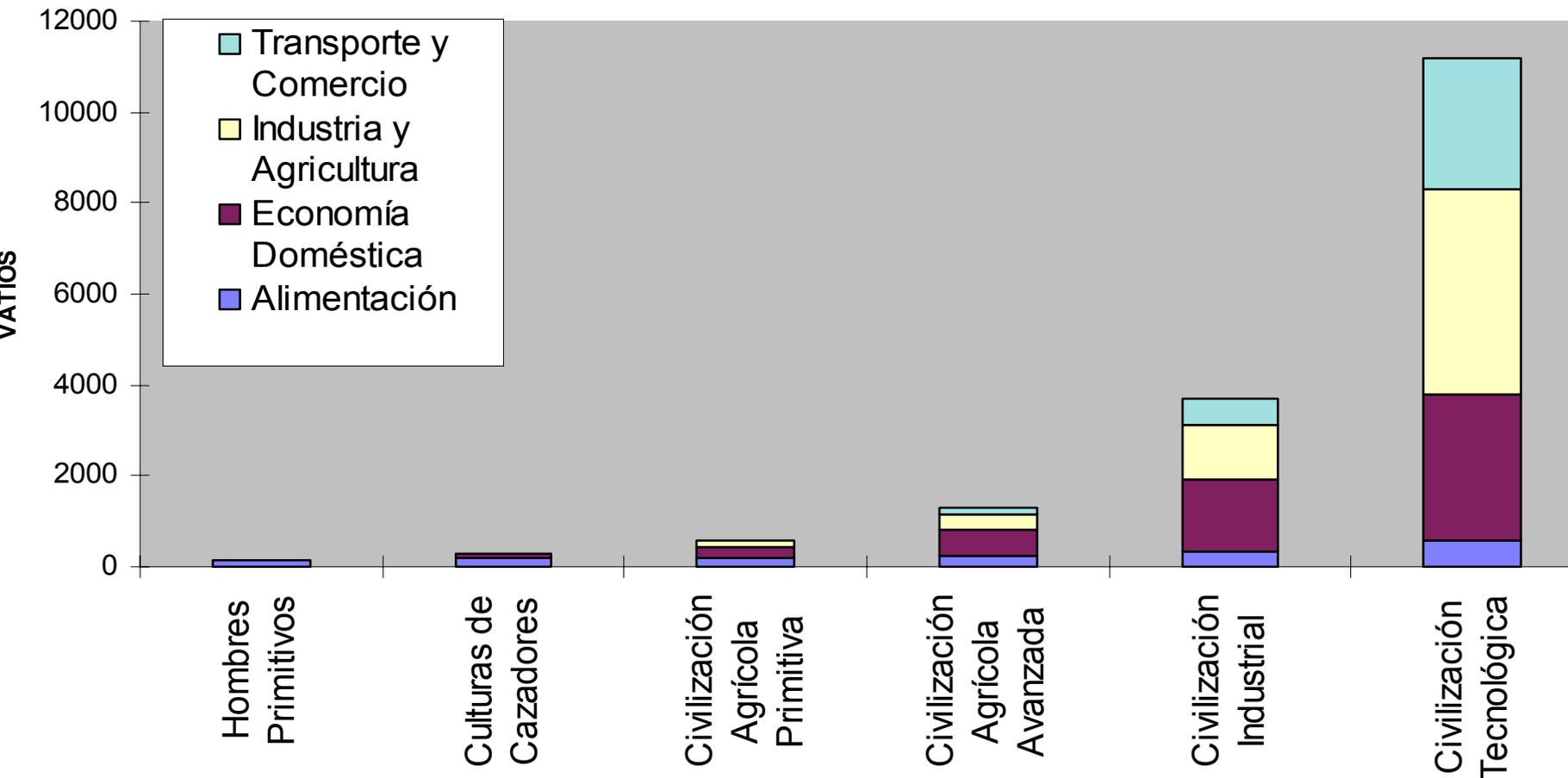


El sol y el viento son renovables;

Los módulos fotovoltaicos y los
generadores eólicos, no lo son



El consumo de energía en las diferentes culturas

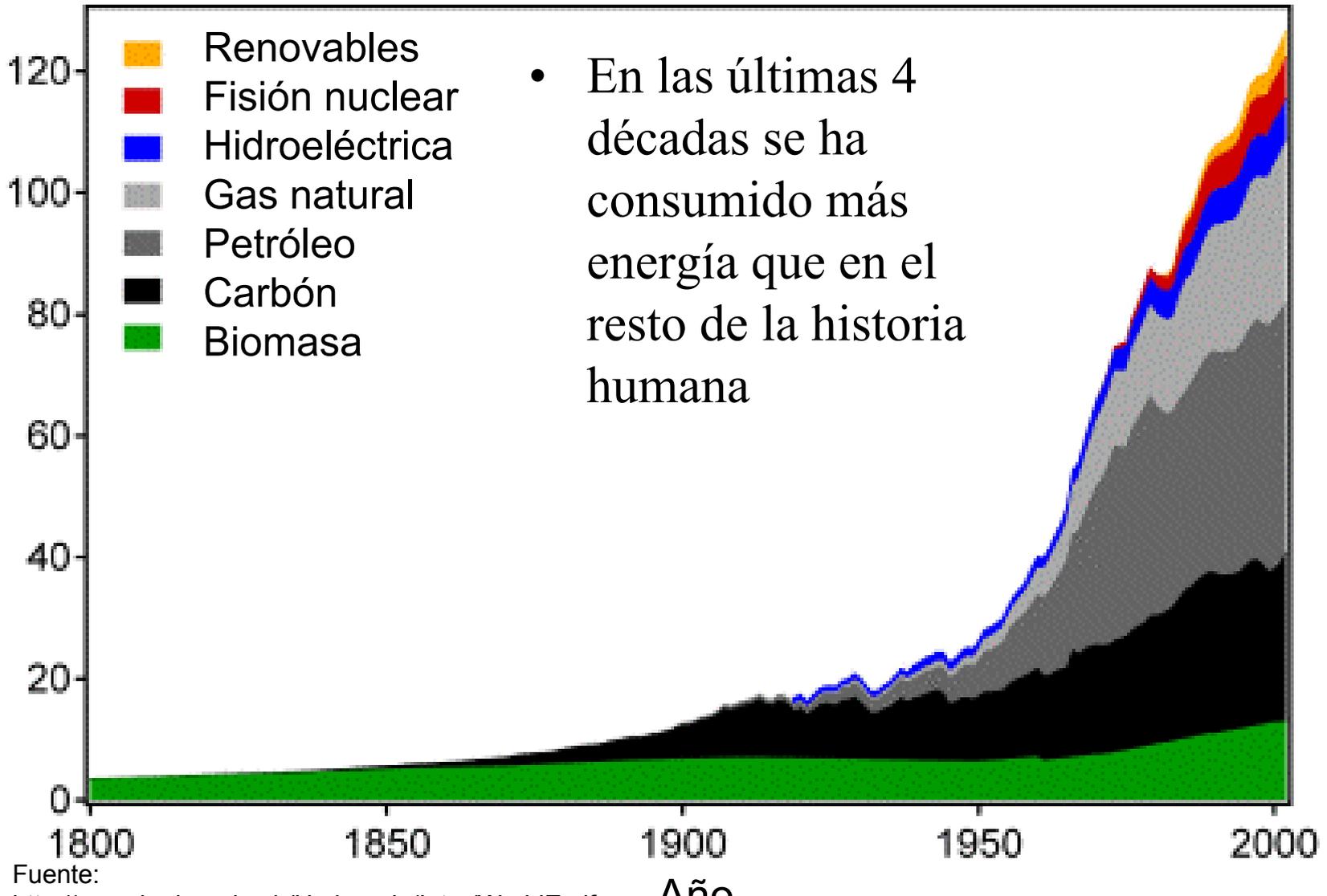


Fuente: Earl Cook: "The flow of Energy in an Industrial Society"
 Scientific American, 9/1971, Pág. 126

El imparable ascenso del consumo energético...



Demanda mundial de energía en 10^{12} KWh/año



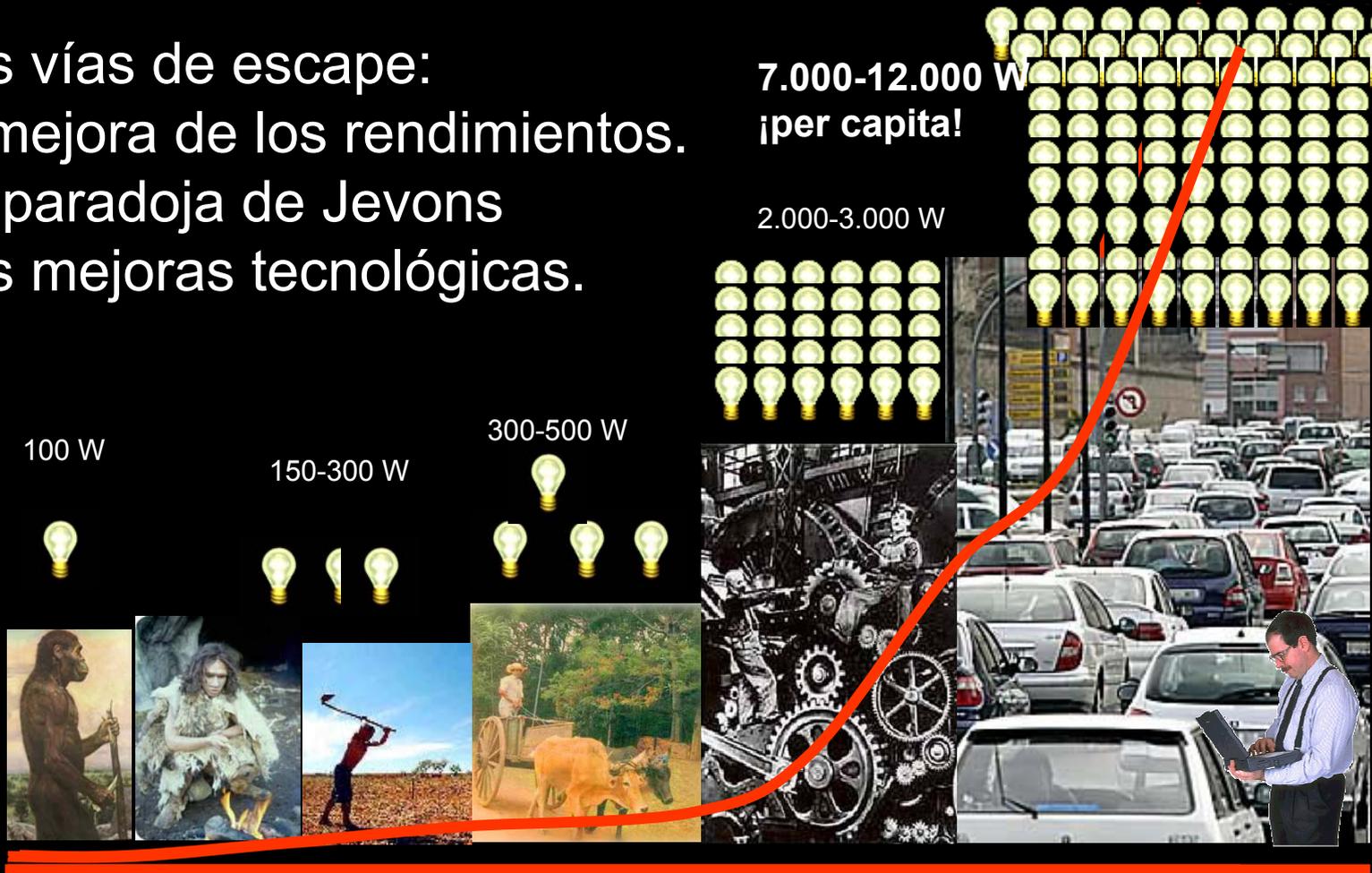
Fuente:

Año

Los grandes mitos energéticos



Las vías de escape:
la mejora de los rendimientos.
La paradoja de Jevons
Las mejoras tecnológicas.



