

Perspectivas de la energía nuclear en un mundo globalizado

Conferencia en **Jornadas del Foro Nuclear**

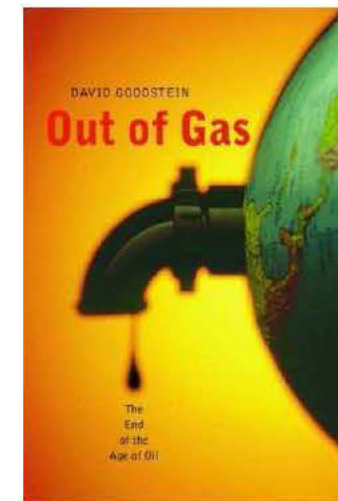
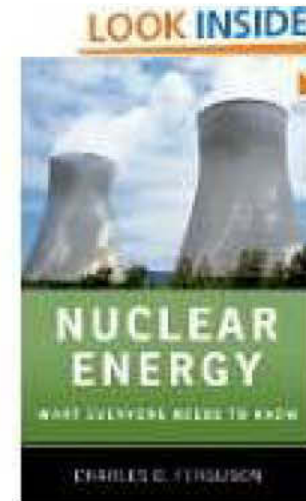
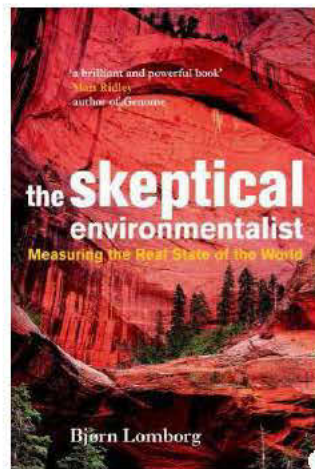
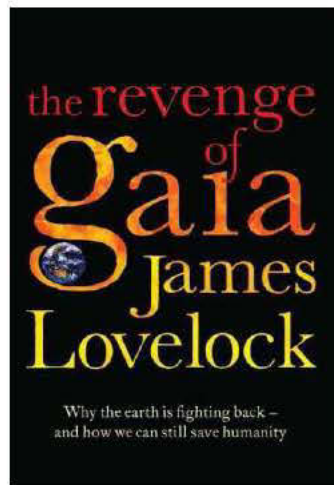
Rodrigo Villamizar

IEB- University of San Diego

Sept 7th 2012

- ▶ Cinco factores CLAVE relacionados con la energía que son elementos fundamentales de un Futuro viable.
 - Obtener acceso **seguro** a recursos energéticos adecuados (Seguridad energética).
 - Consumir MÁS... no MENOS (Necesitamos aumentar la **densidad energética** o el “orden” energético).
 - Olvidarse de la **independencia energética**.
 - Dar la respuesta “correcta” a los efectos esperados del **cambio climático** y **disminuir** la cantidad de energía por unidad de salida de PIB (o **aumentar** lo que se conoce como *Intensidad Energética*) es lo que yo considero el **EQUILIBRIO DE COMPETITIVIDAD**.

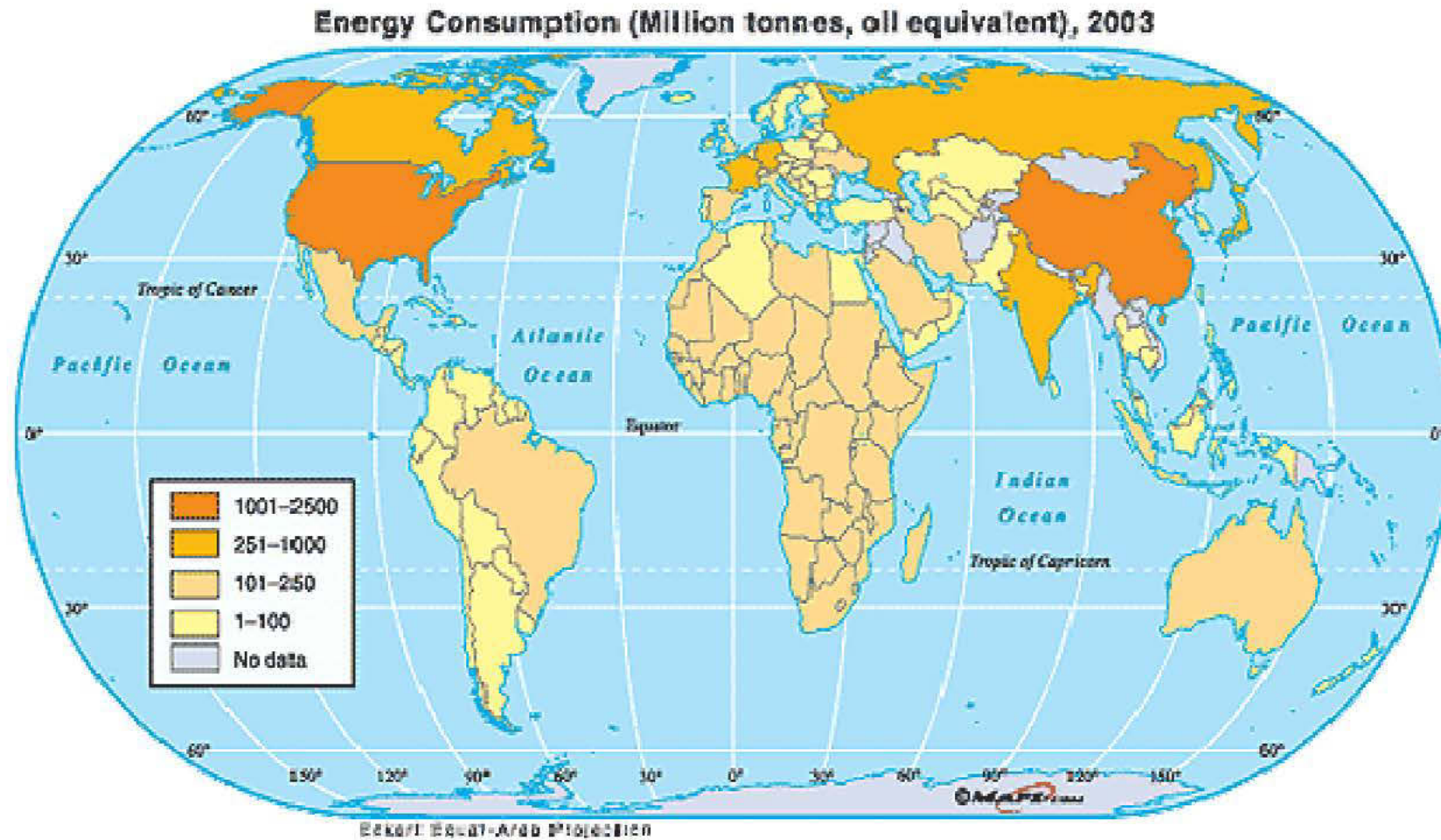
Cinco libros que recomiendo a mis alumnos...



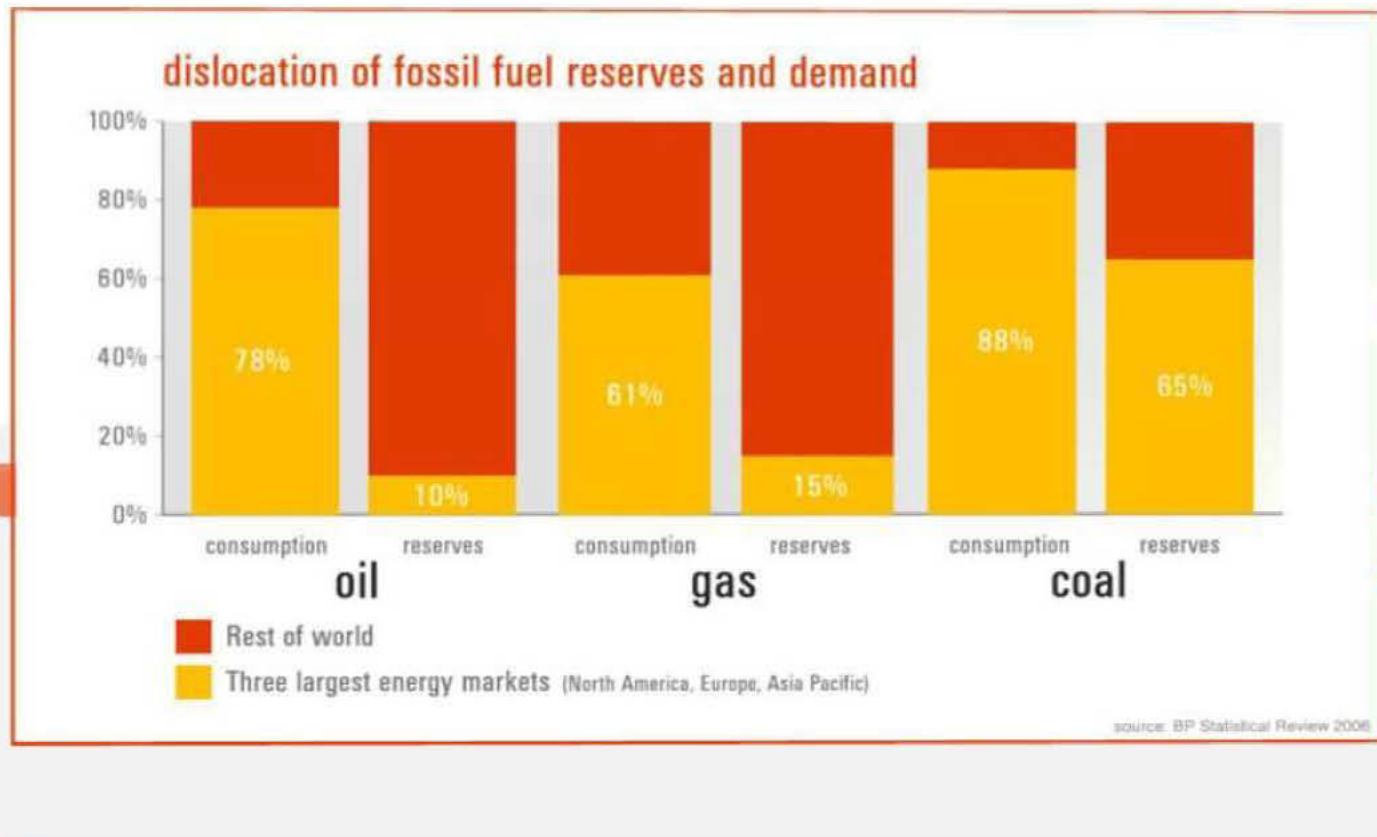
Tres motivaciones diferentes que impulsan los debates actuales sobre la energía...

- ▶ Primero, los combustibles fósiles constituyen un recurso limitado.
 - ▶ Segundo, Nos interesan la seguridad del suministro energético y la “independencia energética”.
 - ▶ Tercero, la continuidad en el uso de los combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón) cambiará el clima.
-
- ▶ PORQUE:
 - ▶ 1. La quema por parte de los humanos de combustibles fósiles provoca aumentos en las concentraciones de dióxido de carbono.
 - ▶ 2. El dióxido de carbono (CO₂) es un gas de efecto invernadero.
 - ▶ 3. El aumento de los gases de efecto invernadero (GHGs) provoca un aumento en las temperaturas medias globales (y tiene otros muchos efectos).

