

# La energía nuclear, una opción incomoda

Guillermo Sánchez

<http://diarium.usal.es/guillermo>

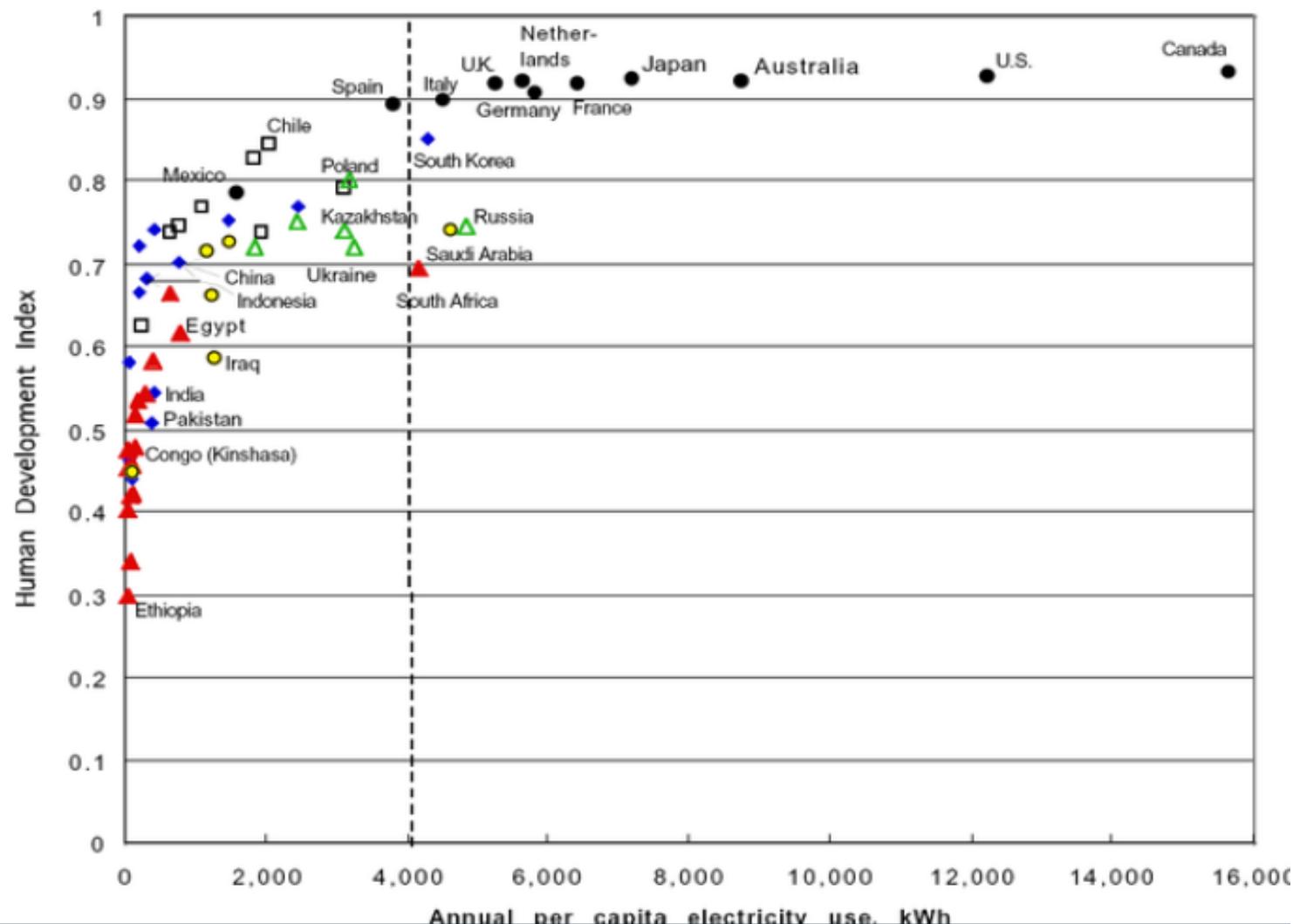
- El mundo está sumido en una crisis energética y ambiental. La demanda energética continuará aumentando en los próximos años. Europa depende casi totalmente de fuentes de energías externas, y esta situación continua empeorando.
- ¿Qué podemos hacer? ¿Serán las energías renovables la solución? ¿Podemos prescindir de la energía nuclear?