2 millones
de años

500.000
años

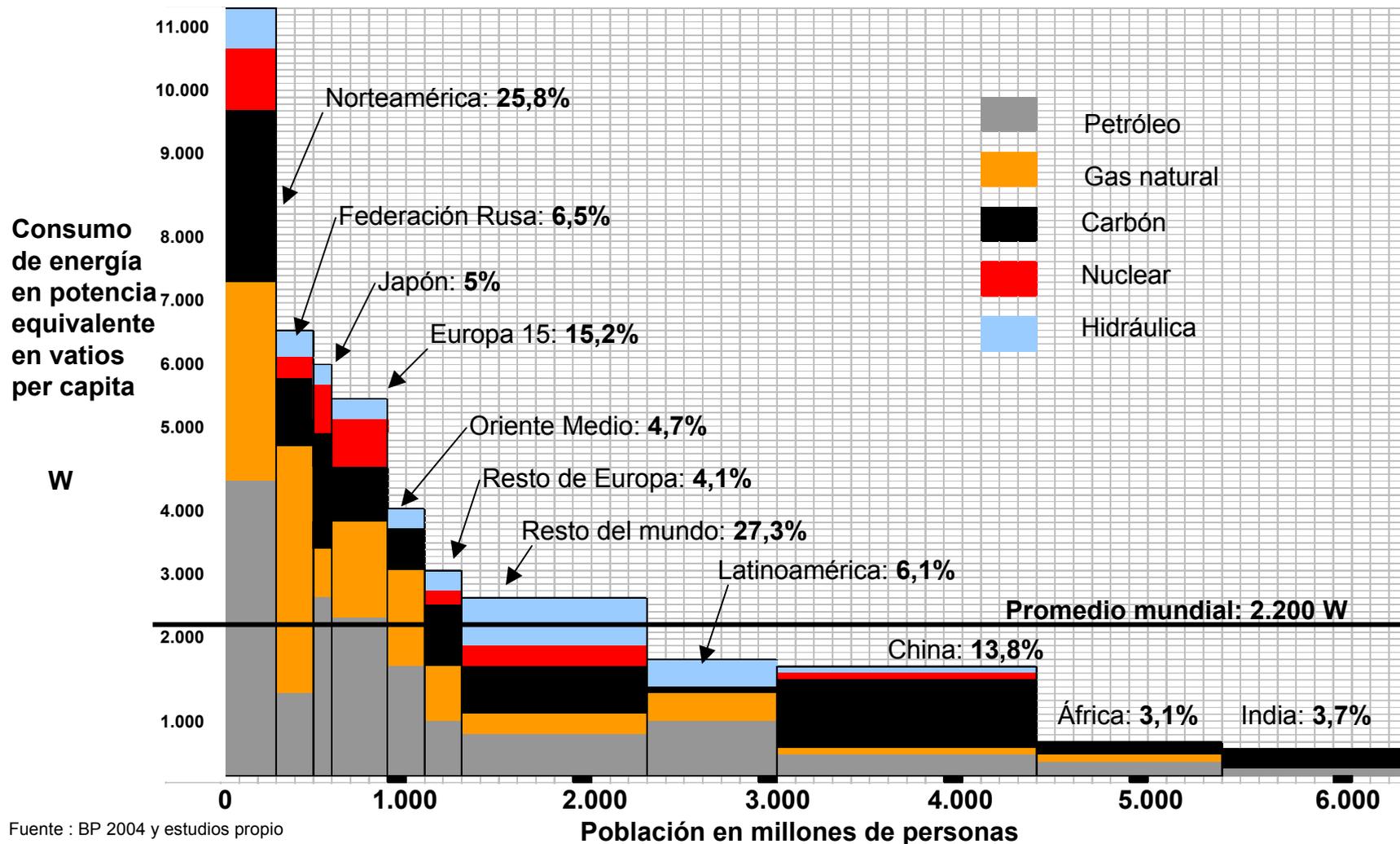
7.000 años

150 años

40 años



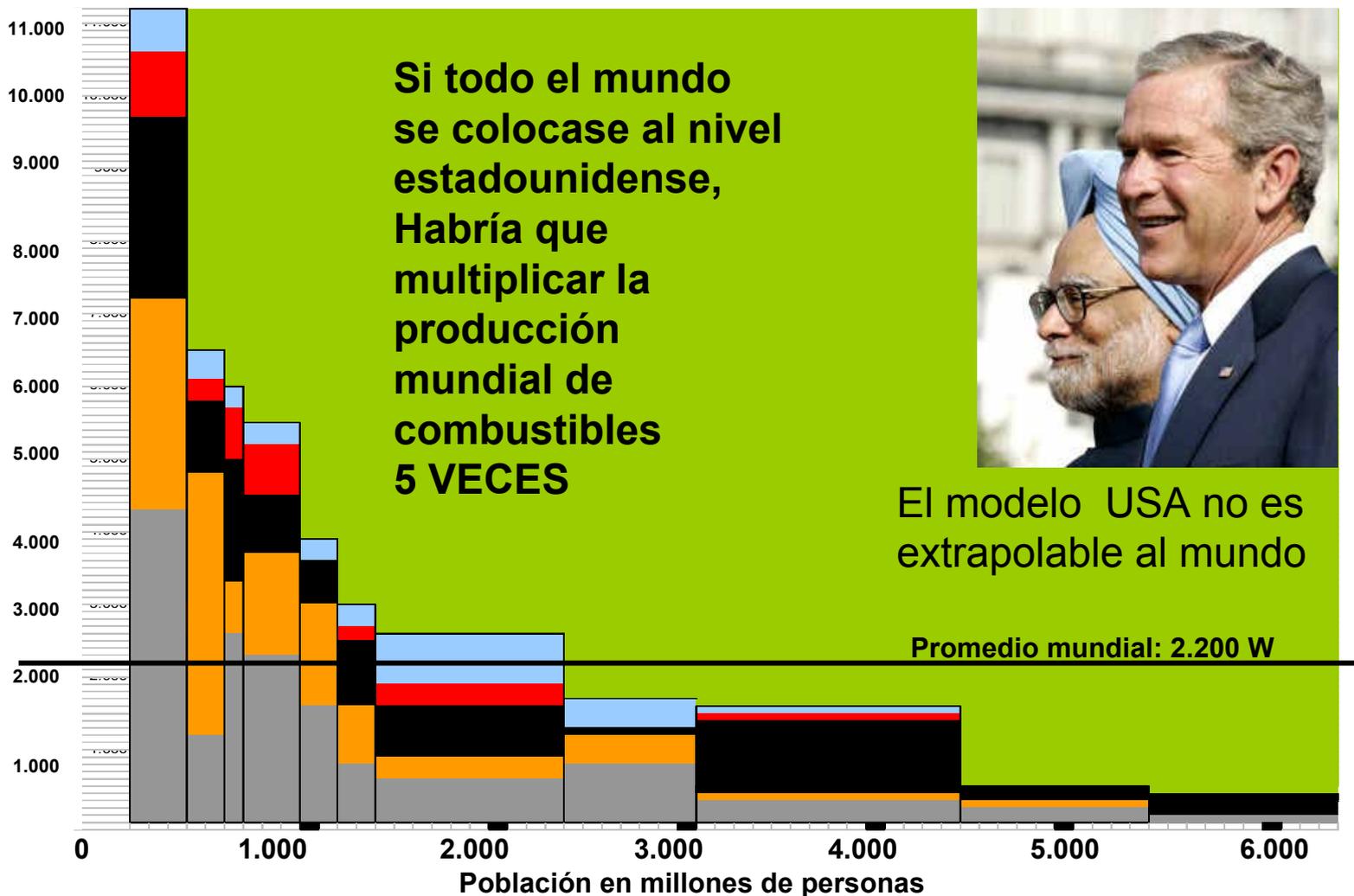
Desequilibrio energético primario del consumo mundial