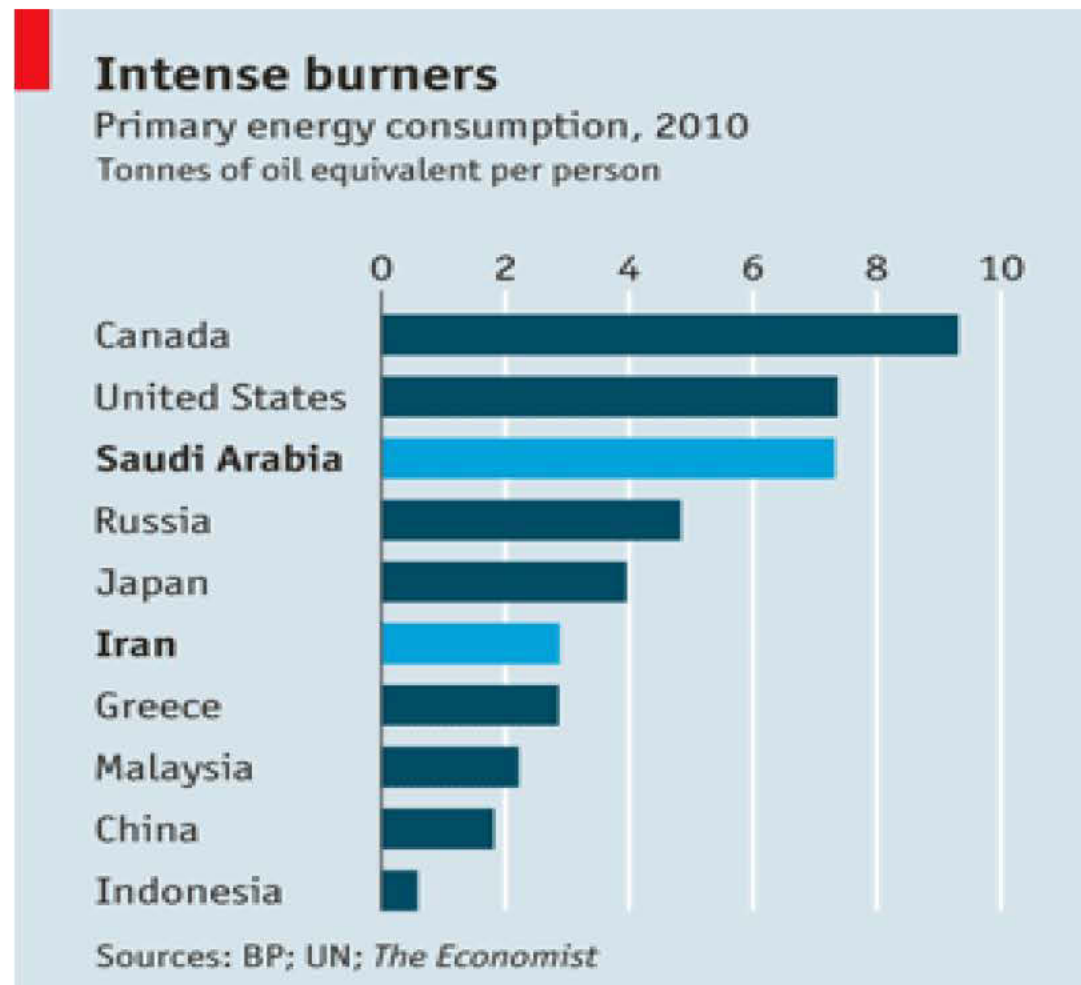
Consumo de energía



La distribución global de los combustibles fósiles es muy irregular, especialmente en el caso del Petróleo...



El RIESGO de un consumo elevado de Energía



Todo eso, para producir 125 kWh por persona (en España y Reino Unido)



Transport



Heating



Electricity

UK energy consumption:

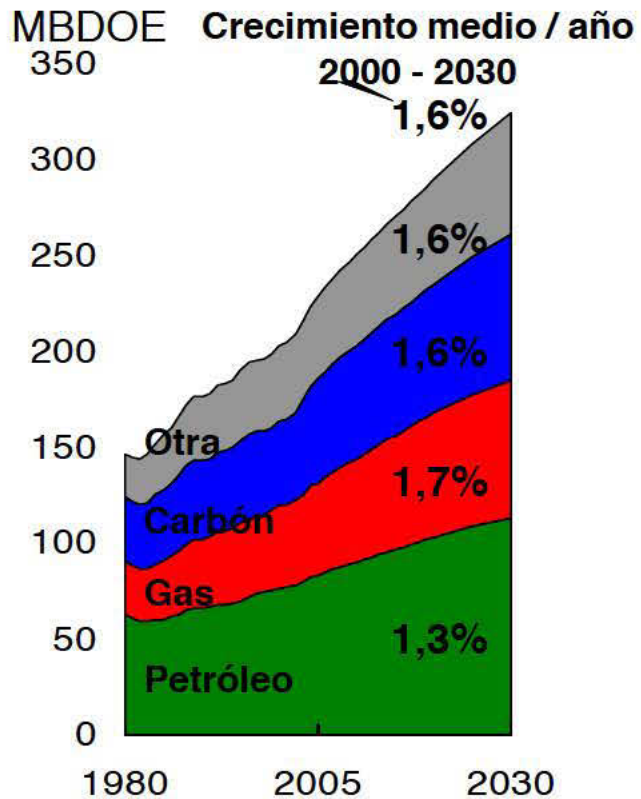
125 kWh per day per person

and more, if we take into account imports

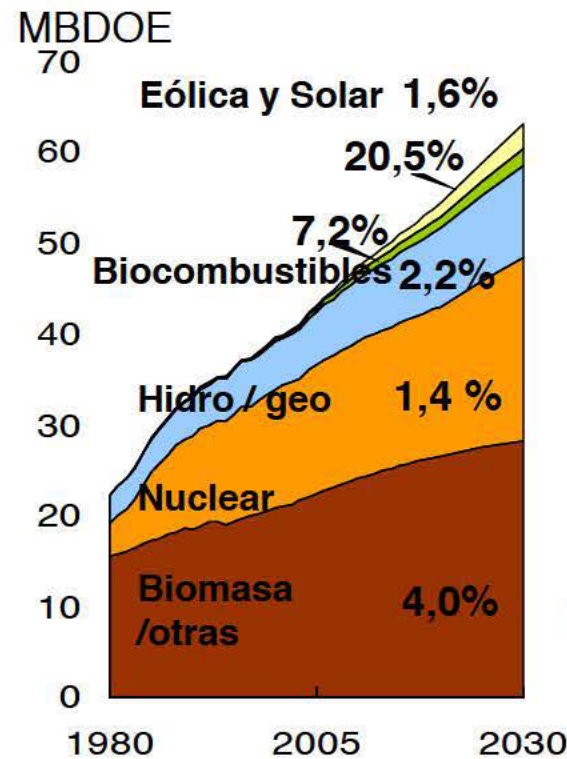
90% fossil fuels

Pero el consumo se concentra mayormente en los combustibles fósiles...