# La Tierra de noche

NASA: A map of the night-time city lights of the world constructed from images taken by the Defense Meteorological Satellite Program's Operational Linescan System

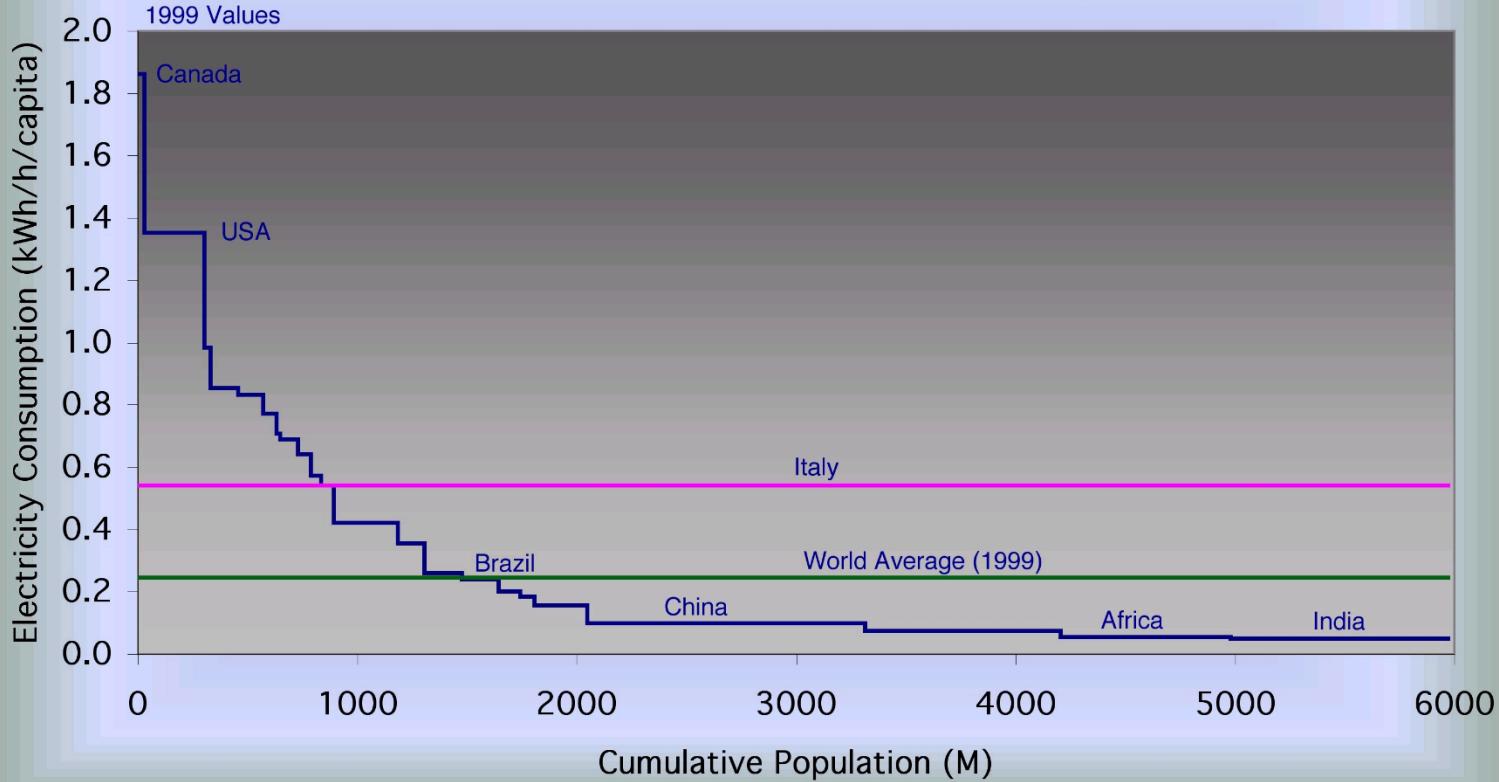


# Consumo de energía y bienestar



## Electricity Consumption per Head by Population

Source: Energy Information Administration, US Department of Energy, 2001

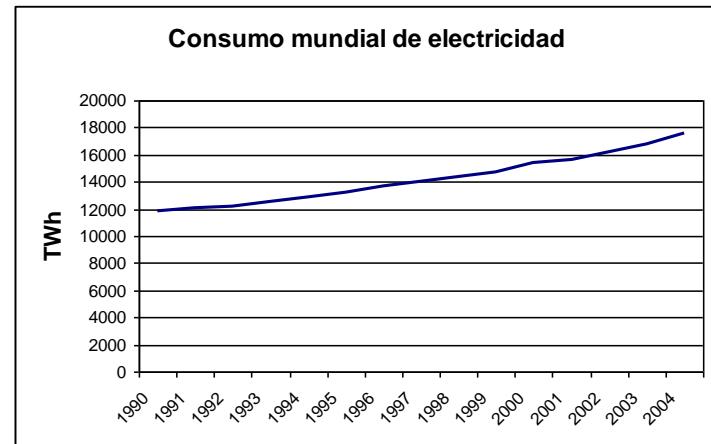
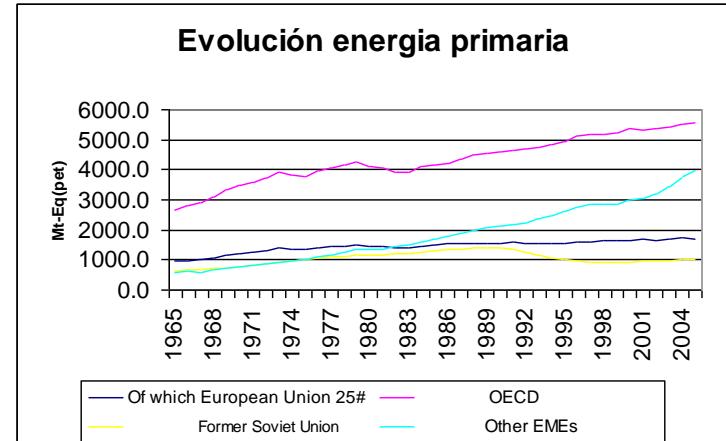