Fuente : BP 2004 y estudios propio

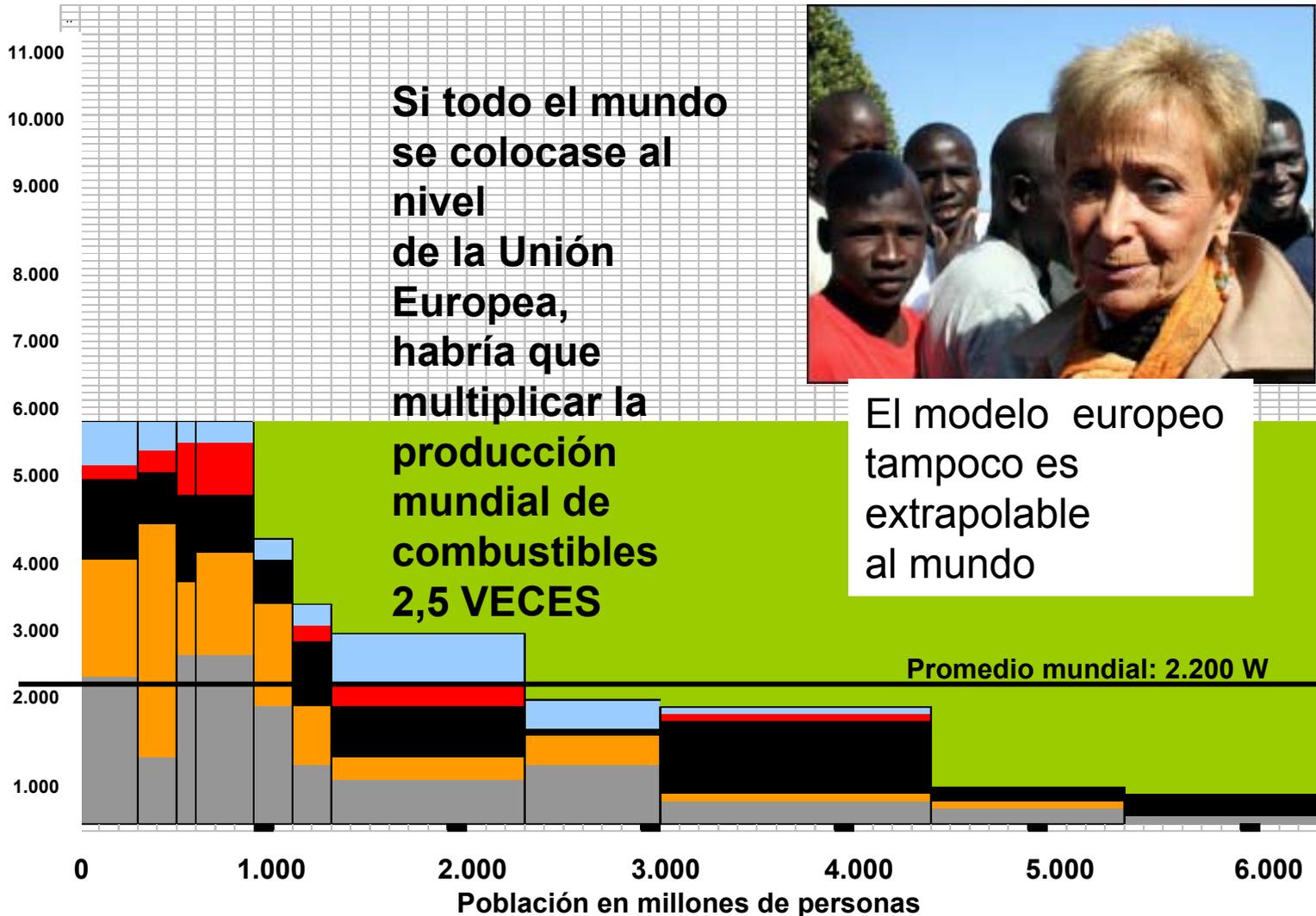


Una reflexión sobre dónde estamos y adónde queremos ir



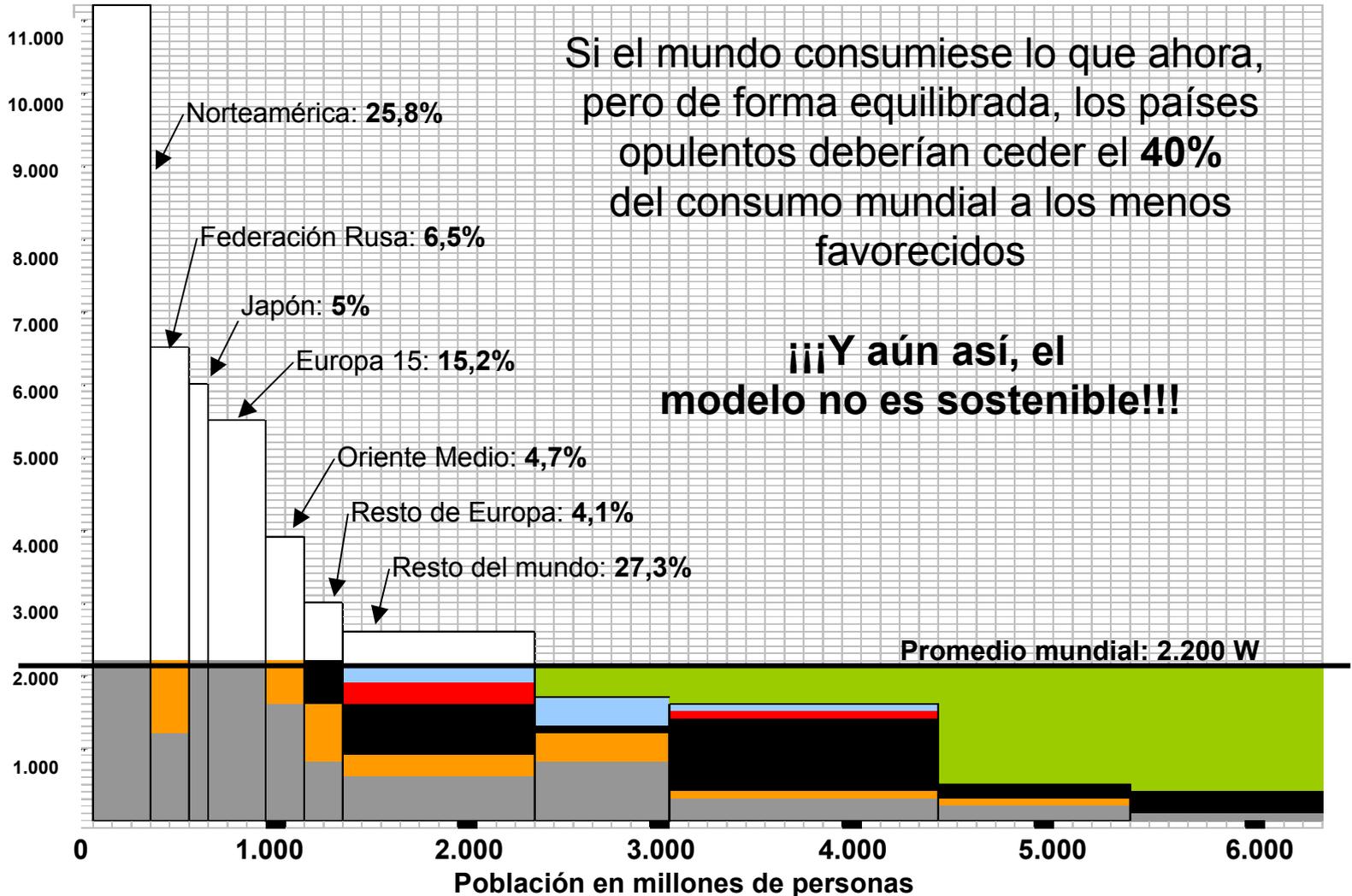


Una reflexión sobre dónde estamos y adónde queremos ir





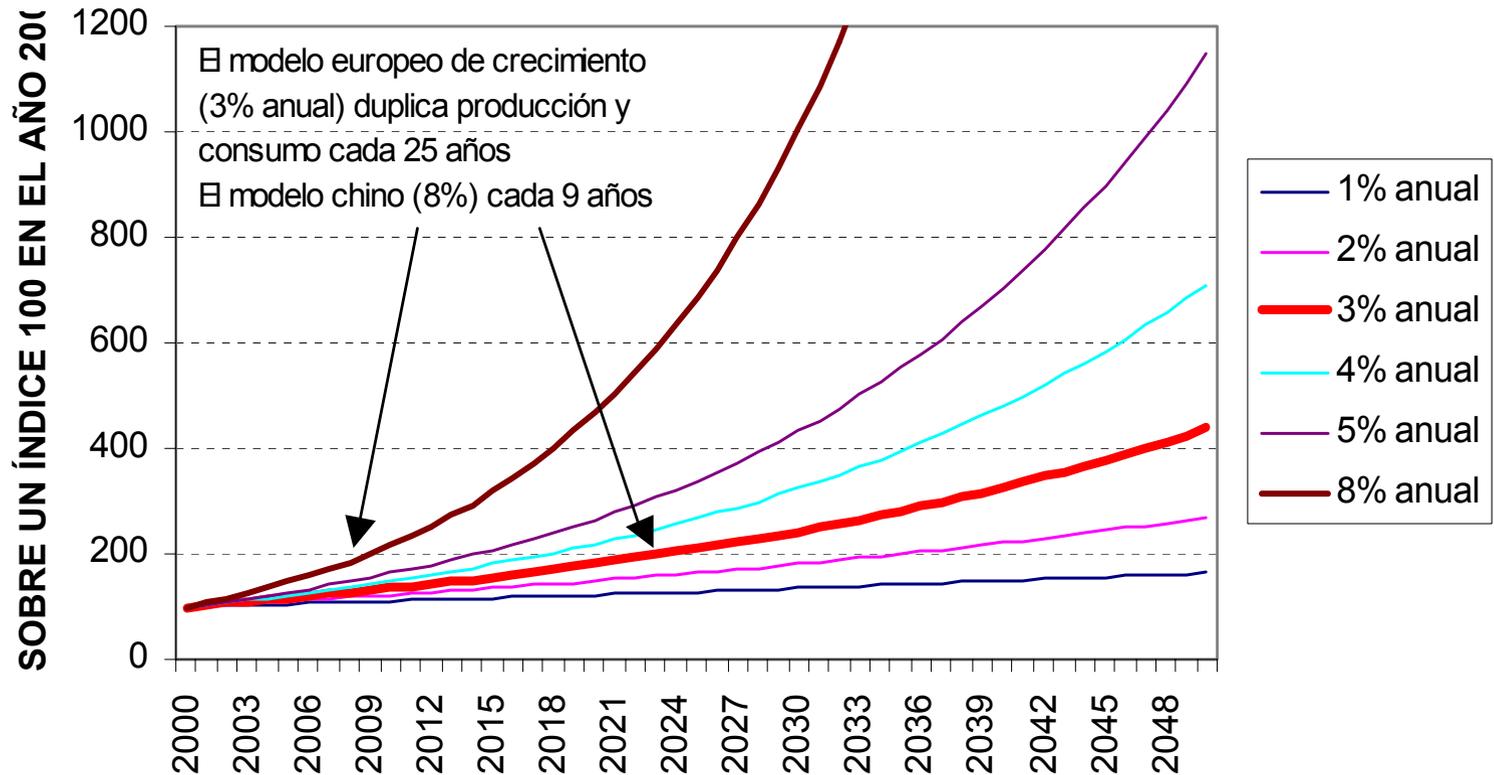
Una reflexión sobre dónde estamos y adónde queremos ir



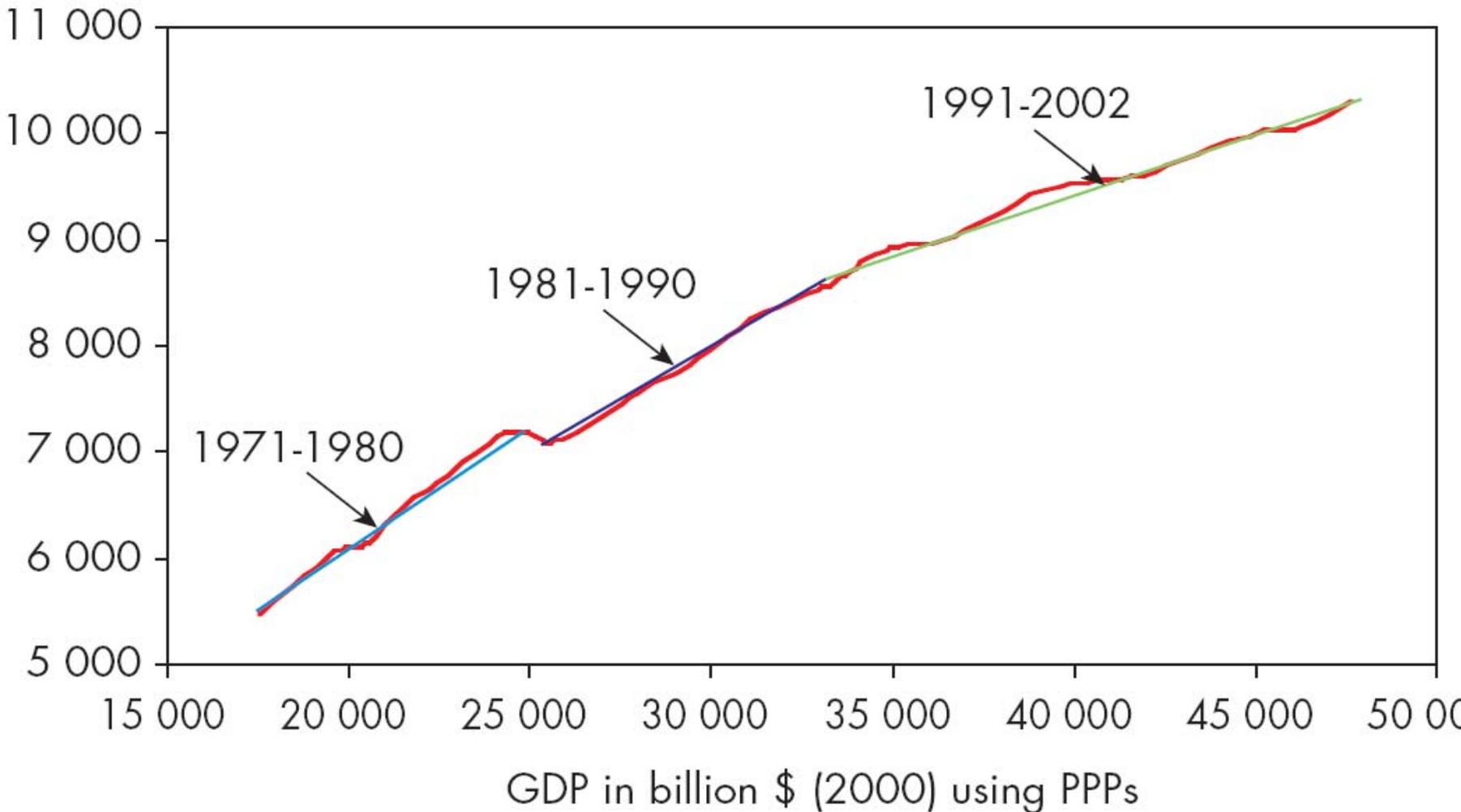
El crecimiento ilimitado en el inconsciente colectivo