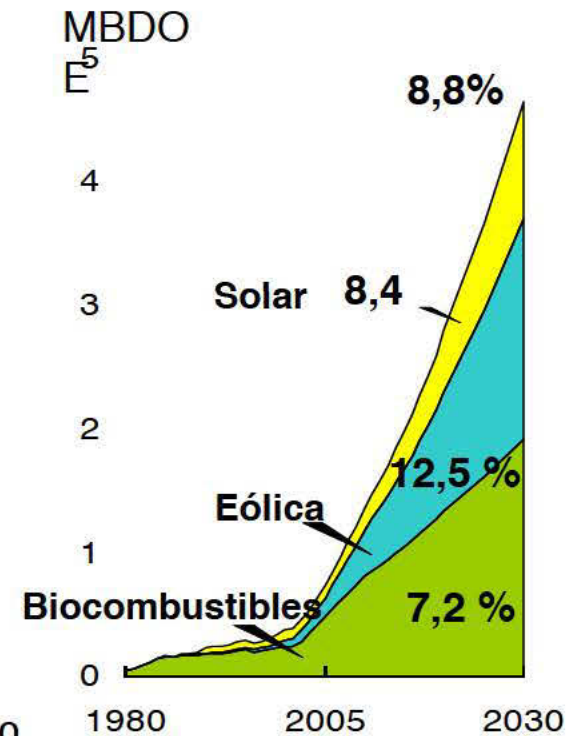
Energía fósil



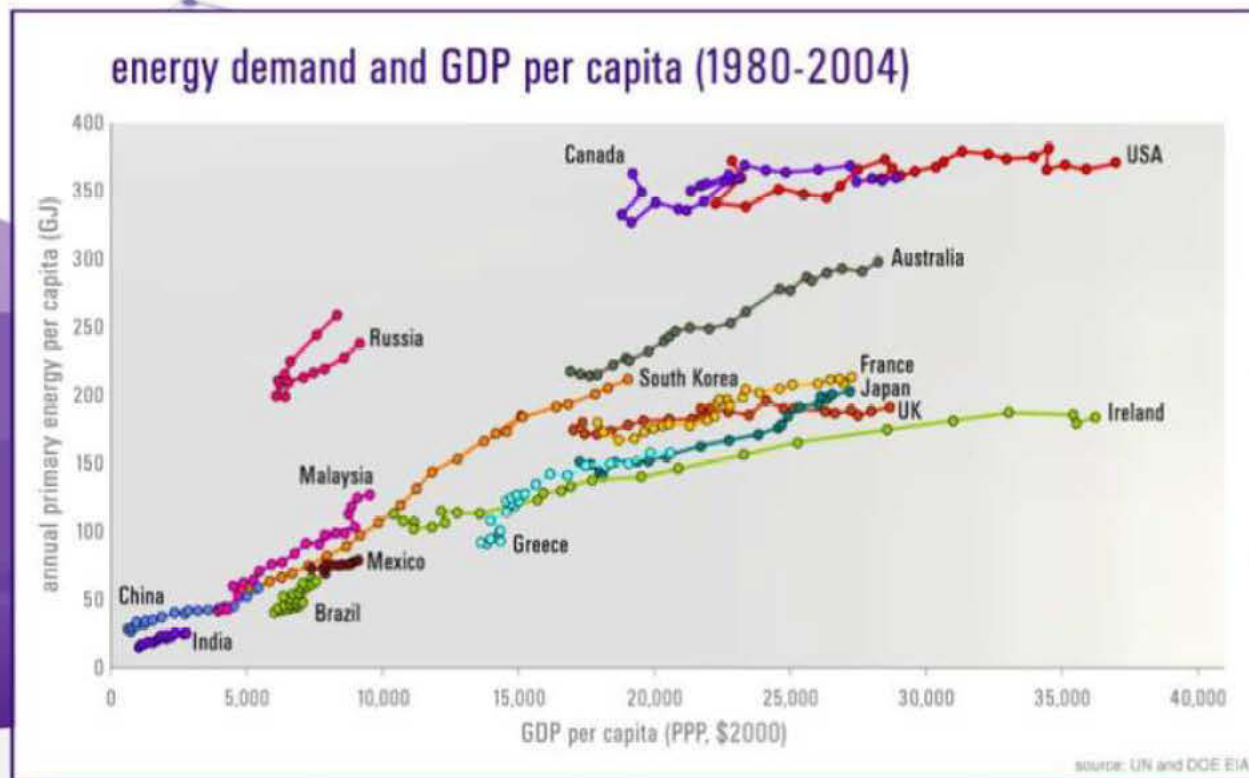
Otra Energía



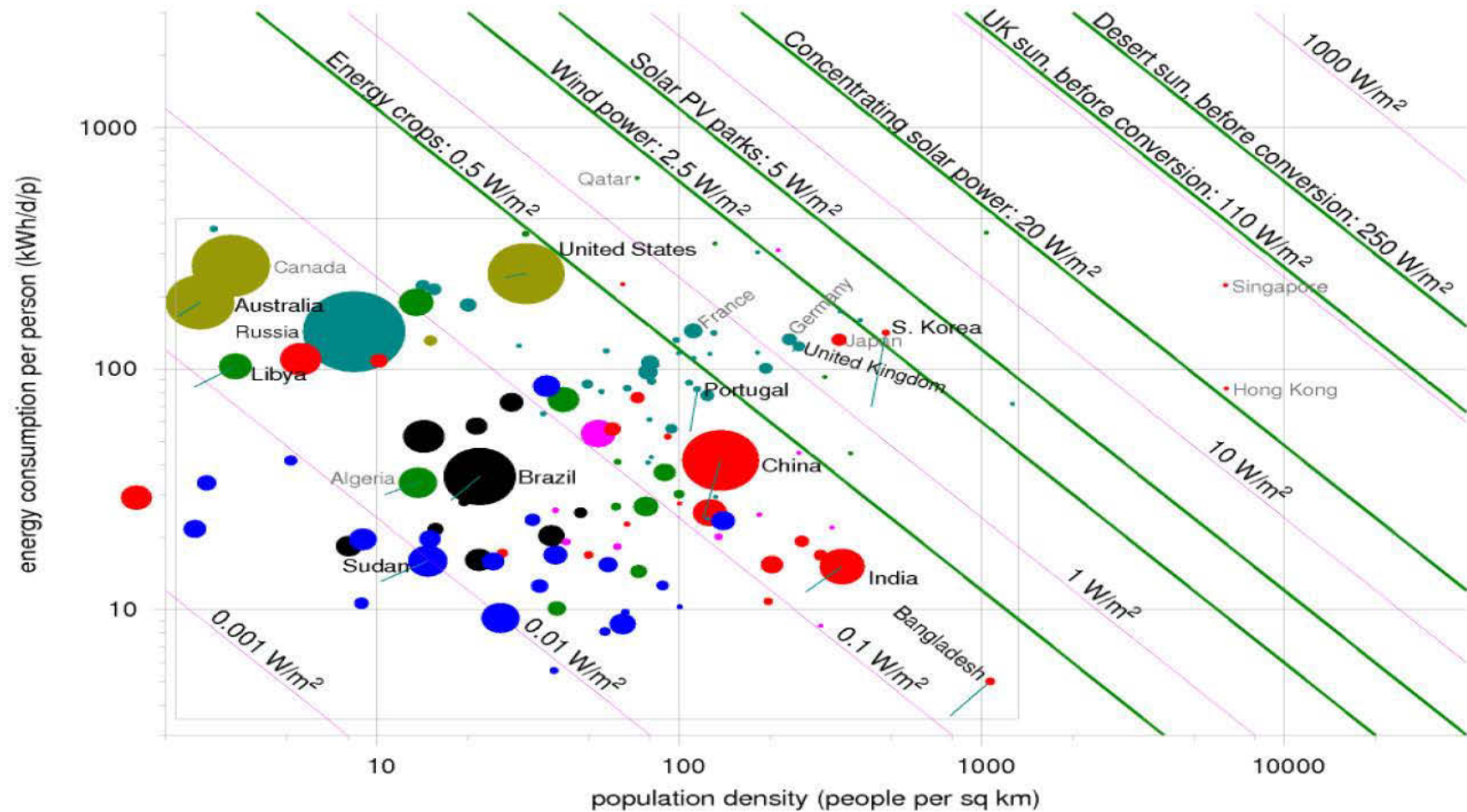
Eólica, Solar y Biocombustibles



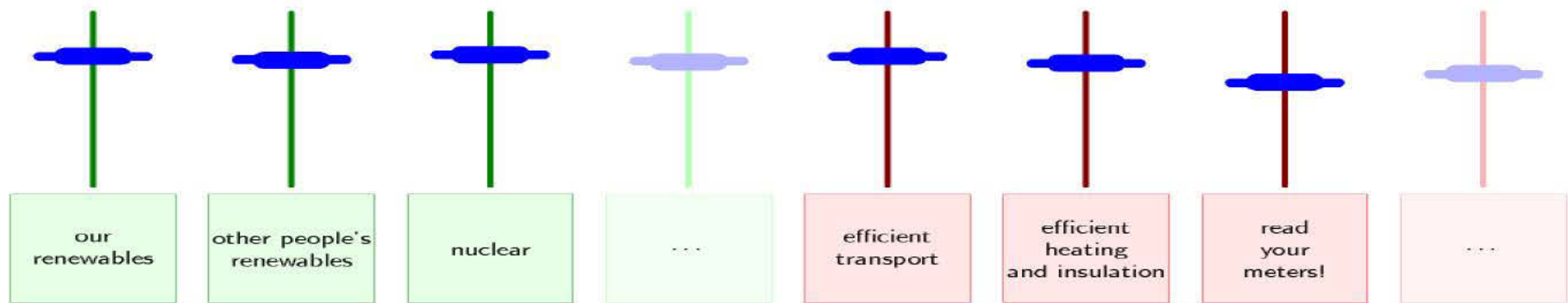
La demanda energética, como el crecimiento económico, aumenta con el PIB/cápita y con el tiempo alcanza una “meseta” estable.



Retomaremos este tema... pero esta es una ilustración del camino que lleva el mundo...



Si queremos REEMPLAZAR el 90% de la Energía producida con combustibles fósiles, existen varias opciones...



¿Pueden las Renovables sustituir a los recursos energéticos convencionales (petróleo, gas y carbón)?

▶ Renovables

Wind	2.5 W/m ²
Plants	0.5 W/m ²
Solar PV panels	5–20 W/m ²
Tidal pools	3 W/m ²
Tidal stream	8 W/m ²
Rain-water (highlands)	0.24 W/m ²
Concentrating solar power (desert)	15–20 W/m ²

▶ Recursos convencionales

- ▶ Petróleo: 94,00 W/m²
- ▶ Gas: 78,00 W/m
- ▶ Carbón: 66,00 W/m²
- ▶ Nuclear: 1.000.00 W/m²

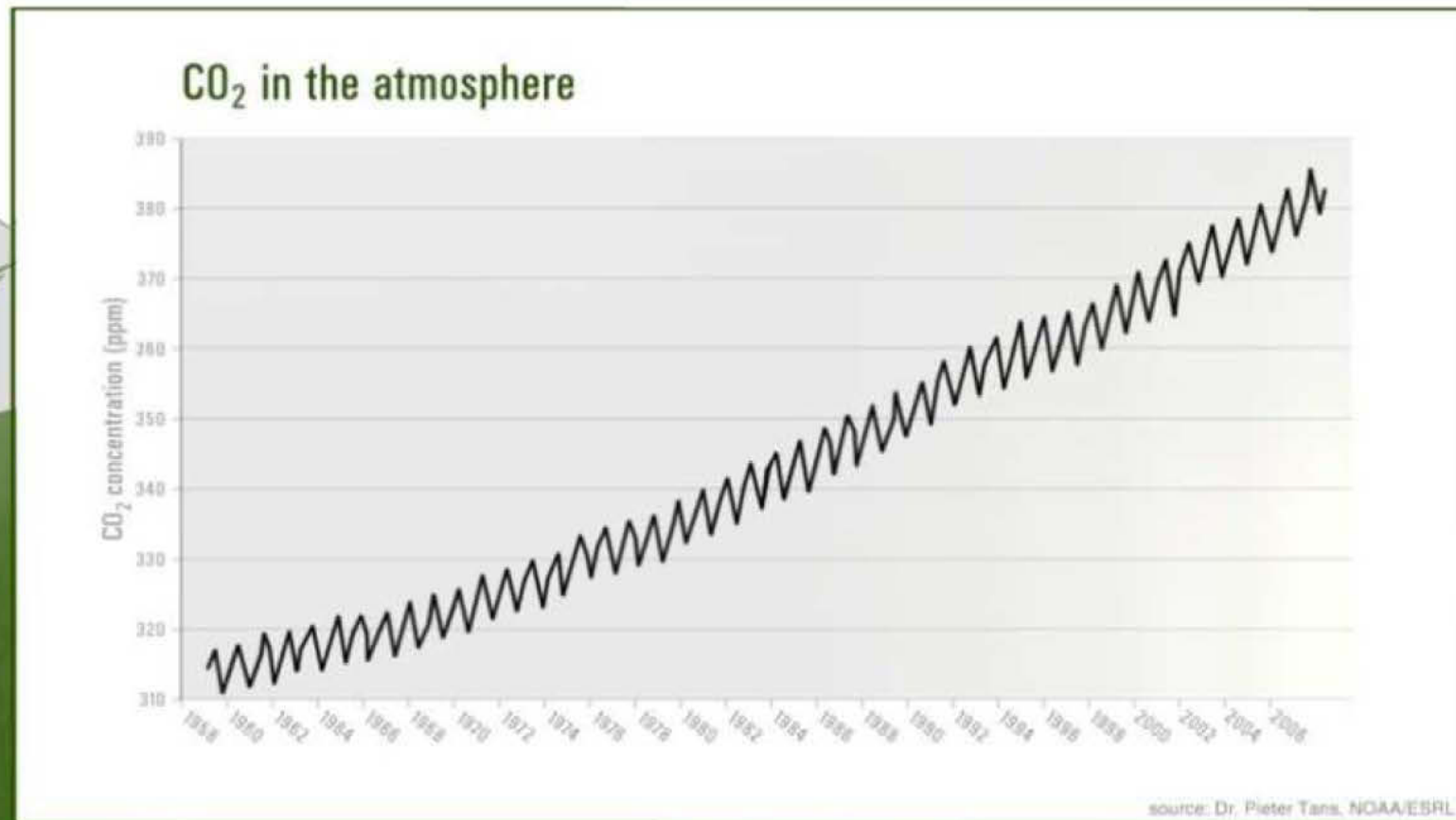
¿Por qué son tan omnipresentes los combustibles fósiles?

- ▶ Poseen una alta densidad energética
- ▶ Ayudan en la producción de más de 29.000 productos.
- ▶ Son clave para el transporte (el petróleo representa más del 80% de todo tipo de transporte).
- ▶ La energía es el mayor sector mundial que da empleo a millones de personas y está valorada en aproximadamente \$45 billones...



9/7/2012

El registro del dióxido de carbono en los últimos 40 años muestra un claro aumento



Entonces – ¿Qué hay que hacer?

- ▶ 1. Recursos renovables: Éólica, Solar, Biomasa, Biocombustibles, Bombas de Calor, incluyendo la energía nuclear.
- ▶ 2. Carbón limpio y Captura y Secuestro del carbono.
- ▶ 3. Aumentar la eficiencia y la conservación (que no es lo mismo que 'consumir menos').
- ▶ 4. Coches eléctricos para el transporte.
- ▶ ¿Deberíamos comenzar a adaptarnos al cambio climático?



our
renewables

other people's
renewables

nuclear

...

Herramientas principales en nuestra Caja de Herramientas de Recursos Renovables

- ▶ Solar (para electricidad y calor)
- ▶ Eólica (electricidad)
- ▶ Geotérmica (electricidad)
- ▶ Biocombustibles (transporte)
- ▶ Maremotriz
- ▶ Vehículos eléctricos
- ▶ Energía nuclear (Con Reprocesamiento ..)

Recursos de Energías Renovables (RER): Ventajas y Desventajas

- ▶ Los principales **Beneficios** de los RER son:
 - Su distribución es mucho más globalmente uniforme que la de los combustibles fósiles. Reduce la competición por los recursos.
 - El impacto de carbono es bajo o inexistente. Reduce el índice de calentamiento global.
- ▶ Las **Desventajas** de los RER son:
 - Baja densidad energética. Por lo general necesita grandes áreas de terreno.
 - Intermitente. Requiere almacenamiento.
 - Siguen existiendo barreras técnicas y los costes son aún relativamente elevados (aunque están cambiando en sectores tales como el solar y el eólico).

If we include the land for HVDC transmission...