# Los hechos (1):

- La Unión Europea importa más del 50% de la energía que consume. Esta dependencia aumentará al 70% en los próximos 20 años.
- La mayor parte de la energía de la UE procede del Golfo Pérsico, donde están localizadas más del 70% de las reservas mundiales de petróleo y gas.
- Los combustibles fósiles :
  - a) Se están agotando (petróleo y gas)
  - b) Producen gran parte del denominado efecto invernadero

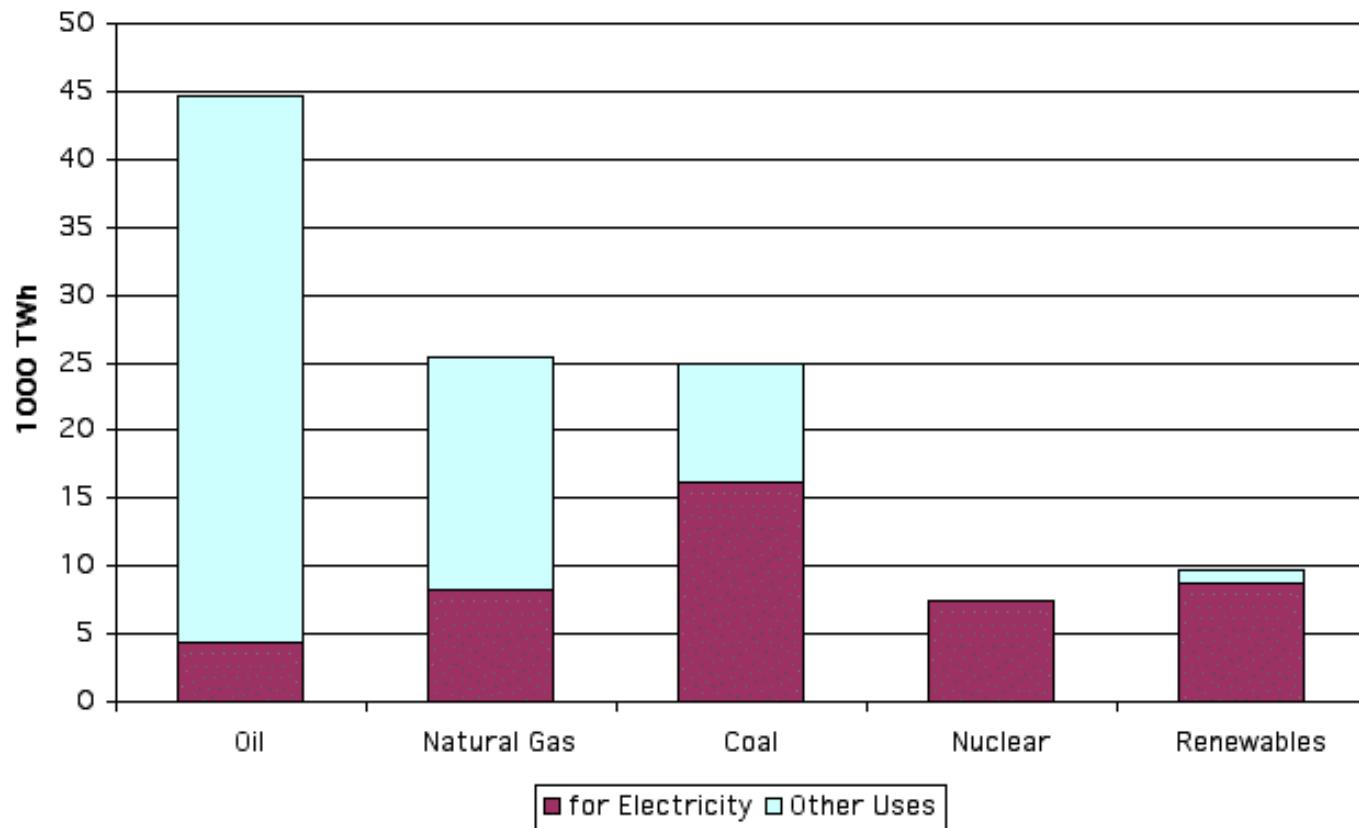
# Los hechos (2):