MODELOS DE CRECIMIENTO ECONÓMICO ENTRE EL 1 Y EL 8% ANUAL



La directa relación entre consumo y gasto energético

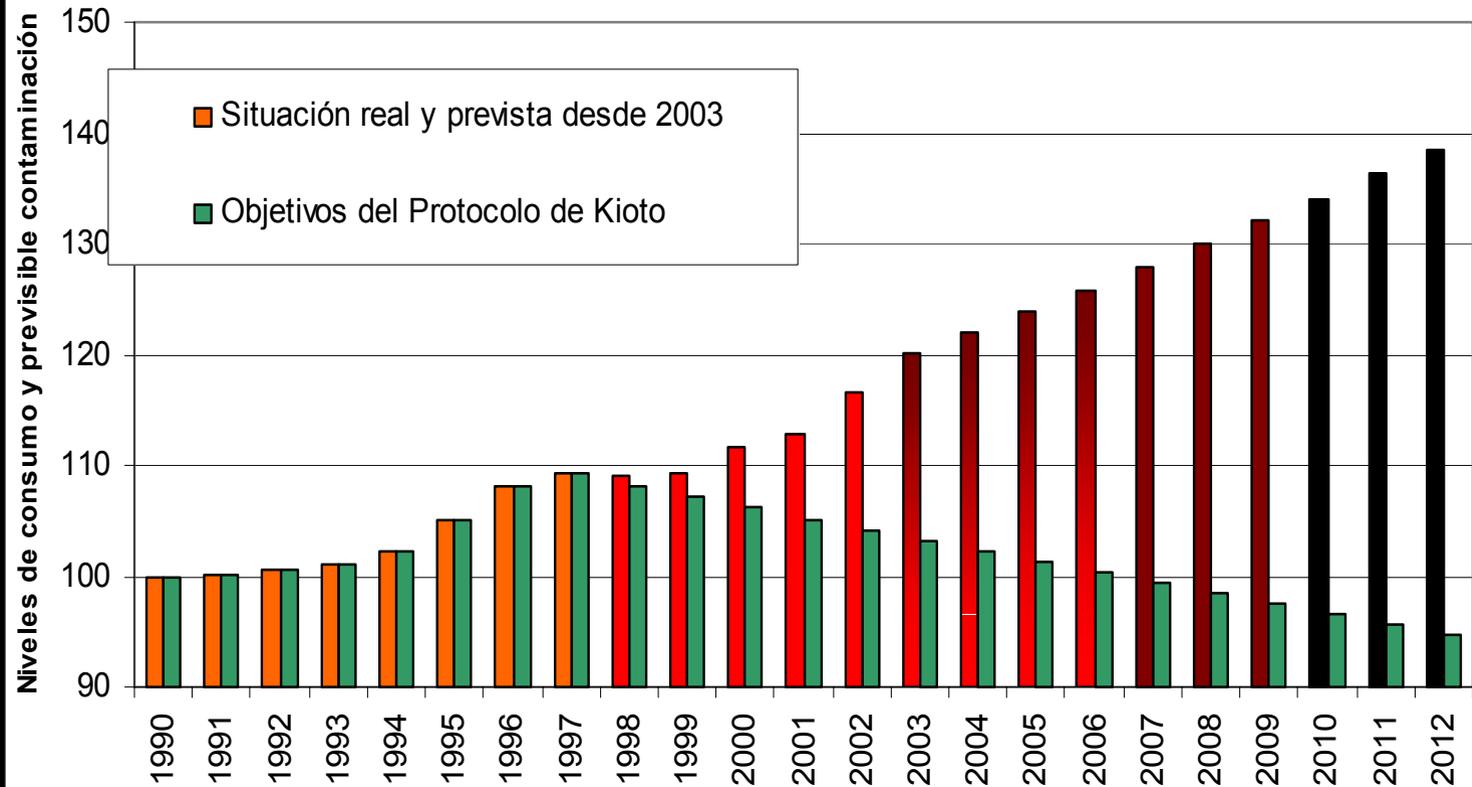


Fuente: World Energy Outlook 2004. Agencia Internacional de la Energía

El paradigma de Kioto



Las insuficiencias de Kioto

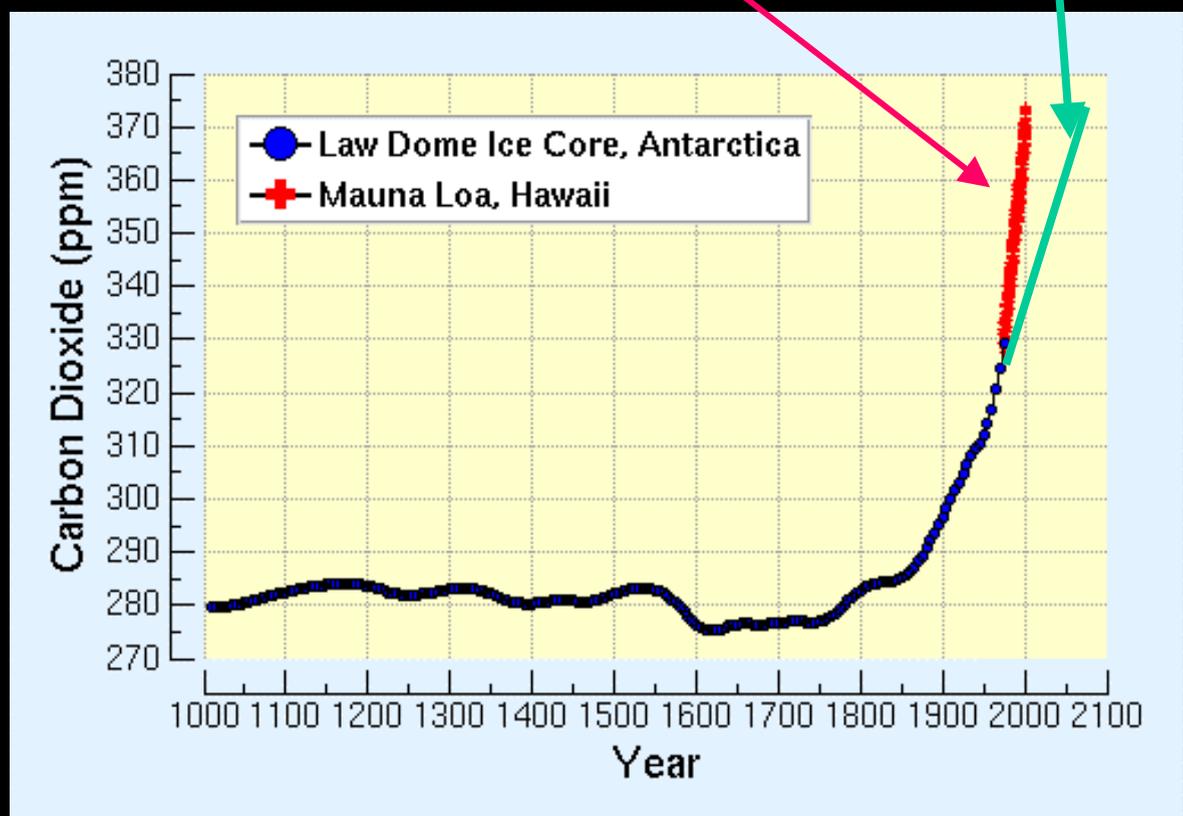


Los autoengaños: el paradigma de Kioto/2



CO₂ sin Kioto

CO₂ con Kioto



La producción y el consumo de petróleo en el mundo



- Se queman 4.500 estadios Bernabeu al año
- o 50.000 Prestiges



La producción y el consumo de carbón en el mundo



Se queman 2.300 estadios Bernabeu llenos de carbón cada año. Unas 5.538 Mtoneladas



La producción y el consumo de gas en el mundo



Se queman unos 2,4 millones de estadios Bernabeu llenos de gas a presión atmosférica cada año



¿Y cual es el futuro previsible?

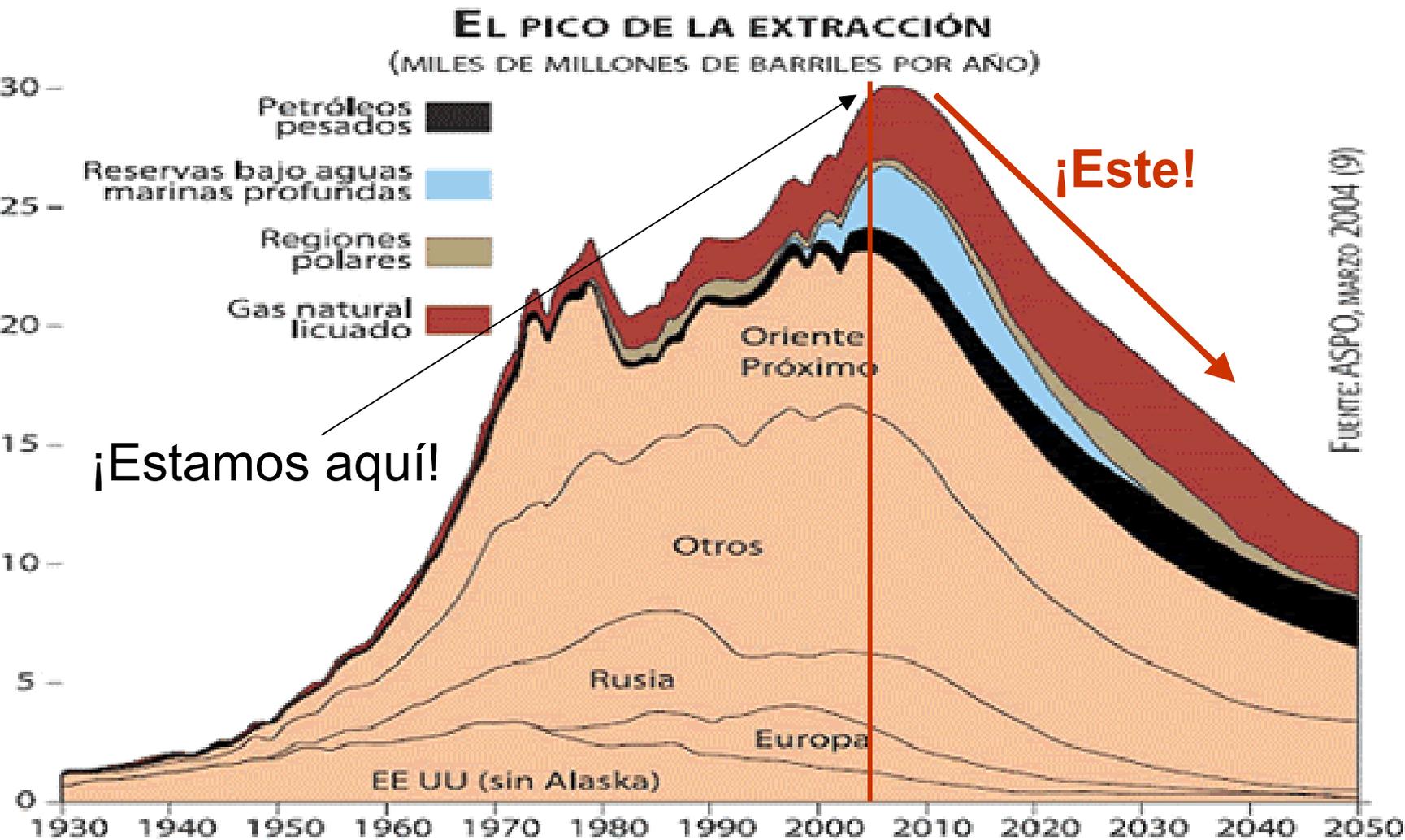
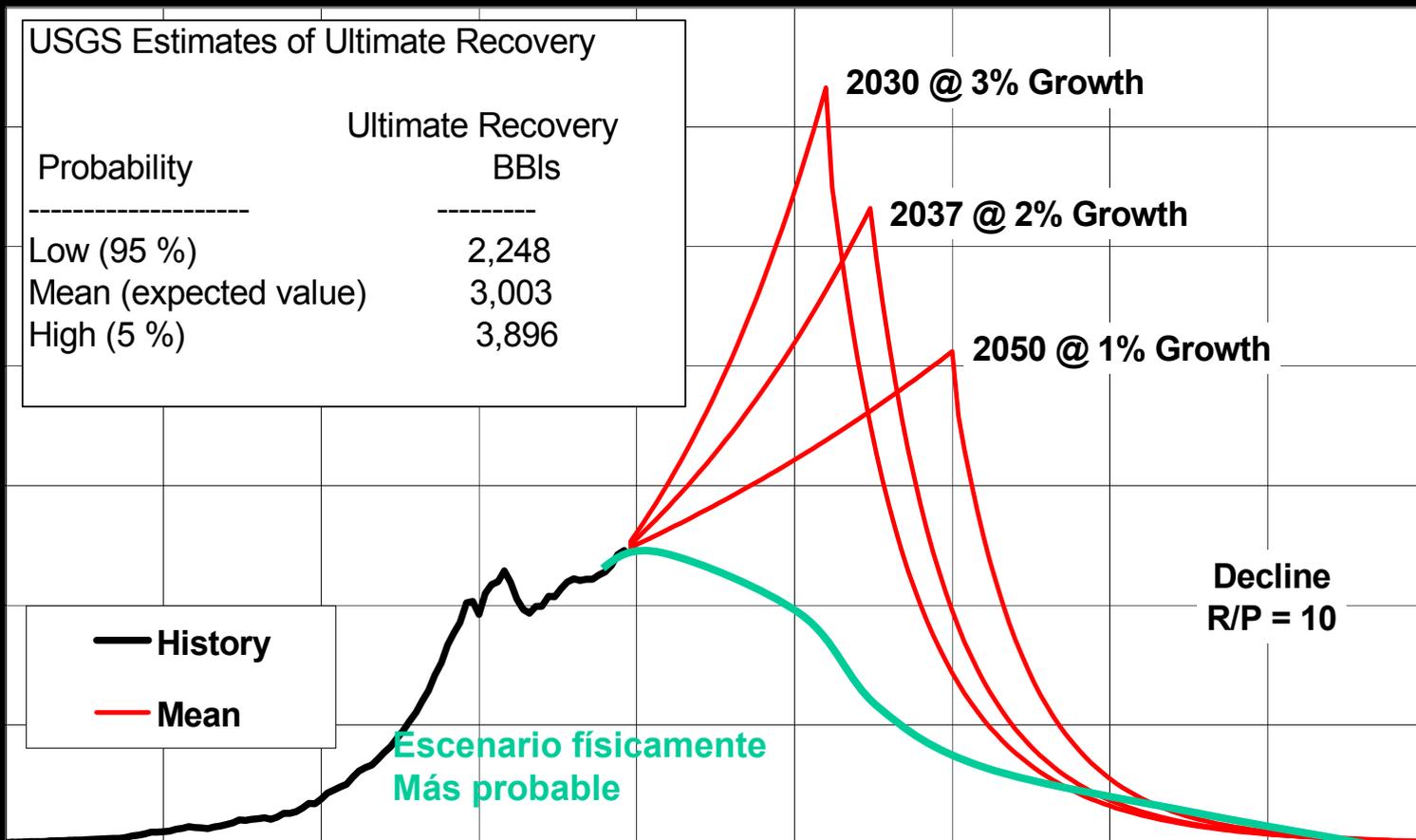


Figura 3: Gráfico de la producción mundial de petróleo según la Asociación para el Estudio del Cenit del Petróleo (ASPO).



¿Cómo ven el futuro los grandes?

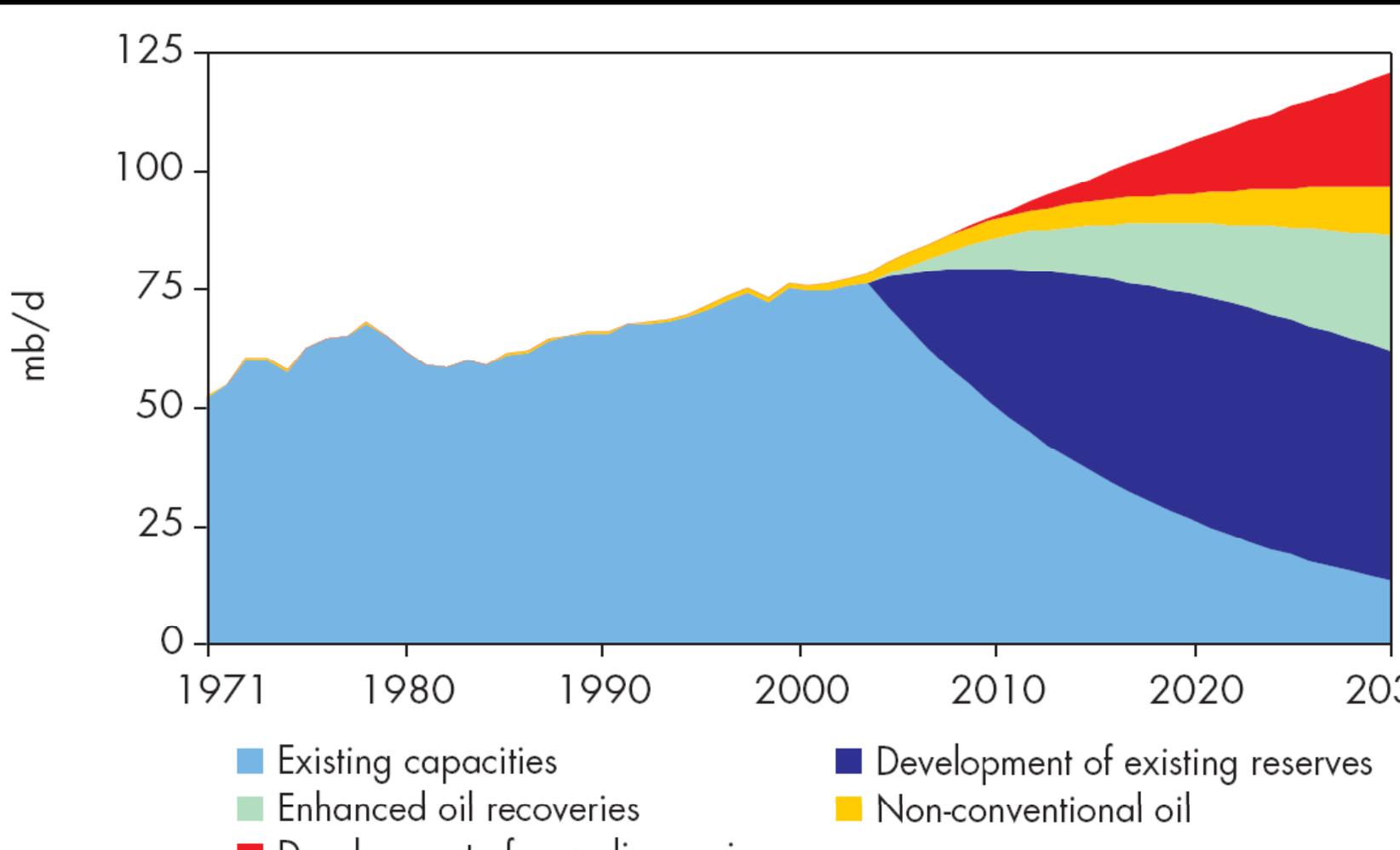
El USGS plantea tres escenarios físicamente imposibles