40 GW from Sahara to Surrey:

CSP power density	15 W/m ²	20 W/m ²
40 GW (avg) of CSP	2700 km ²	2000 km ²
land for 50 GW (peak) HVDC	1500 km ²	1500 km ²
total area	4200 km ²	3500 km ²
net power density	9.5 W/m ²	11.4 W/m ²

2 GW ->



Transporte

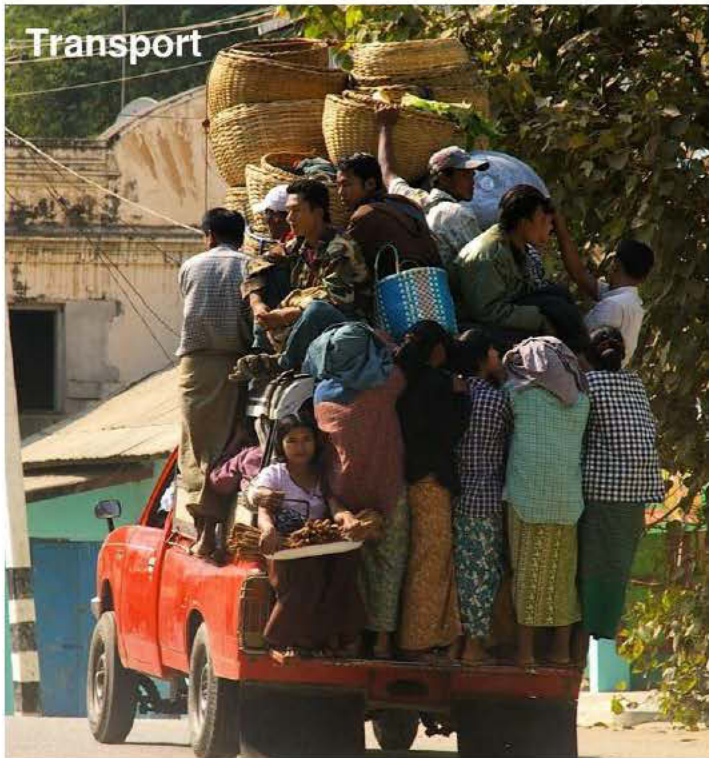
- ▶ Un coche con un consumo de combustible de 33 millas por galón, corresponde a un consumo eléctrico de 80 kWh por 100 km. ¿Podemos mejorar esto?
- ▶ El triciclo tiene un “coste” energético de 1 kWh por 100 persona-km.
- ▶ Este tren, a una velocidad de 161 km/h, consume 1,6 kWh por 100 pasajeros - km cuando va lleno.



Coche: 80 kWh / 100 km.

Tren: 1,6 kWh / 100 pasajero-km.

Otra solución...



Have small frontal area per person

Have small weight per person

Go slowly

Go steadily

Convert energy efficiently

Demand-side options - Transport

Have small frontal area per person

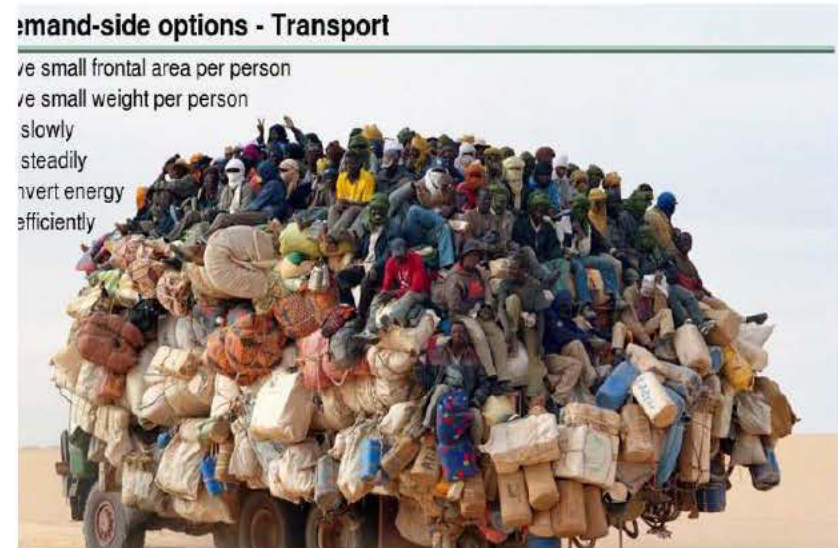
Have small weight per person

Go slowly

Go steadily

Convert energy

efficiently

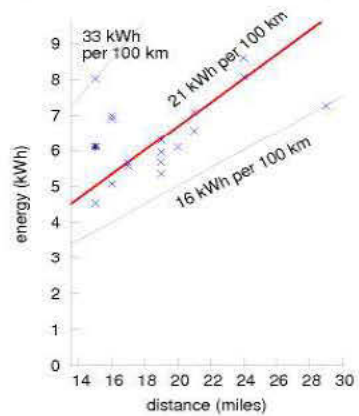


Electric cars



- 21 kWh per 100 km (solo)
- equivalent to 125 miles per gallon

G-Wiz



data from Kele Baker

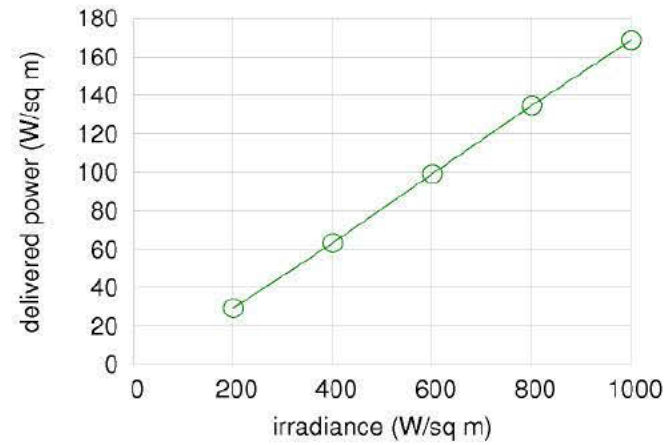
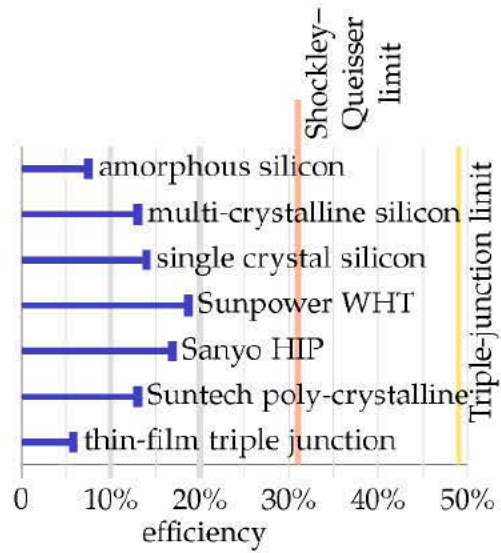


6 kWh per 100 km

Solar

- ▶ Podemos convertir la energía cruda del SOL en energía útil de 3 maneras:
- ▶ 1. **Energía térmica solar:** utilizando la luz del sol para el calentamiento directo de edificios o agua (también existe el CSP - *Concentrated Solar Power*, Energía Solar Concentrada - para calentar la arena o el combustible en áreas abiertas).
- ▶ 2. **Energía fotovoltaica solar:** generando energía.
- ▶ 3. **Biomasa solar:** utilizando árboles, algas, maíz, soja o plantas oleaginosas para producir combustibles energéticos, sustancias químicas o materiales de construcción.

PV efficiencies



Una granja solar



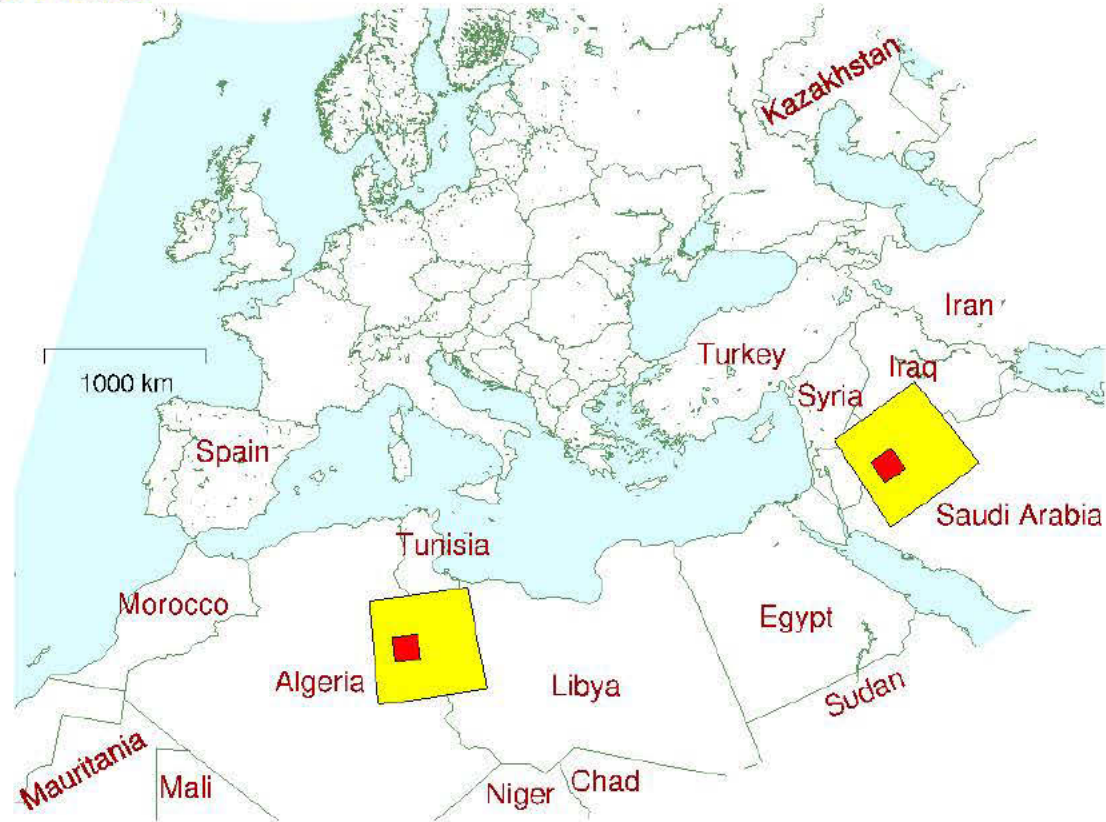
Bavaria Solar Park: 5 W/m^2 ; this picture shows 0.7 MW (average)



140 kWh/d
peak 25 kW

Concentrating photovoltaic by Amonix - Photo by David Faiman.