¿Cómo ven el futuro los grandes?/2



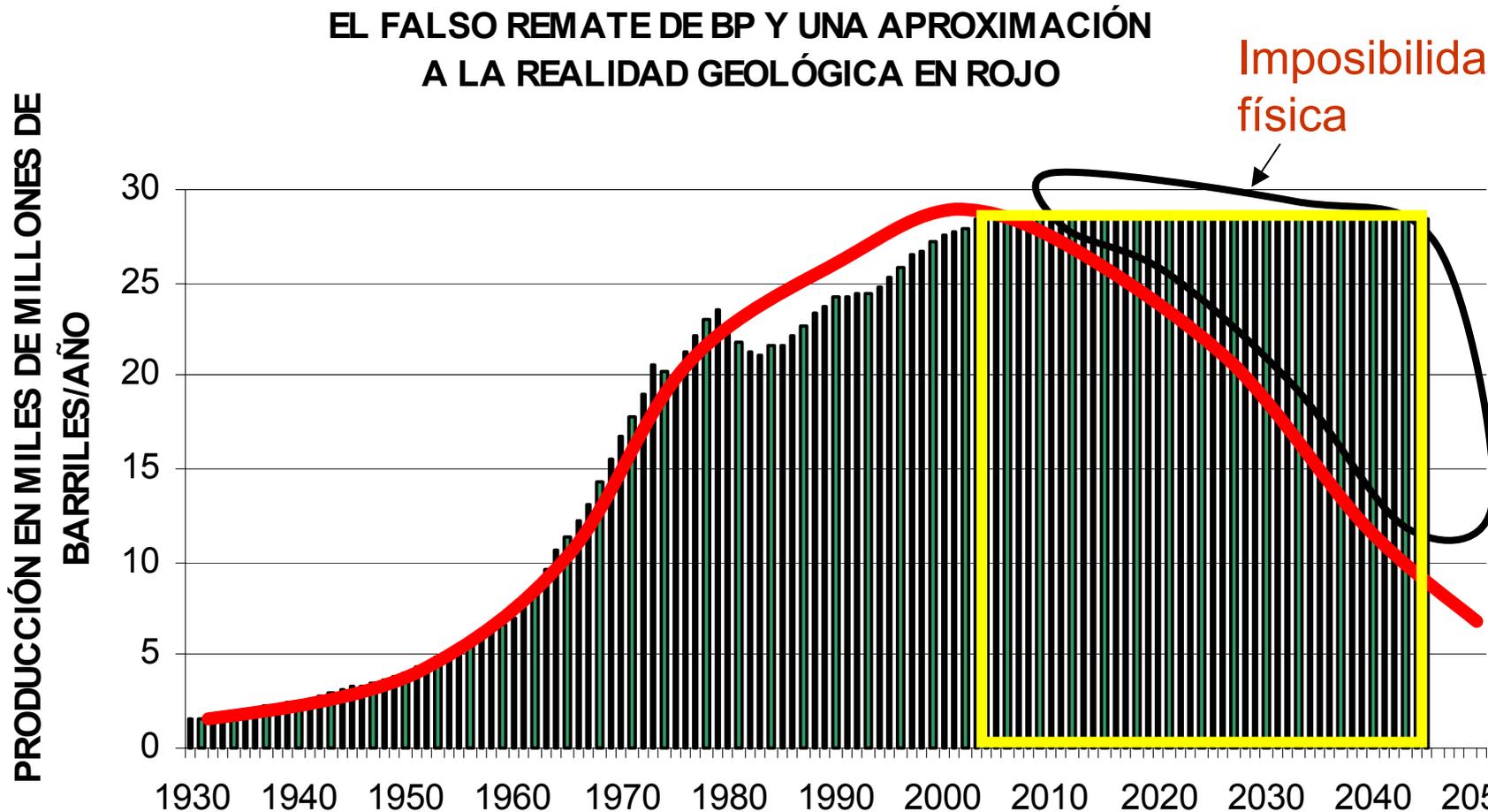
La AIE confía en cuatro salidas COMBINADAS muy inverosímiles para seguir creciendo.



¿Cómo ven el futuro los grandes?/4



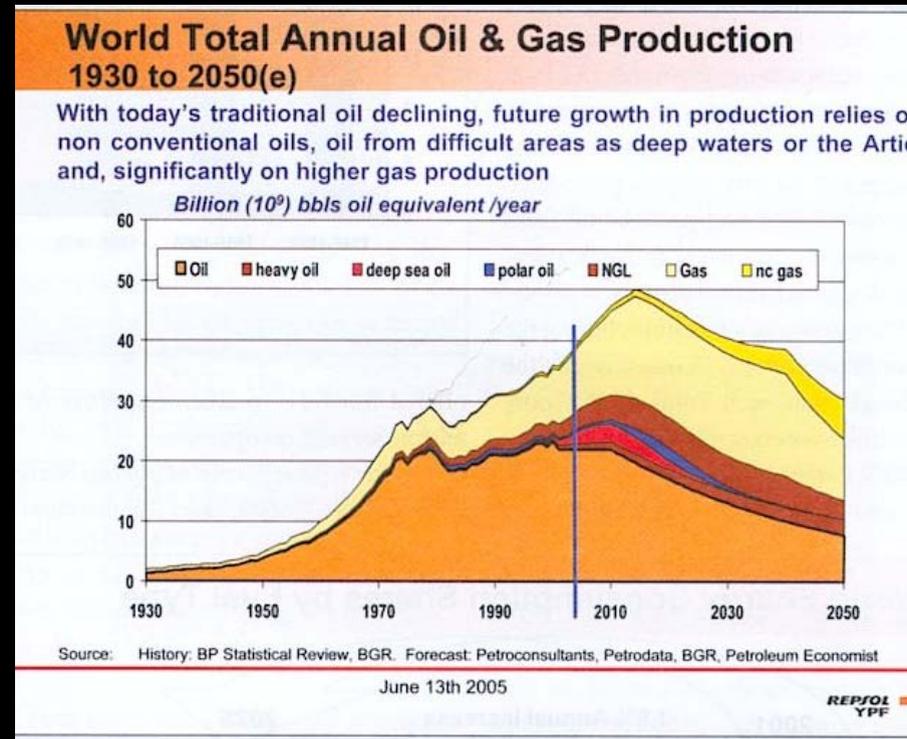
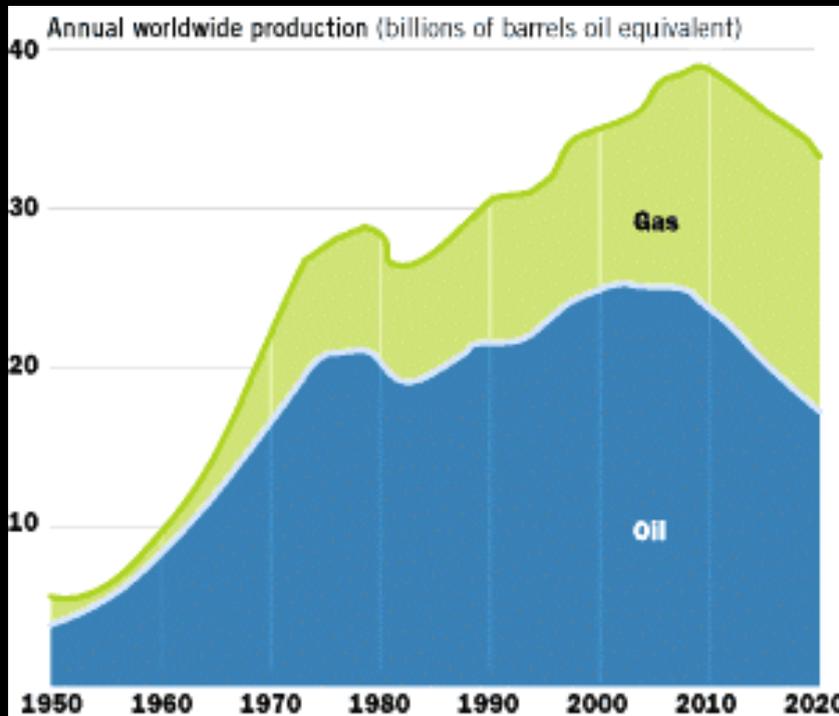
El falso planteamiento de la relación reservas/producción



¿Cómo ven el futuro los grandes?/5



- Lo sabe el ENI (INI Italiano) y lo sabe Repsol-YPF.