El potencial del desierto :para 2.000 millones de personas



Yellow: 125 kWh/d/p for 1 billion people; Red: 125 kWh/d/p for 60 million people
(assuming 15 W/m^2)

PS10, Solucar



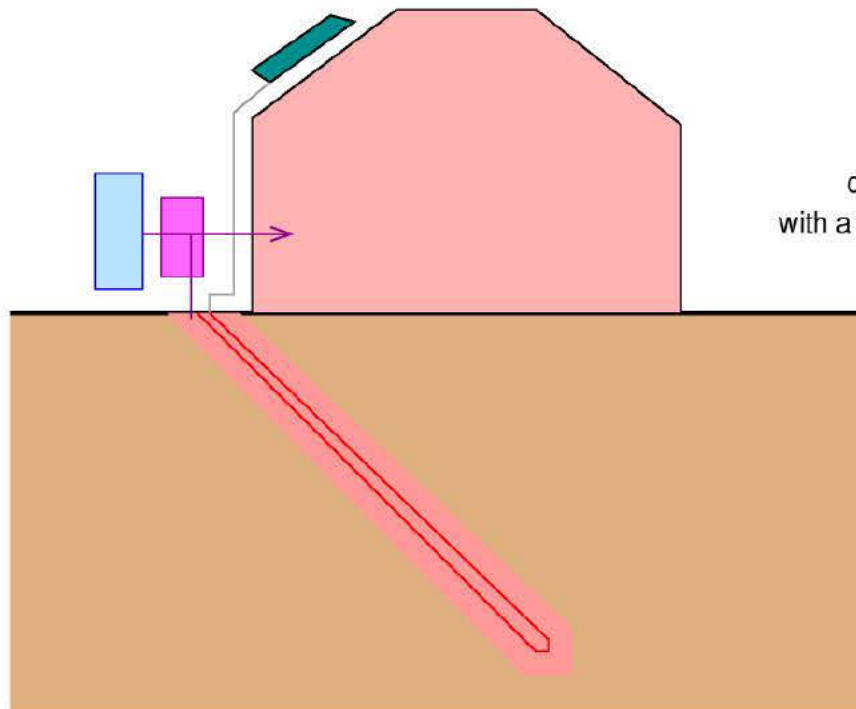
5 W/m^2



Photo by aFloresm

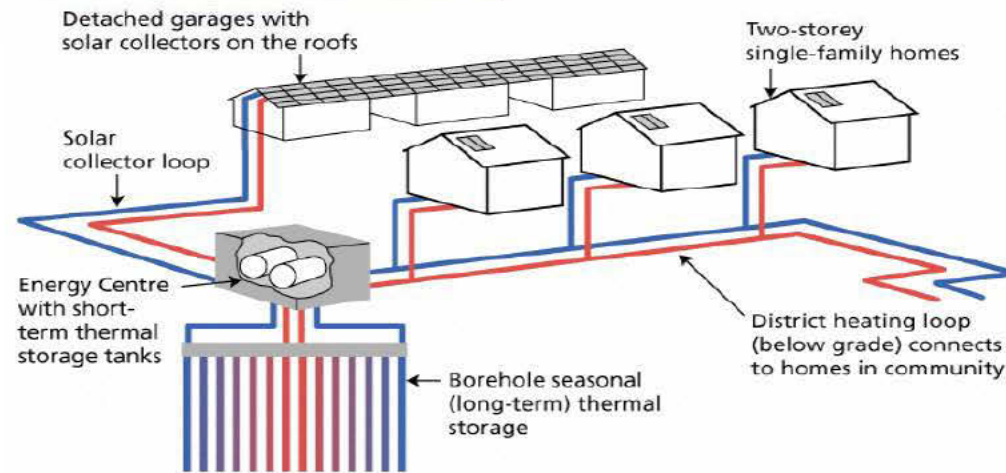


Seasonal heat store, solar panel, and heat pump



6-month diffusion length of heat in rock is about 6m.

A 20-m cylinder, radius 6 m, can store $24 \text{ kWh/d} \times 6 \text{ months}$ with a temperature increase of 3.4 C



Eólica...



Pumped storage

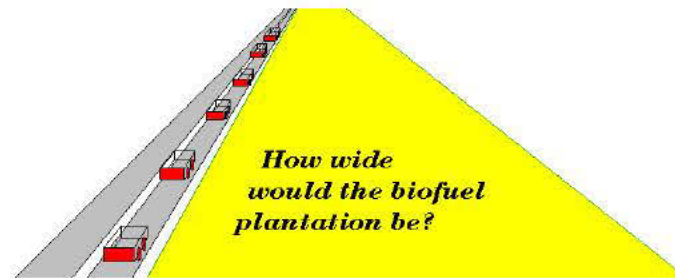
Dinorwig - 10 GWh energy; 2 GW maximum power



Geotérmica e hidráulica



¿Cómo de “eficientes” son los bio-combustibles?



One lane of cars

60 miles per hour

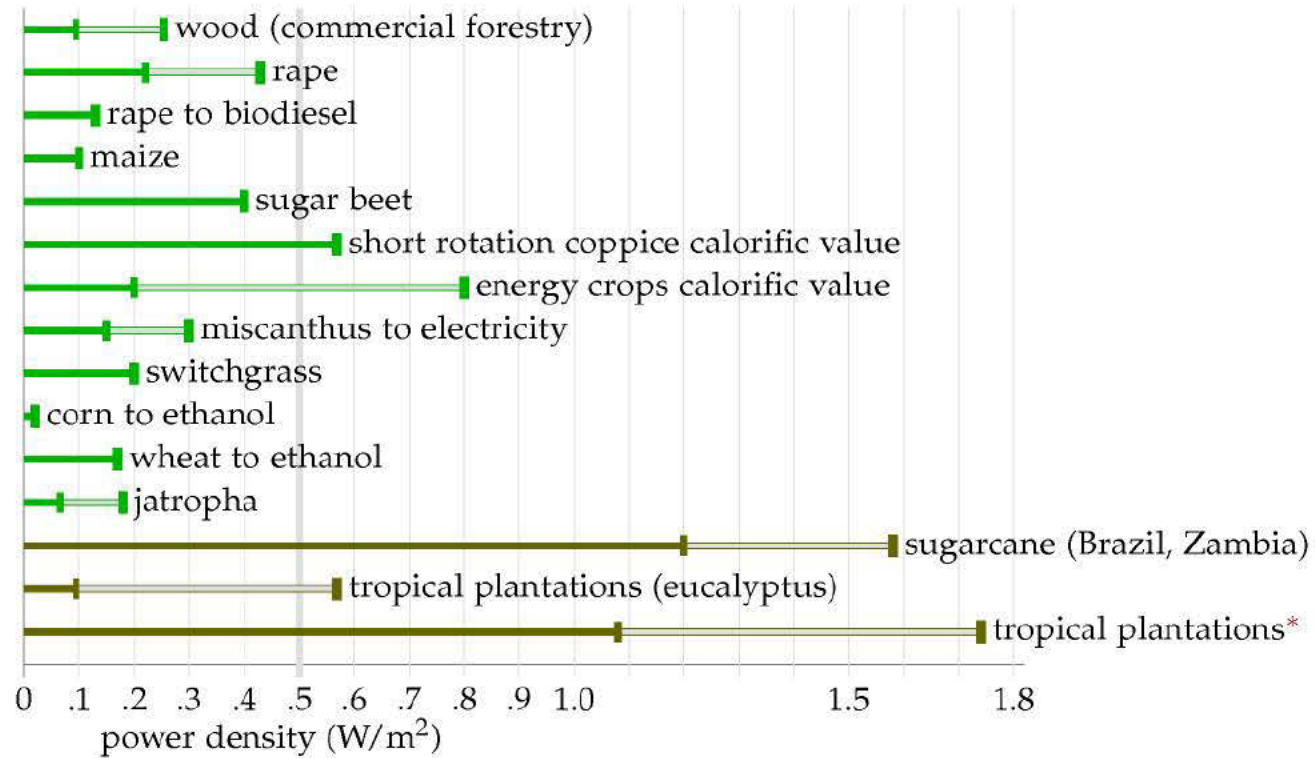
30 miles per gallon

1200 litres of biofuel per hectare per year

80 metres car-spacing

= 8 kilometres wide

Plant power per unit area



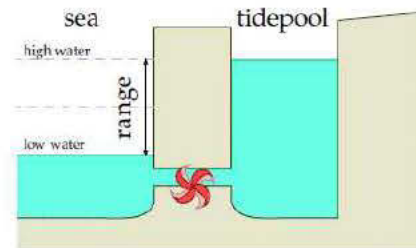
* assumes genetic modification, fertilizer application, and irrigation
 For sources, see D. J. C. MacKay (2008) Sustainable Energy - without the hot air

Maremotriz

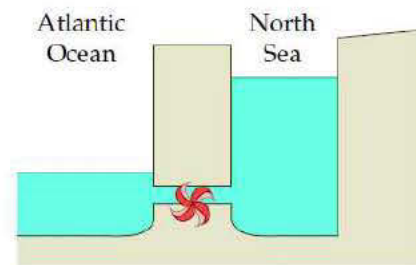


9/7/2012

Tide - using tide pools



Tidal range	Power per unit area
4 m	3 W/m^2



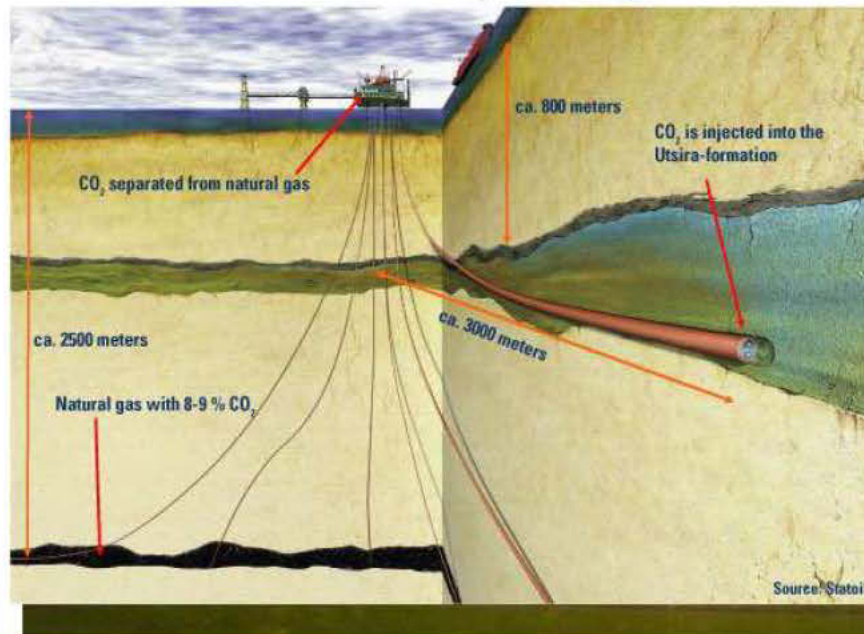
'Clean Coal'

$$\frac{1600 \text{ Gt of coal}}{6 \text{ billion people}} / 1000 \text{ years} \times 8000 \text{ kWh per tonne} = 6 \text{ kWh per day per person}$$

Coal:
6 kWh/d

Carbon capture and storage

- requires 25% of the generated energy
- doubles the cost of building a 1GW power station



Sustainable Fossil Fuels

The Unusual Suspect in the Quest for Clean and Enduring Energy

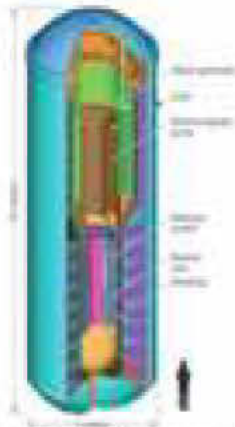


Para que la **ENERGÍA
RENOVABLE** sustituya a los
hidrocarburos, necesitamos
Innovación

Opciones

Formas de mejorar la energía...

Distributed
"micropower"



SSTAR - "Small, Sealed, Transportable, Autonomous Reactor
10-100 megawatt. Ready 2030. Sealed. Lead-cooled.

The use of genetically
modified crops in
developing countries

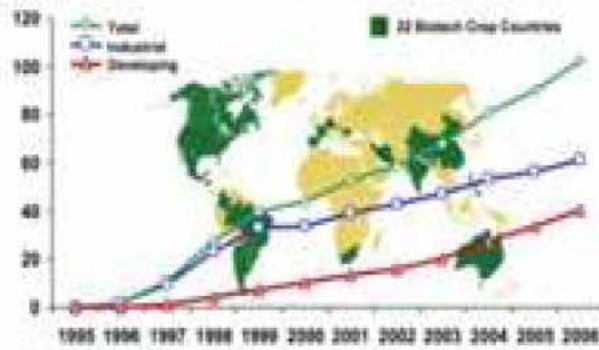
a Follow-up Discussion Paper

"There is a moral
imperative for making GM
crops readily and
economically available to
people in developing
countries who want them."

WORLD
COUNCIL
ON BIOTECHNOLOGY

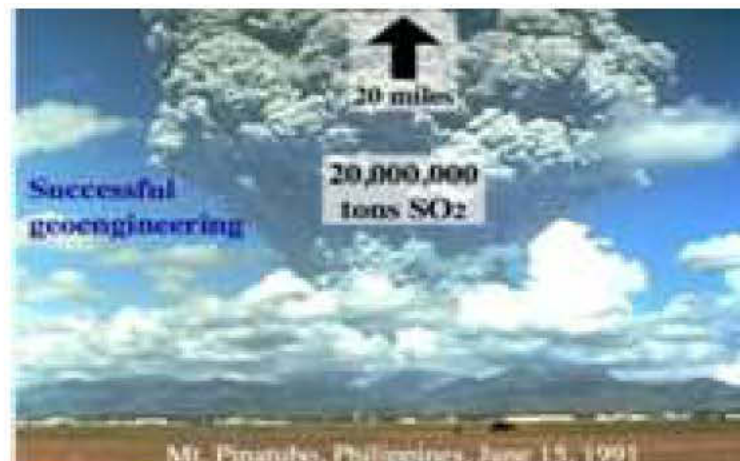


GLOBAL AREA OF BIOTECH CROPS
Million Hectares (1996 to 2006)



Increase of 12%, 12 million hectares or 30 million acres, between 2005 and 2006.

Source: Ciba Janssen, 2006.



Sería **IMPOSIBLE** reemplazar
el 70% del consumo de
hidrocarburo
Sin energías **NUCLEAR**
y **Renovable.**

All renewables are diffuse

POWER PER UNIT LAND AREA

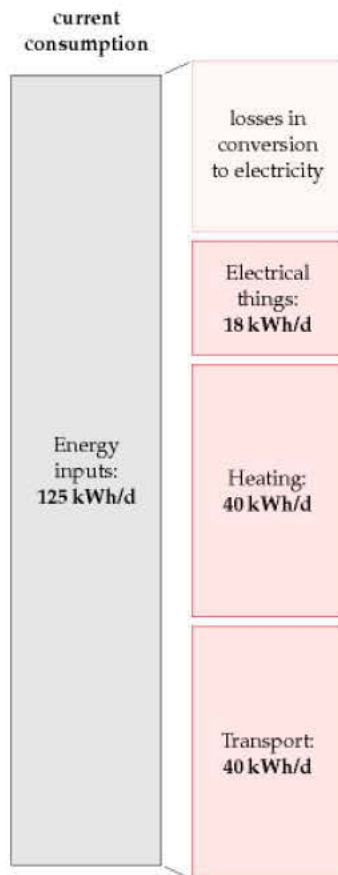
Wind	2.5 W/m ²
Plants	0.5 W/m ²
Solar PV panels	5–20 W/m ²
Tidal pools	3 W/m ²
Tidal stream	8 W/m ²
Rain-water (highlands)	0.24 W/m ²
Concentrating solar power (desert)	15–20 W/m ²

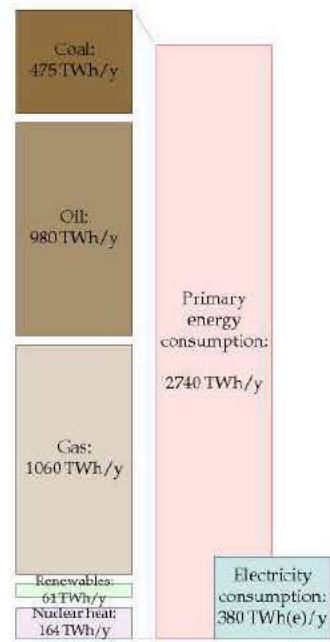


- To make a difference, renewable facilities have to be country-sized

EFFICIENCY

● Cartoon Britain, 2008





2007

18 Jackup barges

45-fold increase

184 TWh/y 60 GW capacity, cf 2010 1.3 GW, 20,000 3MW turbines, area 8400 km² - nearly half a Wales.

If spaced evenly around 3000 km of coastline, there would be 3 per km.



Onshore wind: 53 TWh(e)/y

Offshore wind: 184 TWh(e)/y

Hydroelectric: 7 TWh(e)/y

Wave: 19 TWh(e)/y

Tide: 10 TWh/y

Geothermal: 7 TWh(e)/y

Solar PV: 60 TWh(e)/y

Solar HW: 19 TWh/y

Pumped heat: 234 TWh/y

Micro wind: 1 TWh(e)/y

Biomass imports: 70 TWh/y

Biomass: 224 TWh/y

Waste: 249 TWh/y

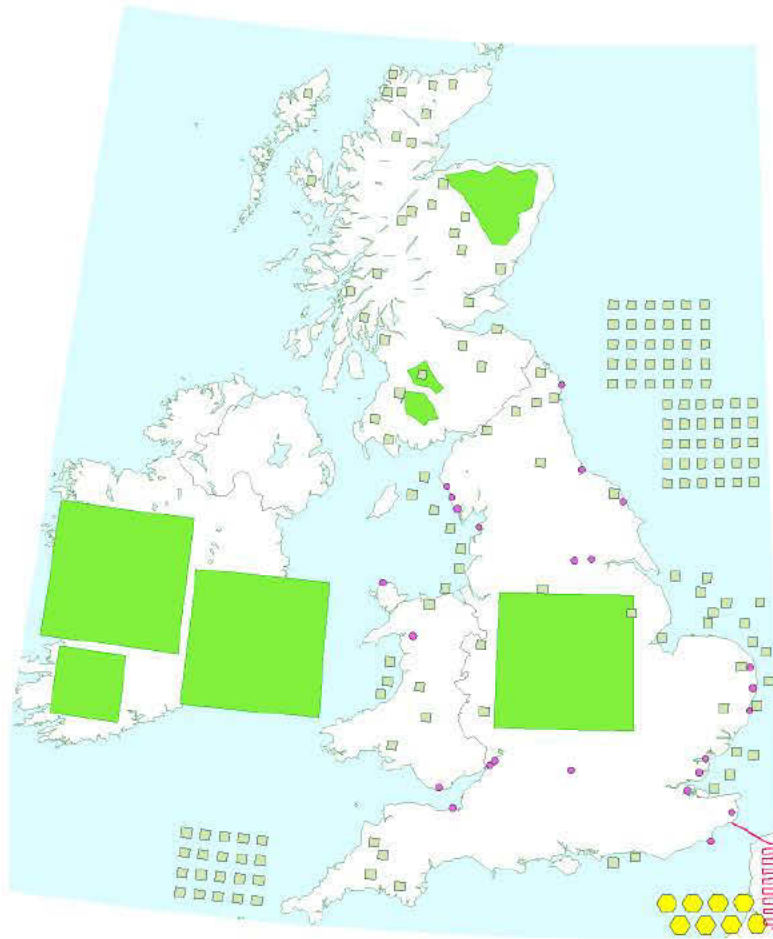
Marine algae: 4 TWh/y

Nuclear power: 275 TWh(e)/y

Coal: 300 TWh/y

Oil: 612 TWh/y

Gas: 33 TWh/y



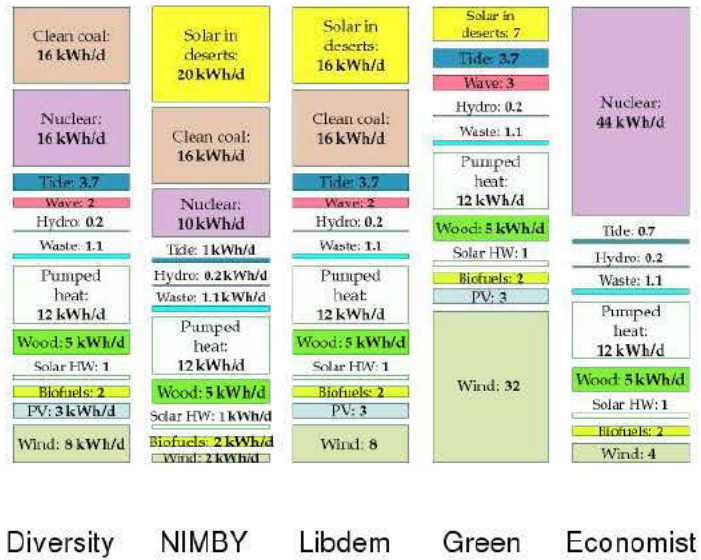
Wind:
16 kWh/d/p

Nuclear:
16 kWh/d/p

Biomass:
16 kWh/d/p

Solar in
deserts:
16 kWh/d/p

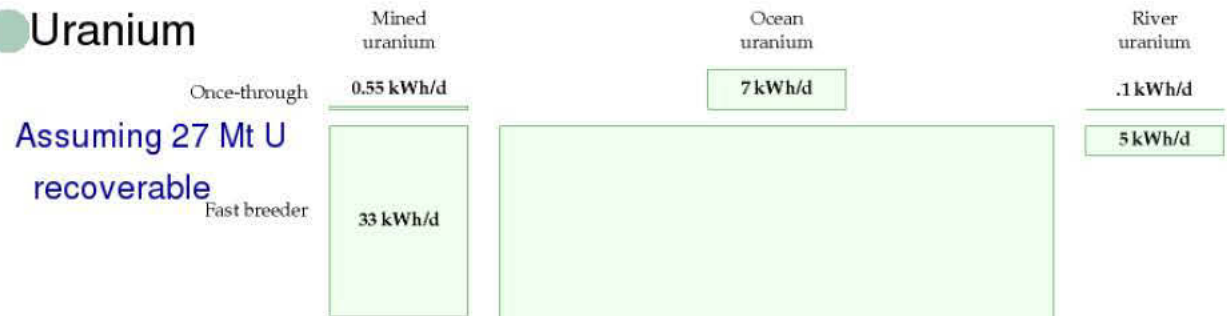
Five plans for Cartoon-Britain



Plan C coming in 2 pages

Nuclear Fission ('sustainable' = 1000 years)