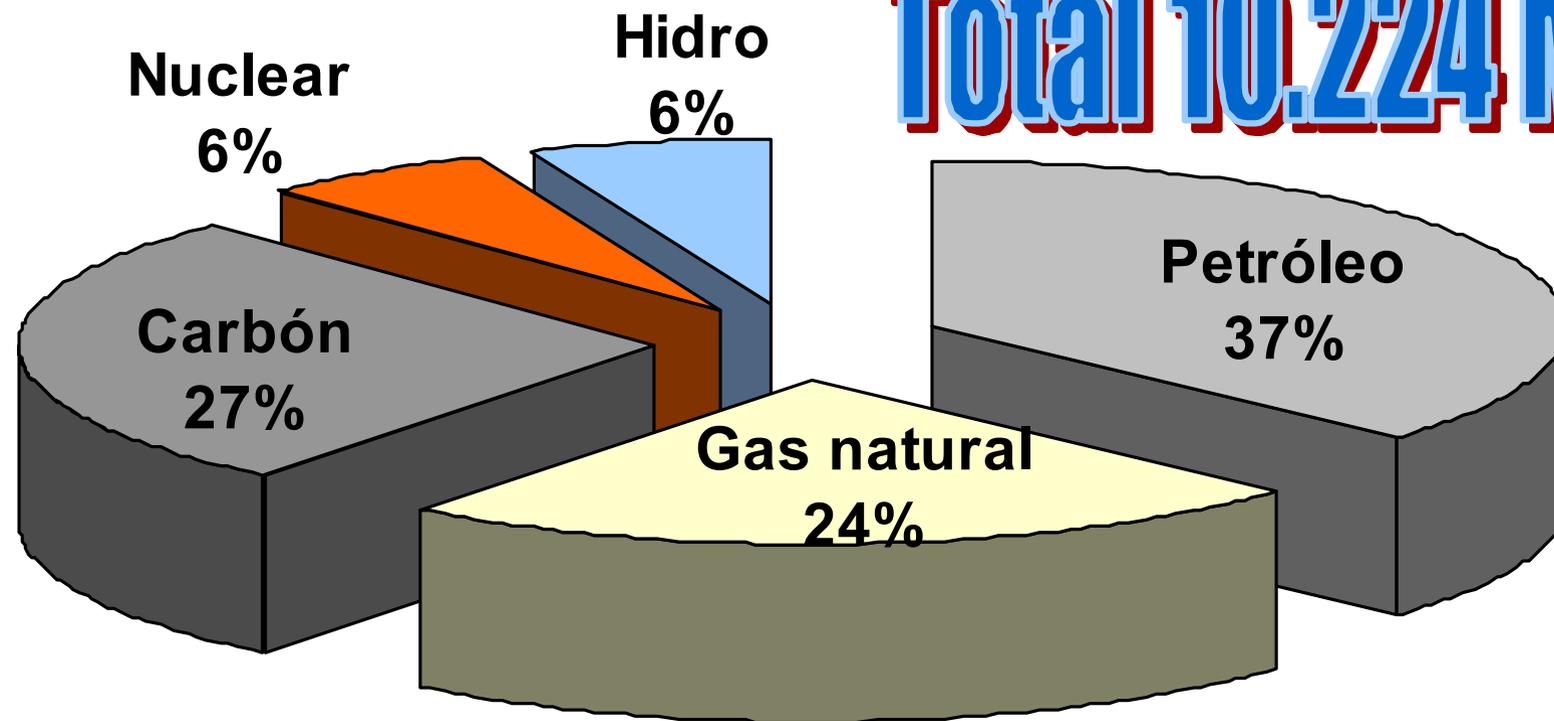


La producción y el consumo mundial por tipo de fuentes



Energía primaria en 2004

Total 10.224 MTPes

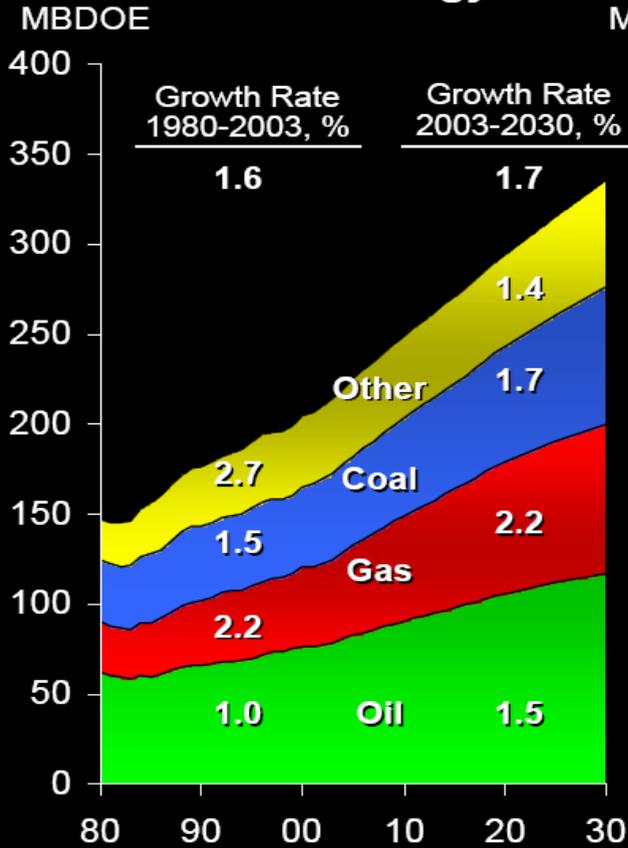


Las energías renovables en el contexto energético global

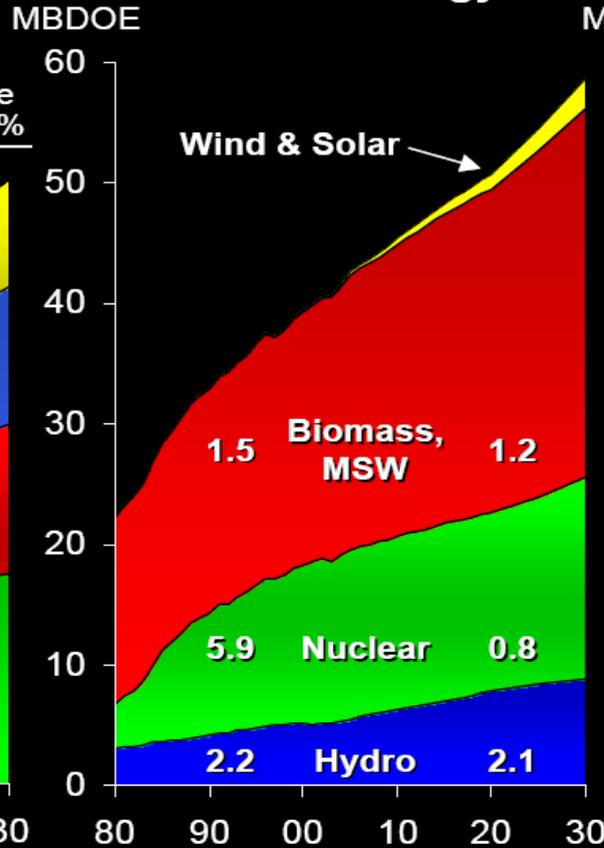


Oil & Gas Remain as Primary Energy Sources

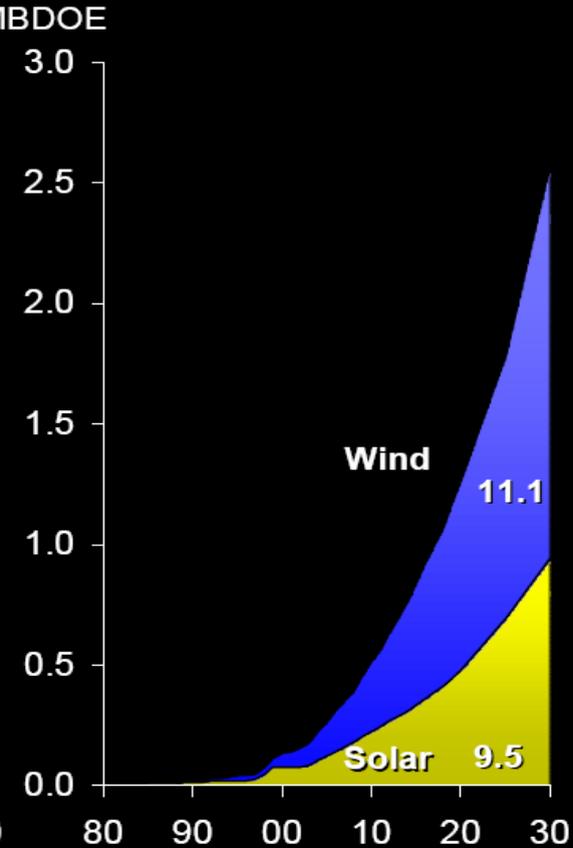
Total Energy



Other Energy

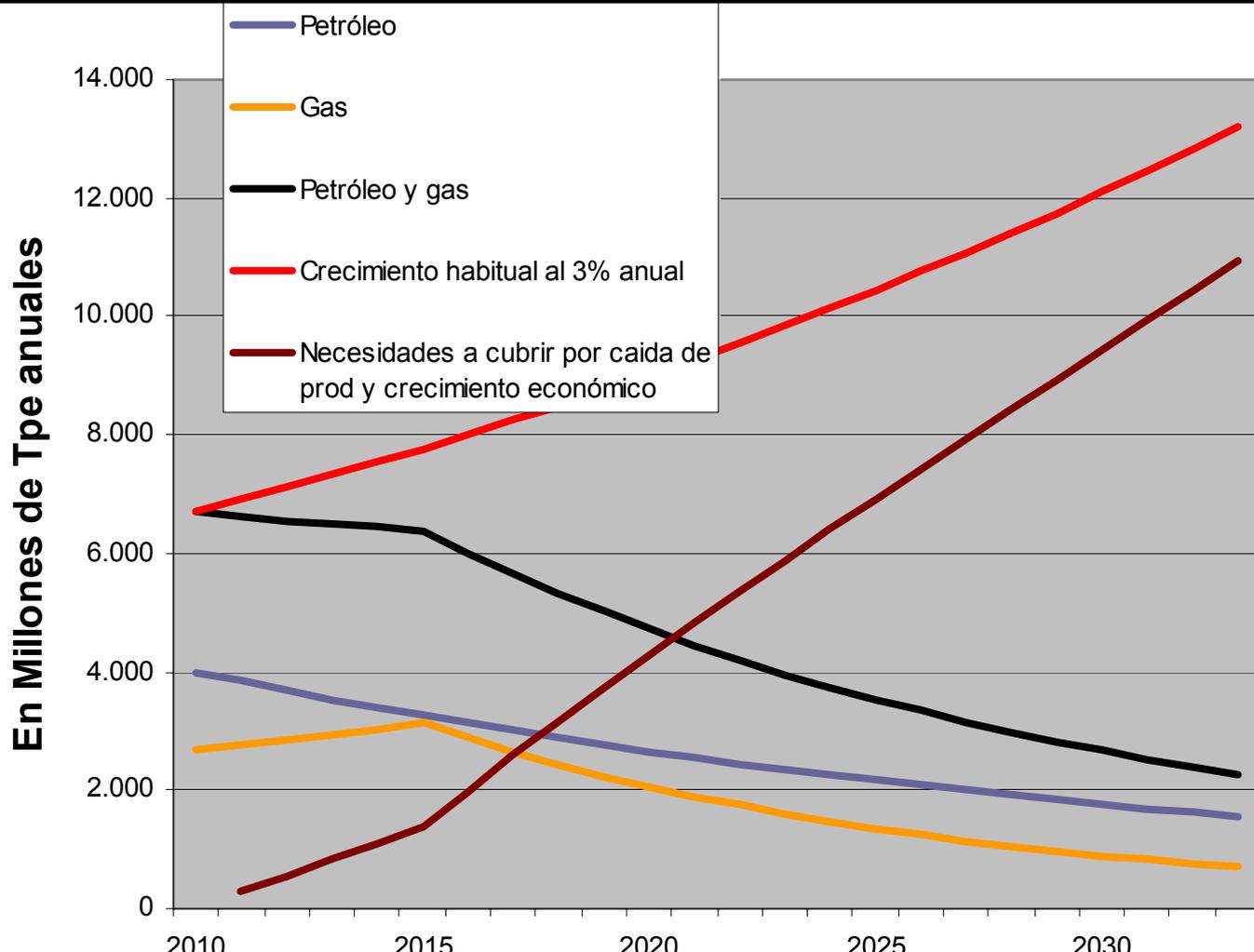


Wind & Solar





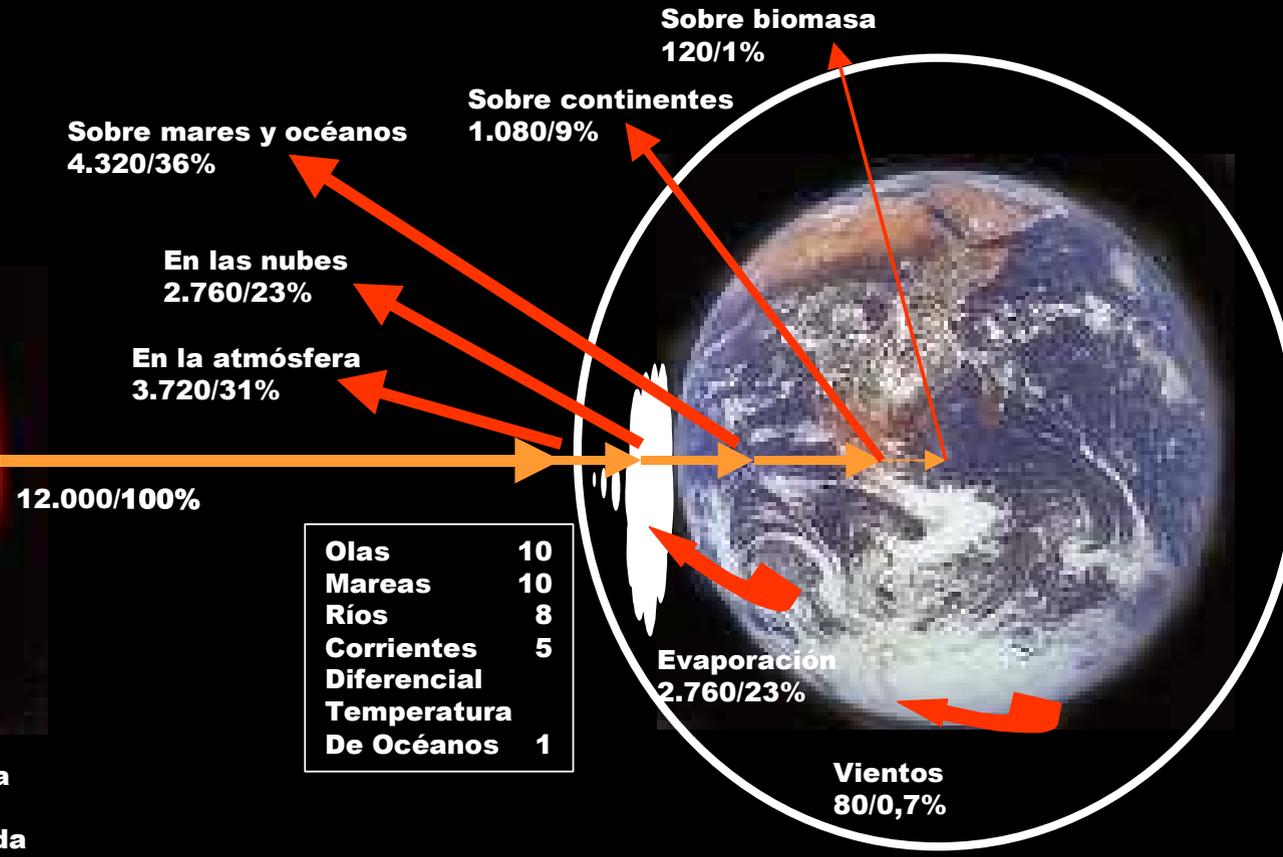
Energías renovables: sustitutivas, paliativas o distractivas



El ciclo de energía en el planeta Tierra



**Nº de veces el consumo
 Total de energía primaria
 Consumida por el hombre
 /% sobre la radiación total
 solar**



→ Onda corta emitida
→ Onda larga reflejada

Fuentes: *The New Enciclopedia Britannica*. Volume 16 Pags. 436-437. 15th Ed. Chicago 1992
 Josep Puig y Joaquim Corominas. "La ruta de la energía" Ed. Anthropos Pag 166 y sig.
 Hermann Scheer "Estrategia solar". Plaza y Janés. 1993. Pags. 123 y sig. British Petroleum. World Statistics 2003

El mito del hidrógeno



La economía del
hidrógeno :

¿Qué implica?