Uranium

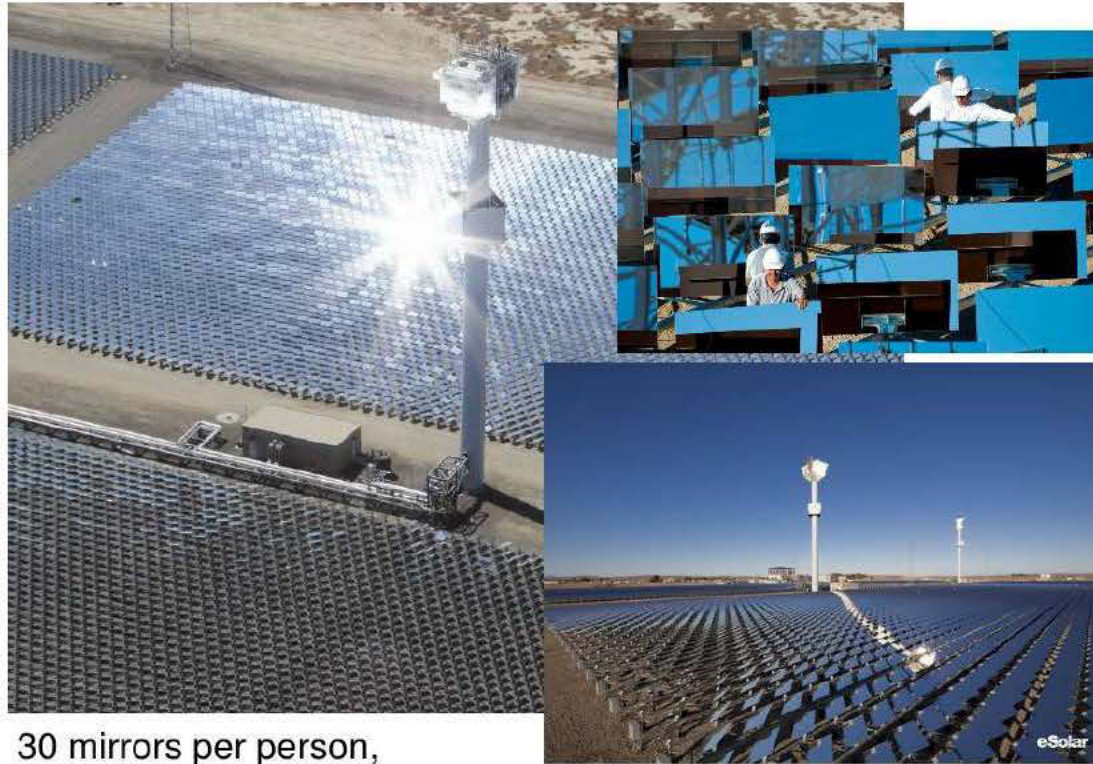


Thorium



Ejercicio similar para los

» EE UU



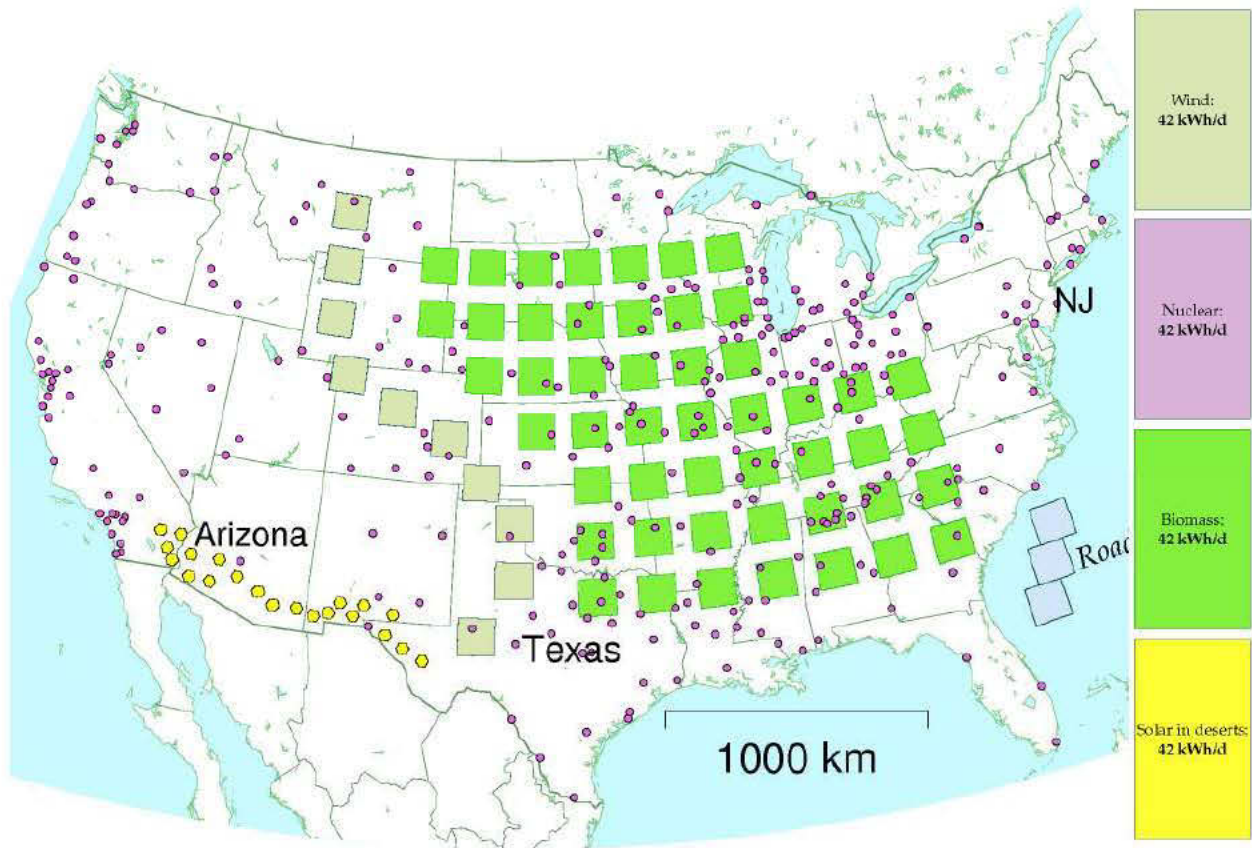
30 mirrors per person,
and one tower for every 400 people

Wind:
42 kWh/d

Nuclear:
42 kWh/d

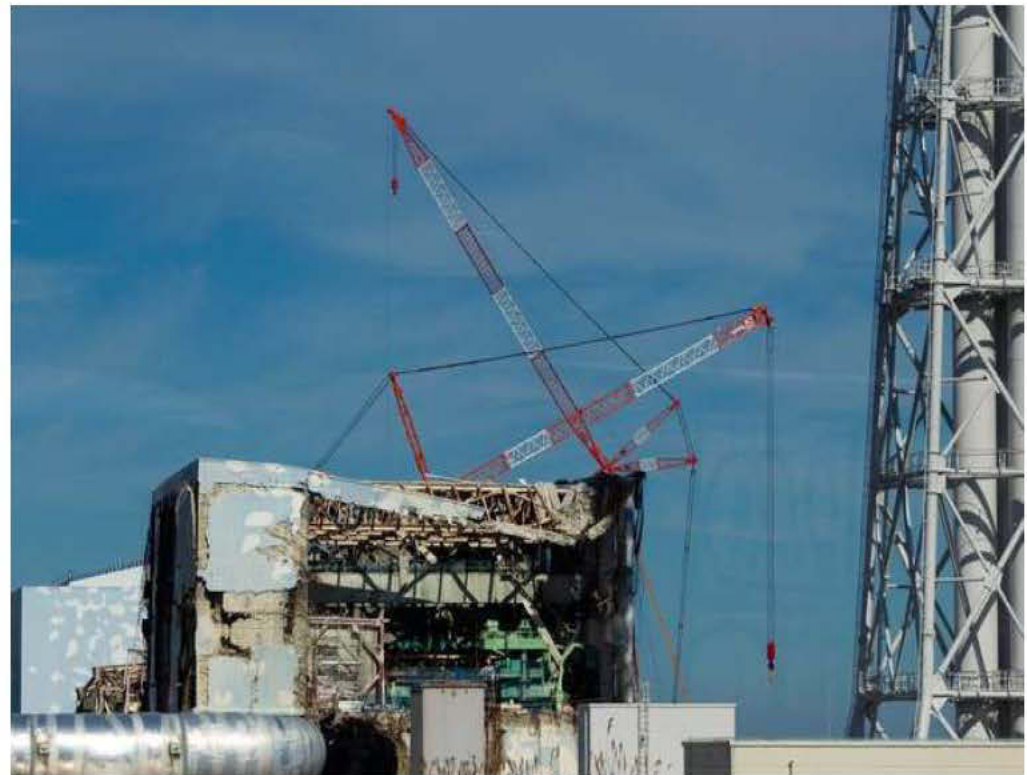
Biomass:
42 kWh/d

Solar in deserts:
42 kWh/d



2100 GW of wind (60-fold increase)
 525 one-gigawatt nuclear power stations (five-fold increase)

Fukushima y la Radiación



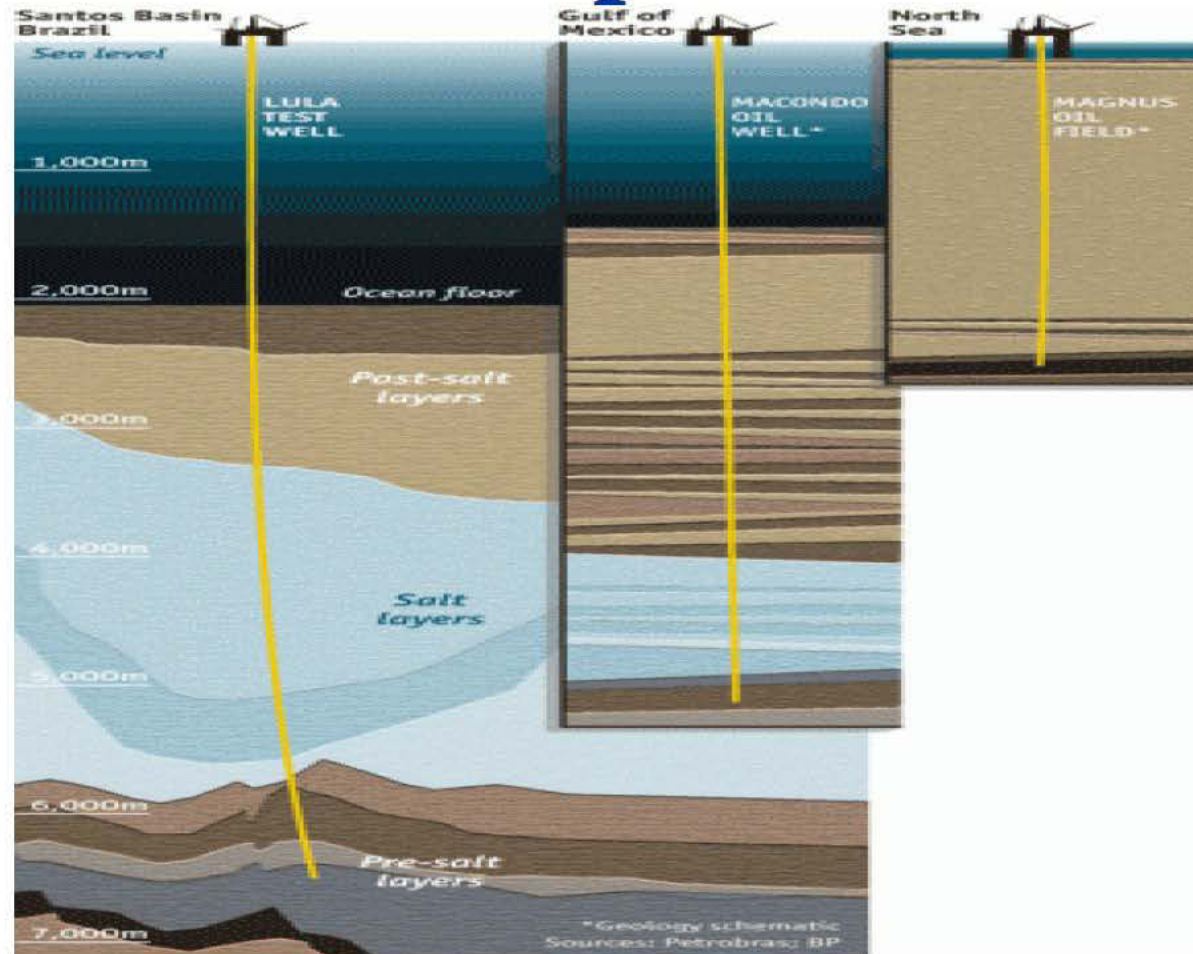
Eventos Altamente Devastadores Relacionados con la Energía. Todos > de 7.0 (Escala 1-10)

Crisis del canal de Suez (1956 -57).....	Petróleo
Guerra de los Seis Días (1967).....	Política
Guerra árabe-israelí y embargo petrolífero a los USA (1973-1974).	
Primera crisis petrolífera	Petróleo
Revolución iraní (1978-1979) Segunda crisis petrolífera	Petróleo
Guerra Irán-Irak (1980 -1981).....	Petróleo
Chernobyl (1987).....	Nuclear
Invasión de Kuwait a Irak (1990-91).....	Petróleo
Suspensión del petróleo iraquí (2001).....	Petróleo
Huelga en Venezuela y crisis de PDV (2002-03).....	Petróleo
Guerra de Irak (2003).....	Petróleo
Huracán Katrina (2005).....	Desastre
Vertido de petróleo de BP en el Golfo de Méjico (BP) (2011)	Petróleo
Tsunami en Fukushima y Fusión Nuclear (2011).....	Nuclear
La Gran Recesión(efectos sobre el consumo y el crecimiento).....	Financiero
Posible: Cierre del Estrecho de Ormuz (¿2012?).....	Petróleo

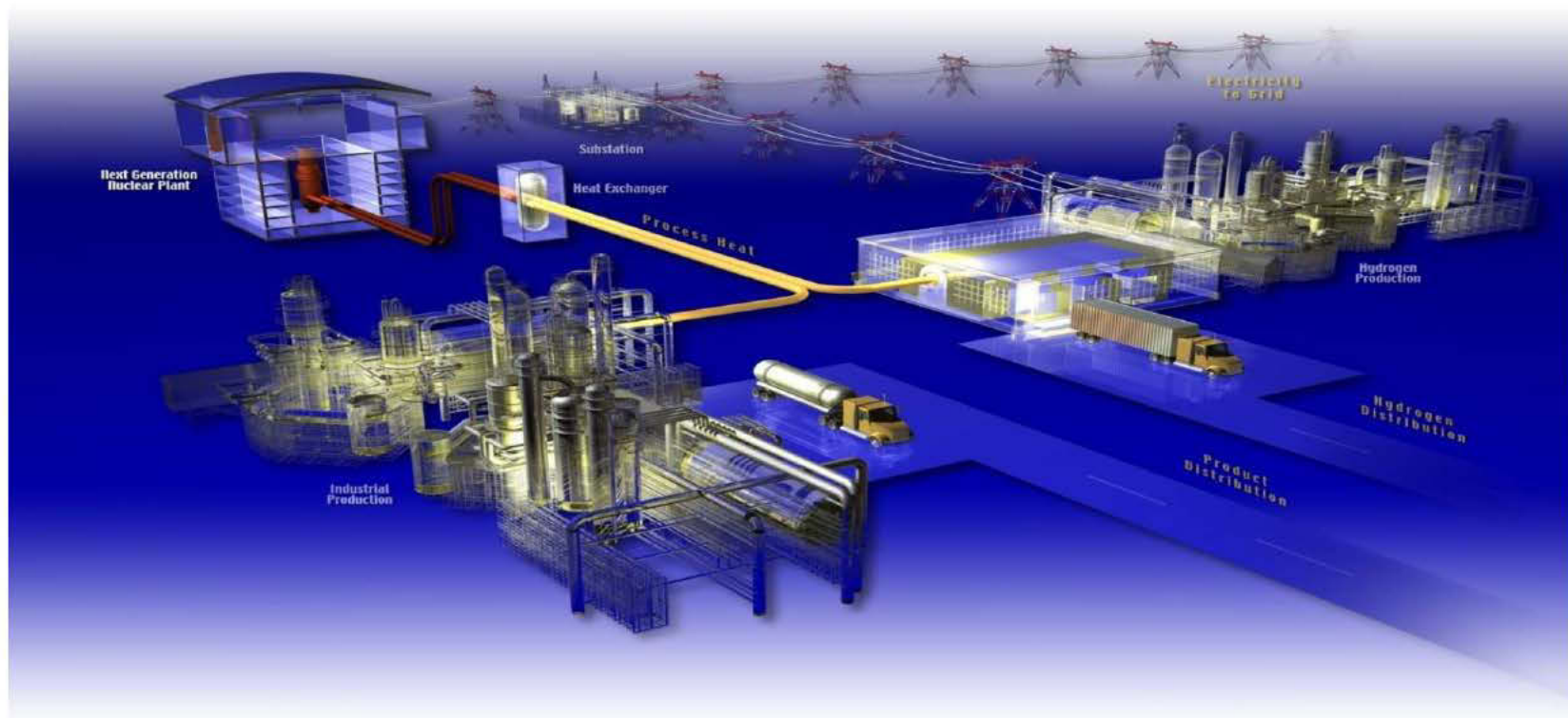
Los GRANDES desastres no son infrecuentes...



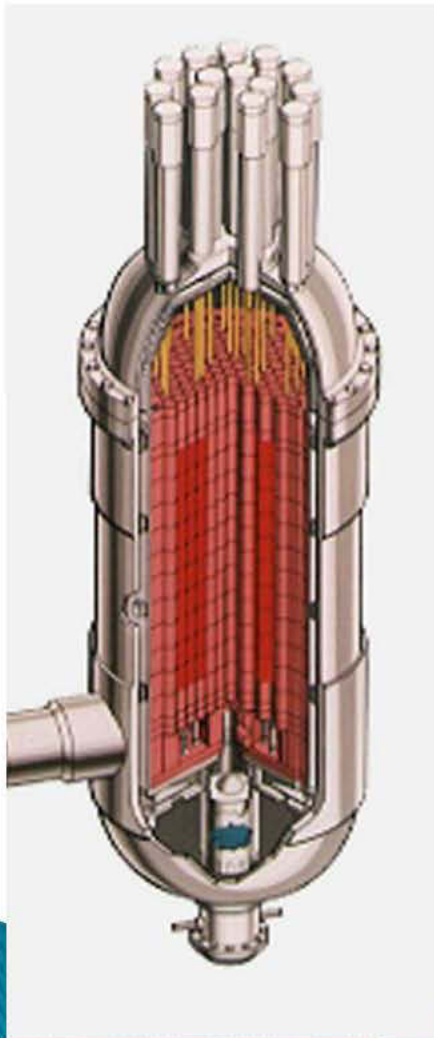
Sería de esperar que haya más...
al perforar más profundamente.



El Programa de Investigación en Competitividad Nuclear y Herramientas de Evaluación de Inversión y Valoración utilizará la energía nuclear más allá de la electricidad en **KA CARE**, en Arabia Saudí.



LAS CARACTERÍSTICAS MÚLTIPLES DEL REACTOR PROPORCIONAN SEGURIDAD ALTERNATIVA... ¿Cuál es más COMPETITIVO?



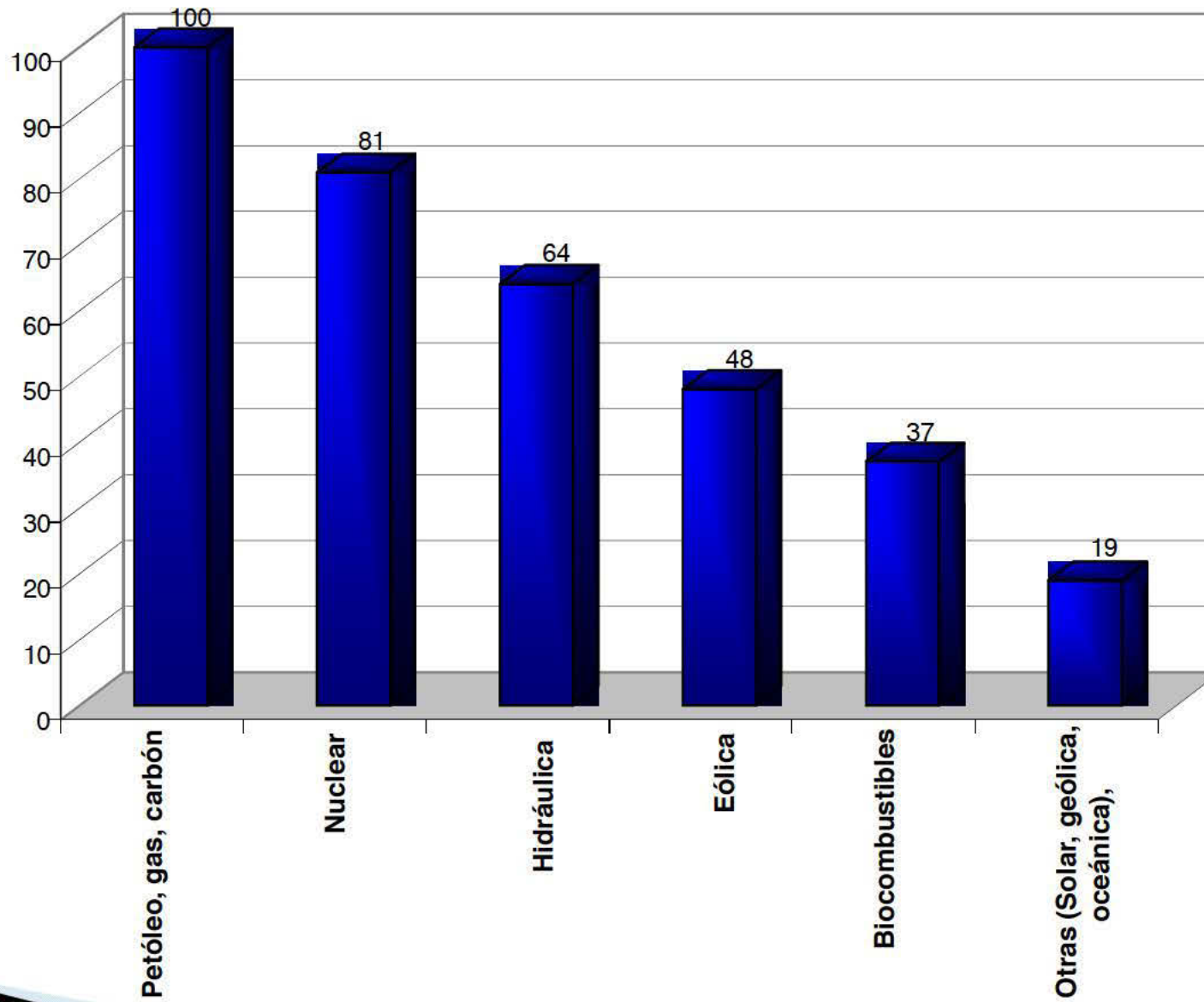
... RENDIMIENTO EFICIENTE Y FIABLE CON PROPIEDADES DE SEGURIDAD INHERENTES

- ¿Refrigerante de gas de helio (inerte)?
- ¿Combustible refractario?
(Alta capacidad térmica)
- ¿Núcleo del reactor de Grafito?
(Alta estabilidad térmica)
- ¿Baja densidad de potencia, bajo índice de potencia?
- ¿Extracción pasiva del calor residual?

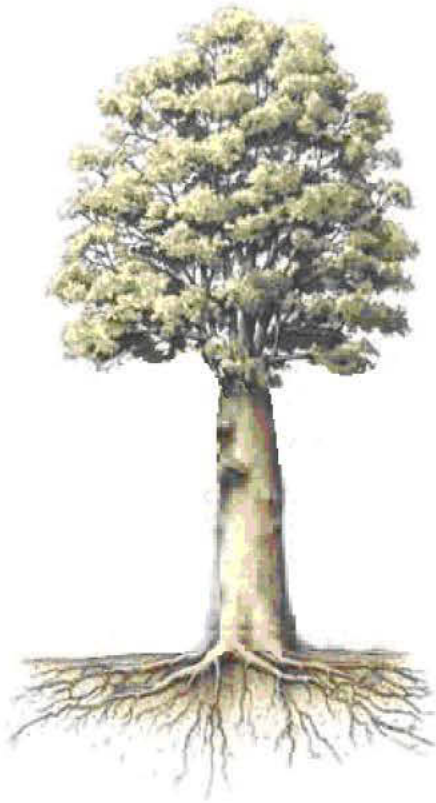


Dr. Fleischmann y B. Stanley Pons
en la Universidad de Utah

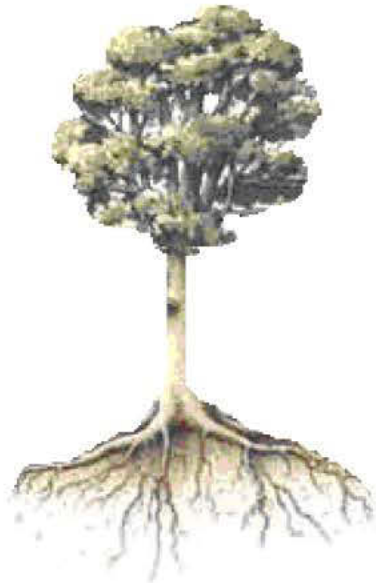
Competitividad del sector energético



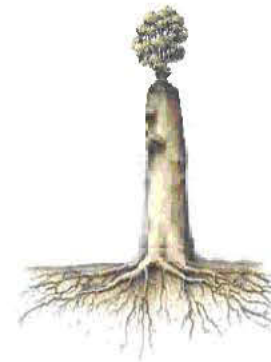
Los *árboles* de Competitividad



Hidrocarburo



Nuclear



Eólica



Solar

Fin

Prof. Rodrigo Villamizar

USD, San Diego

IEB, Madrid

2012