¿Es factible?

¿Es renovable



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



Inconvenientes del 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.)

Licuado resulta más práctico de transportar.

PERO SUPONE:

Una pérdida del 30% en el proceso de licuefacción



Pérdidas por filtración de >1% diario



Ventajas del hidrógeno/2

Que si funciona?

¡PUES CLARO QUE
FUNCIONA!

➤ PERO SEGÚN
PARA QUÉ USOS
Y VOLÚMENES



Inconvenientes 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 de H₂ o a muy alta presión o licuado)**
- > **La llama es invisible**
- > **El pequeño tamaño de la molécula de hidrógeno hace que se filtre con facilidad**



Número atómico: 1

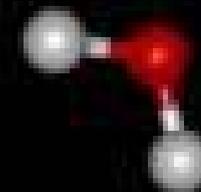
Masa atómica: 1,00707

Inconvenientes 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?



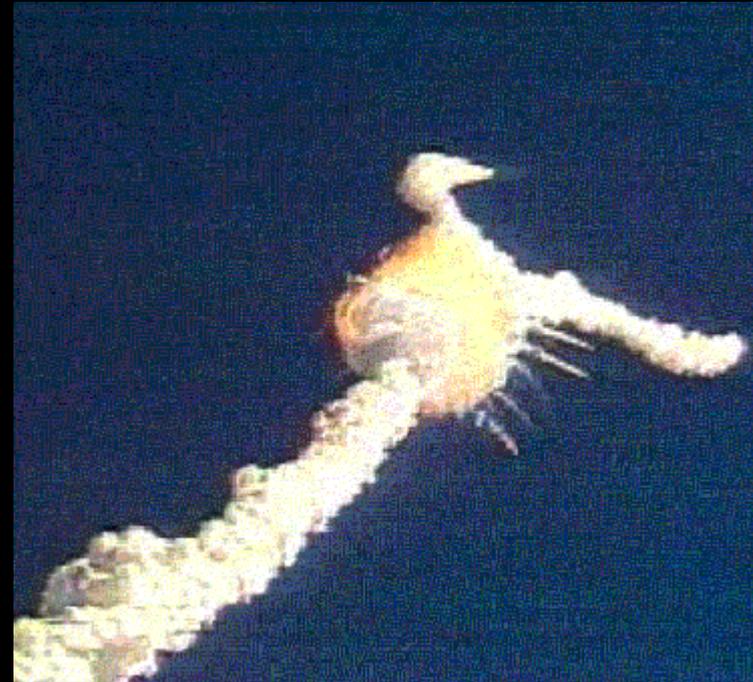
EL CHALLENGER Y EL DISCOVERY SON PUNTAS TECNOLOGICAS, PERO...

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



Inconvenientes del hidrógeno/5



Por lo anterior (pérdidas por filtración + inflamabilidad), con un vehículo de hidrógeno hay que olvidarse de los estacionamientos cerrados



Inconvenientes 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*

Gasolina



=

Hidrógeno



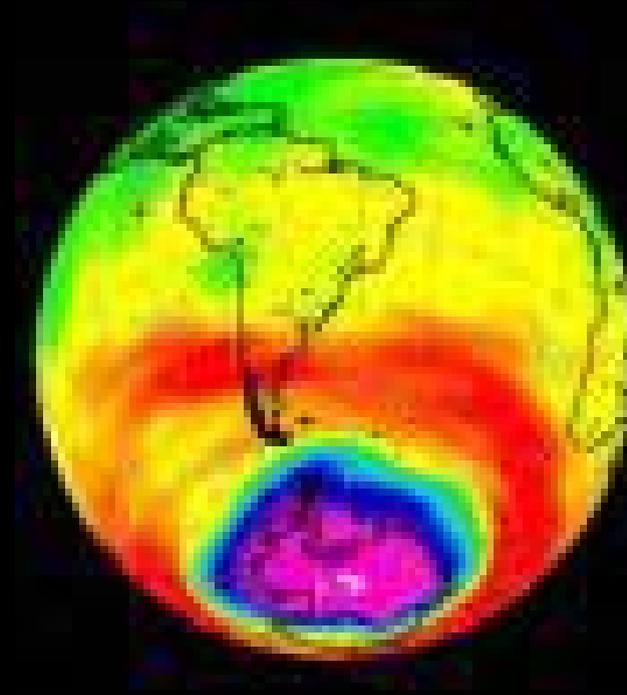
* The Future of the Hydrogen Economy: Bright or Bleak?, Baldur Eliasson y Ulf Bossel, ABB Switzerland Ltd.

Inconvenientes del hidrógeno/7



El efecto sobre la capa de ozono

- 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.



Inconvenientes 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



Inconvenientes 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.



Inconvenientes del hidrógeno/10



Coste de infraestructuras:

- Convertir las infraestructuras de gasolina o gasóleo a hidrógeno, exigiría enormes cantidades de capital y de energía
 - 700 millones de coches de célula de combustible
 - 50 millones de tractores
 - Millones de camiones, grúas, excavadoras, maquinaria minera
 - La flota mercante mundial
 - La flota aérea mundial



¿De dónde saldrá la energía para ello?

Inconvenientes del hidrógeno/11



La pérdida por fugas por fugas (hasta un 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

Energía eólica. Estado actual



Energía 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





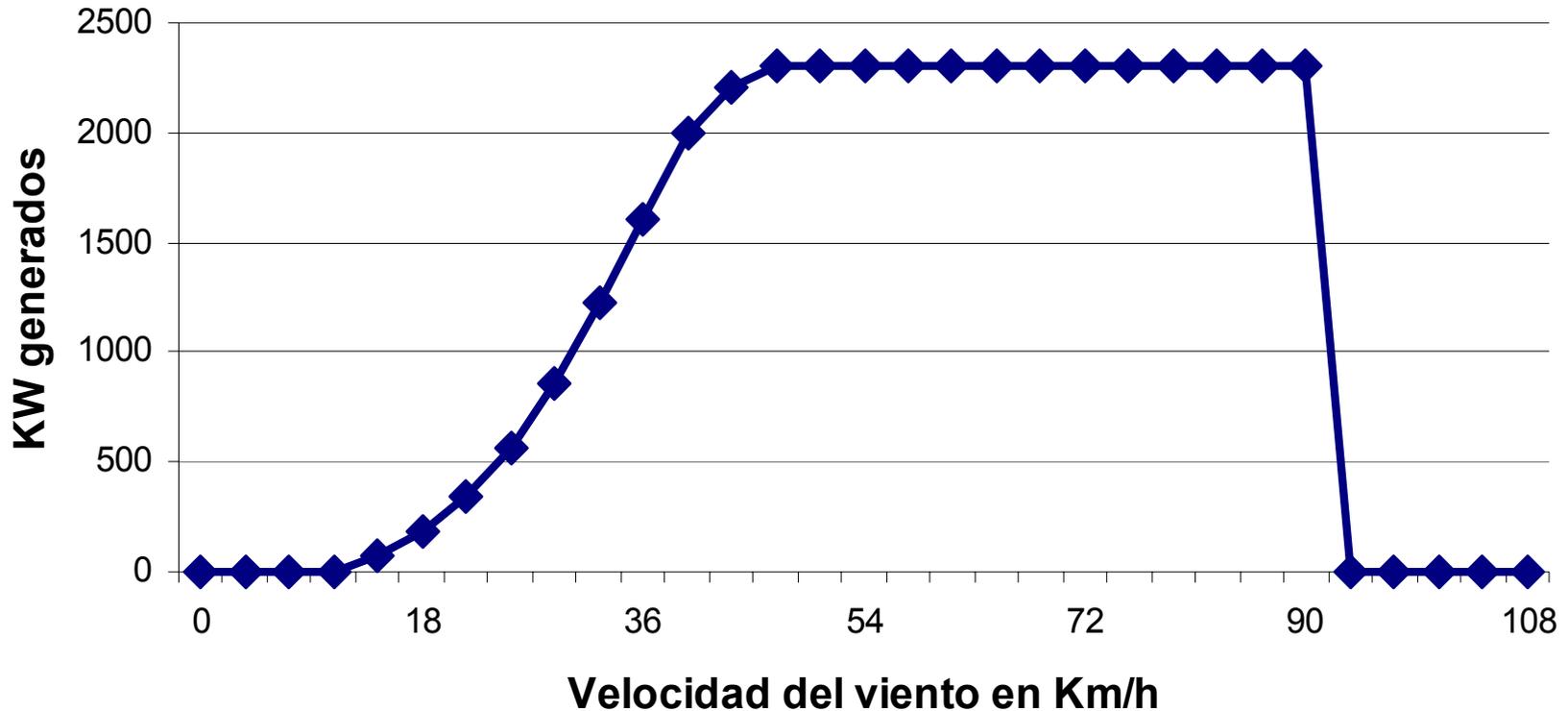
Energía eólica. Cómo funciona/2

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%

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



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





- 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 necesarias



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





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

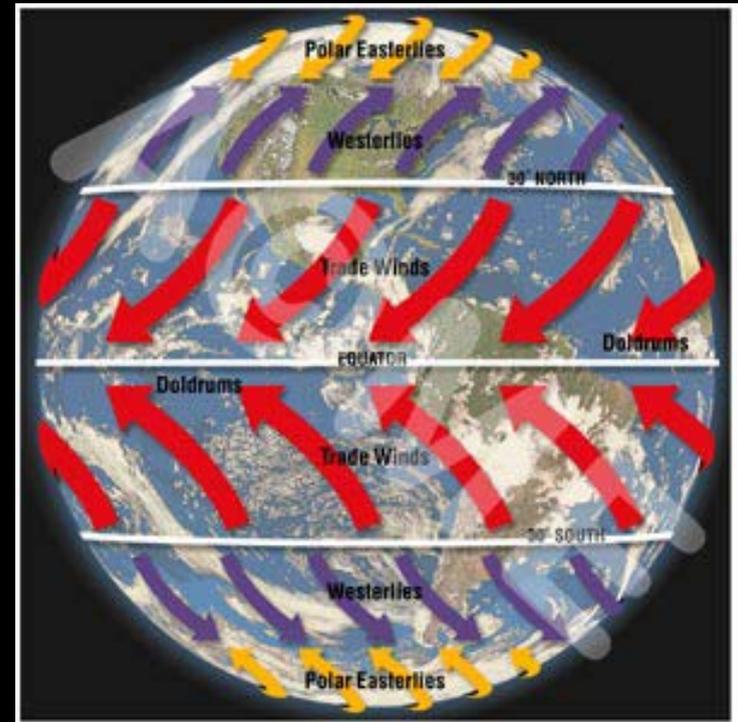


Energía eólica. Limitaciones/1



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



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



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



Los límites de la eólica



- Pala de 61,5 m
- Torre de 120 m.
- Altura máxima 183 m.

Una pala con fibra de carbono pesa el 70% de una igual de fibra de vidrio, pero su coste energético de fabricación es 10 veces mayor



Separaciones recomendables:

1 altura de generador en línea

5 alturas en profundidad



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



Una España eléctrica de origen eólico exigiría unos 50.000 generadores como el Nordex 90 (en campos de clase 6)

Pero ni 100.000 generadores asegurarían el suministro de forma estable, aunque consumirían:

- **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**



Eólica. Ejemplo de sustitución en España/2



SI HUBIESE QUE SUSTITUIR ADEMÁS A LOS FÓSILES CON HIDRÓGENO, PRODUCIDO CON AEROGENERADORES, SE NECESITARÍAN 200.000 GENERADORES ADICIONALES (Campos de clase 6)

.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, cuándo, cómo?

Eólica. Ejemplo de sustitución mundial



SUSTITUIR LA ELECTRICIDAD MUNDIAL ACTUAL POR EÓLICA, EXIGIRÍA UNOS 6 MILLONES DE GENERADORES N90 EN CAMPOS DE CLASE 6 (Si los hubiere) Y ESO SUPONDRÍA:

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)



Eólica. Ejemplo de sustitución mundial/2



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

SUPONDRÍAN:

3 VECES LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ACERO (DE 2004)

2.200 VECES LA PROD. MUNDIAL DE FIBRA DE VIDRIO

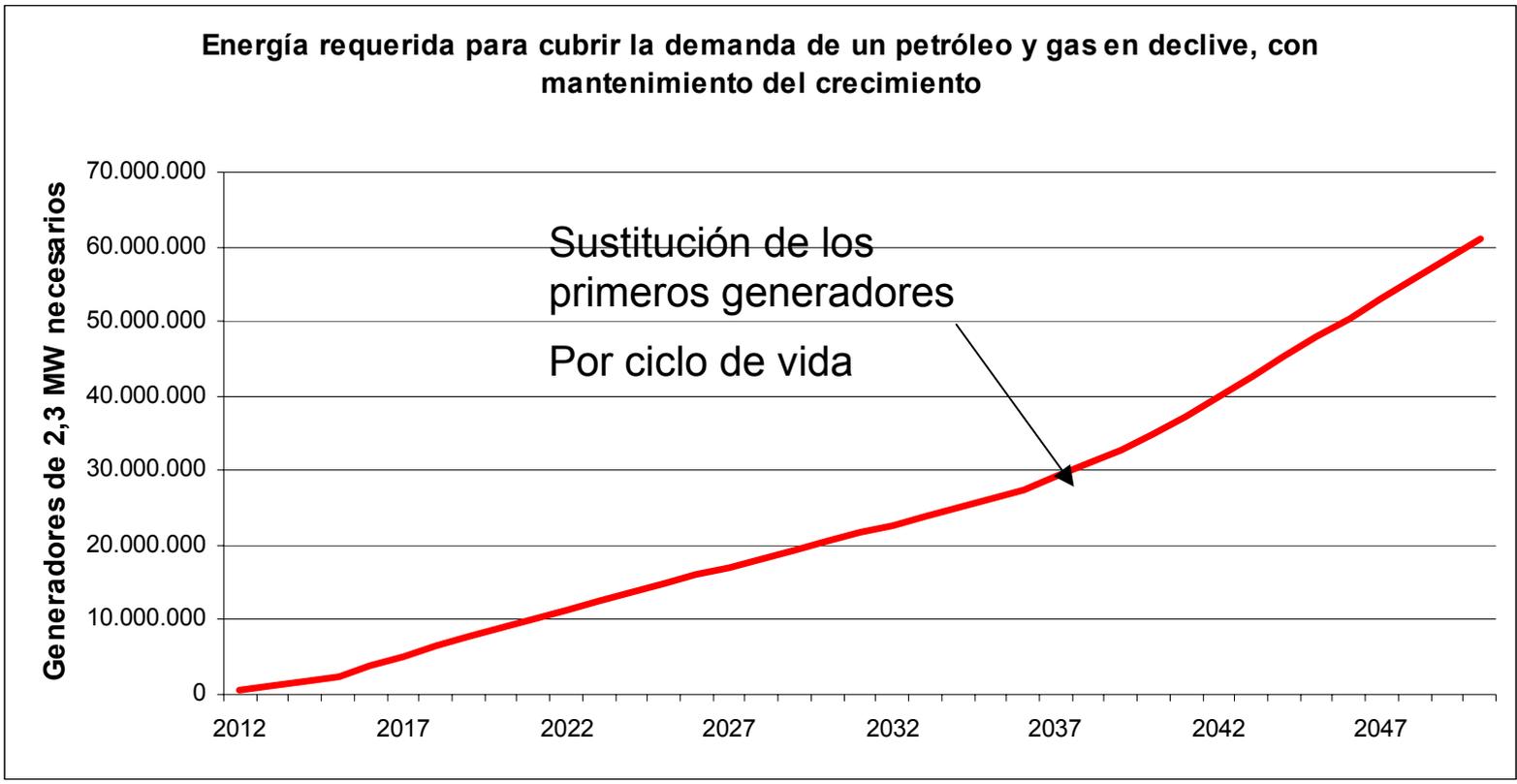
21 VECES LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE CEMENTO

LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO ES CAUSANTE DE AL MENOS EL 7% DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO





Energías renovables: sustitutivas, paliativas o distractivas

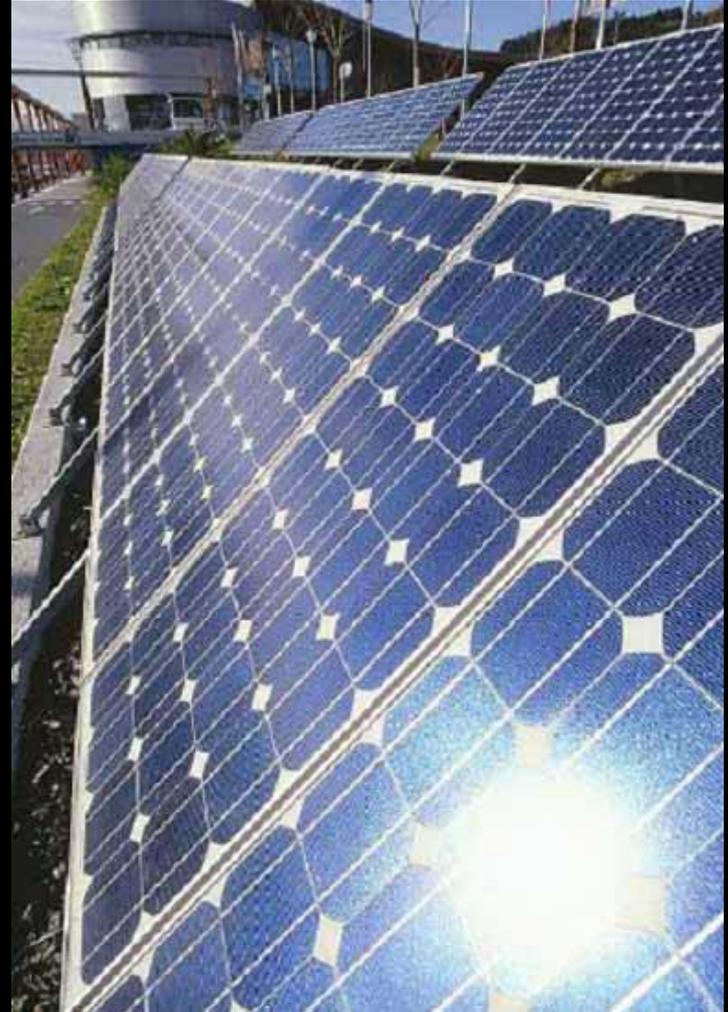


Solar fotovoltaica



Los paneles solares fotovoltaicos convierten directamente la luz solar en electricidad

De los 800-1.000 vatios/m² solares que reciben producen entre 180 y 100 vatios (7 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



OCUPAN MUCHO ESPACIO.

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



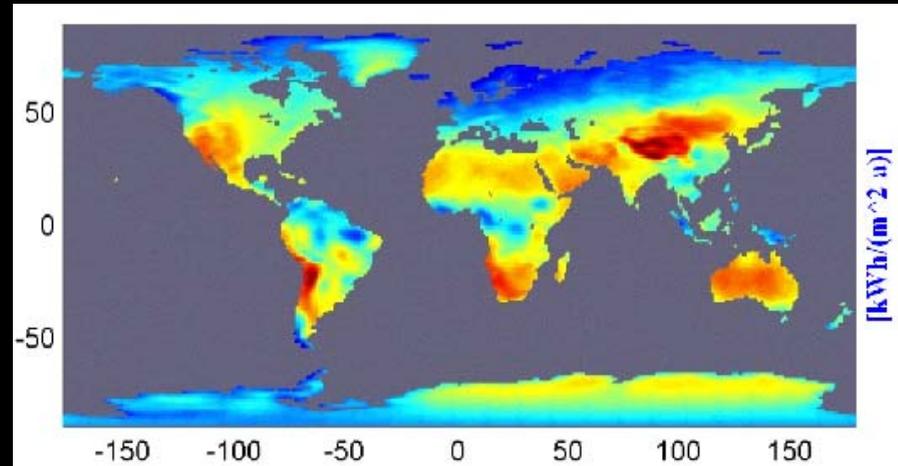
Fotovoltaica. Inconvenientes/2



No funcionan o funcionan peor de noche, con nubes o en lugares septentrionales



Alemania puede tener la mitad de insolación que España



Fotovoltaica. Inconvenientes/3



La energía eléctrica sólo produce electricidad.



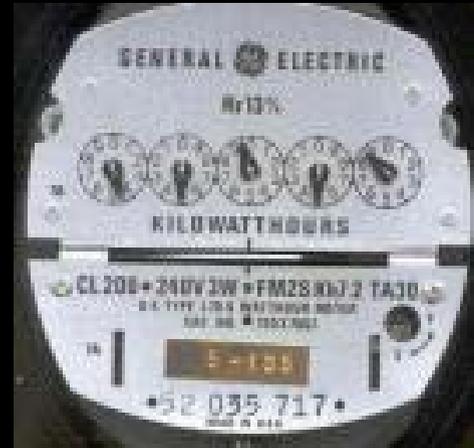
Y la electricidad no se puede utilizar en muchos usos, salvo que se transforme en combustible con un vector.



Fotovoltaica. Inconvenientes/4



La producción de sistemas completos es muy costosa (6-7 €/KWp instalado)



La electricidad que producen los módulos, también (45 c€/KWh)

Fotovoltaica. Inconvenientes/5



No existe una forma barata de almacenar la electricidad durante el día....



Para utilizarla por 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

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

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

El panel solar produce electricidad

La energía solar se utiliza para hacer hidrógeno por electrólisis

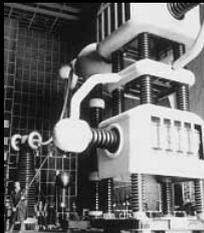
El hidrógeno se licúa para su almacenamiento

Se pierde hidrógeno en el almacenamiento y transporte

La celda de combustible convierte de nuevo el hidrógeno en electricidad

Transformación y transmisión

Consumido



Pérdidas energéticas:

25%

30%

15%

20%

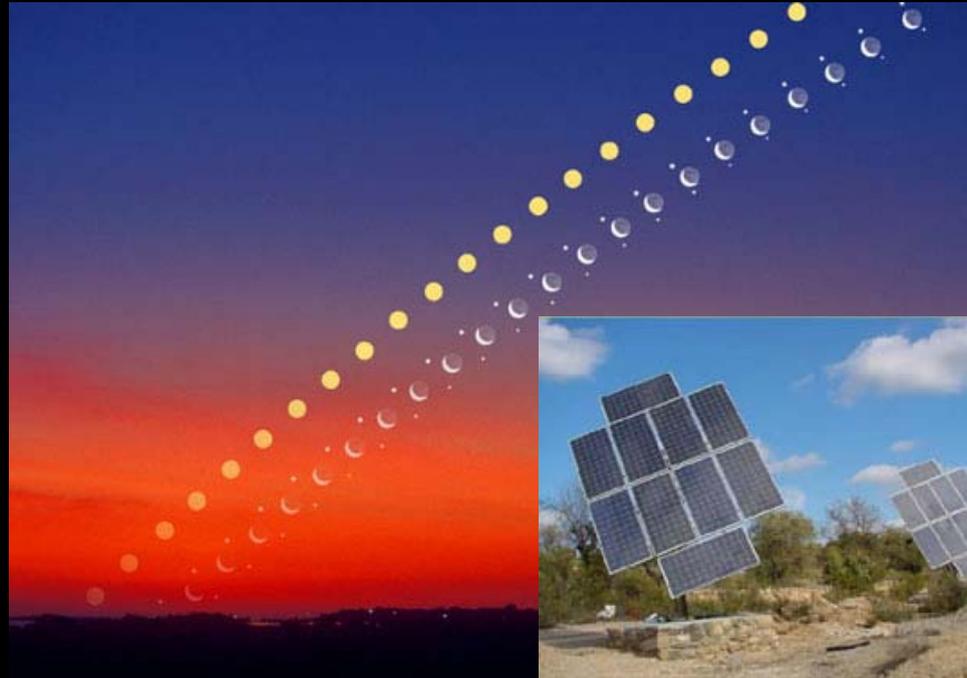
10%

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





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 en España



Demanda de energía eléctrica



006 19:44:52

TELEVISIÓN Actual

40.388 MW

Demanda Real
Programada P24

40.320 MW
40.675 MW

Sustituir la electricidad de origen fósil y nuclear por fotovoltaica (~30 GW diurnos y ~20 GW nocturnos) exigiría:

- Unos 3.000 Km² de paneles, a ~ 300€/m² = 0,9 BILLONES DE EUROS (EL PIB ESPAÑOL DE 2005)
- Mecanismos para almacenar, como mínimo, 200 GWh
- Eso equivale a unos 200 millones de baterías de coche (de unos 80 Ah a 12 VDC). Duración: 5 años



¿Dónde está la renovabilidad y la ecología?

DESGLOSE TÍPICO DE COSTES

- AISLADA DE RED (10KWp)

- Módulos: 68%
- Baterías: 15%
- Inversor: 10%
- Accesorios 3%
- Instalación 5%

- CONECTADA A RED (1 MWp)

- Módulos: 51%
- Baterías: --
- Inversores: 19%
- Accesorios: 10%
- Instalación: 4%
- Conex.a red: 8%
- Varios: 8%

DURABILIDAD Y GARANTÍAS

- **MÓDULOS:**
 - 10 años material
 - 25 años potencia (al 80%)
- **INVERSORES**
 - 3-5 años
- **BATERÍAS**
 - 3 años
- **MATERIALES (Otros)**
 - 1 a 3 años



**¡OJO AL CALCULAR
LAS AMORTIZACIONES!**

FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA

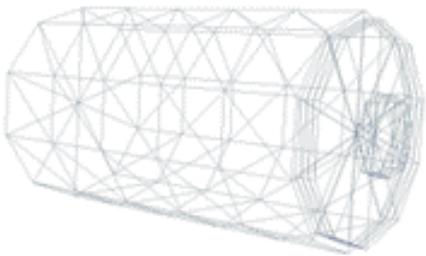
- Previstos 400 MWp hasta el 2010
- Ayudas IDAE 10% a fondo perdido hasta 100 KWp (limitadas a 6 M€) (Agotadas)
- Ayuda financiera ICO hasta 80% valor total del proyecto.
- Con estos datos:
 - Amortización en 10-12 años (Mitad sur de España)
 - Seguros: 1 c€/KWh (2% ingresos)
 - O&M: 3 c€/KWh (6% ingresos)
 - Seguridad: 1 c€/KWh (2% Ingresos)
 - IRPF retenido



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/



crisisenergética