- El consumo de energía aumenta. Nada hace prever que deje de ser así en los próximos años. Por el contrario, es esperable una tasa de crecimiento mayor
- La tasa de crecimiento del consumo de electricidad es mayor que el de la energía primaria



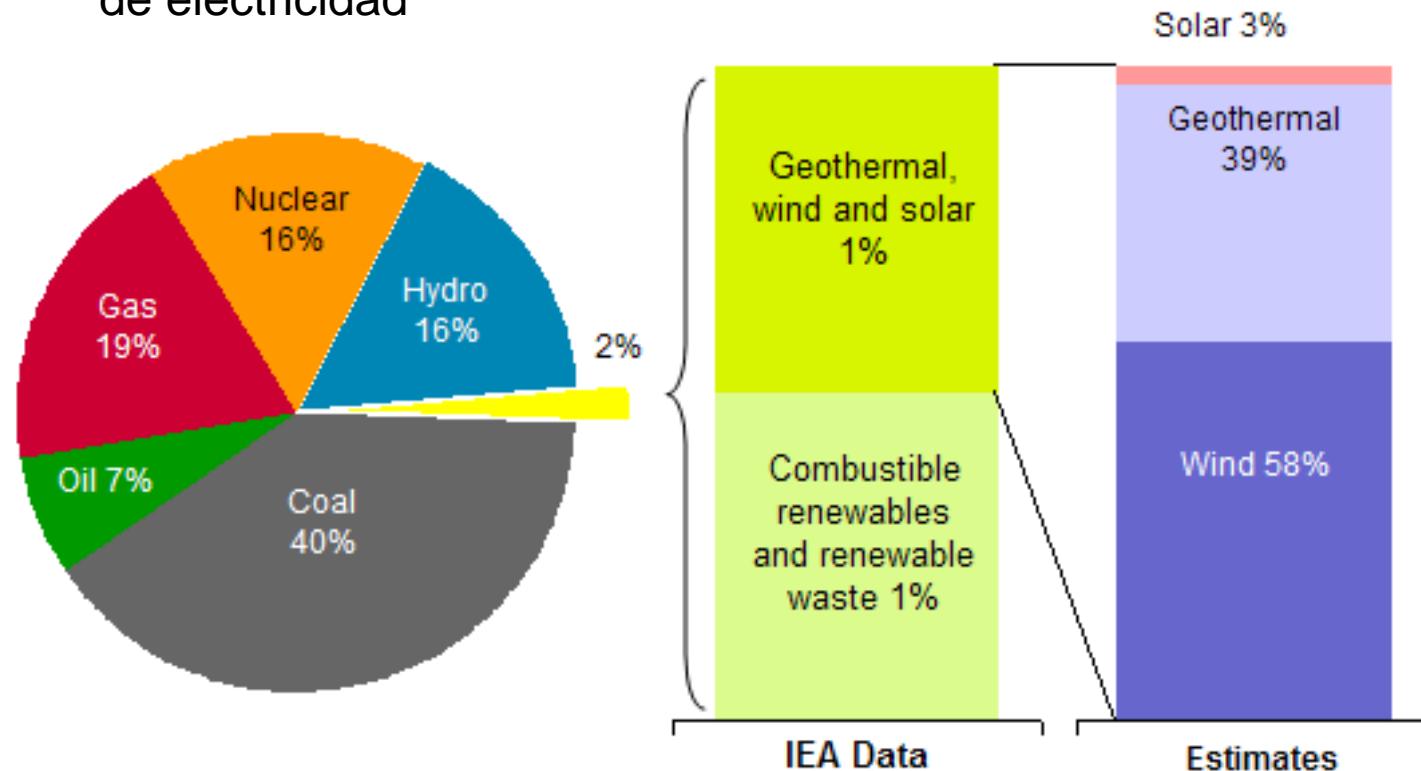
## Energy Use by Resource Type

Source: Energy Information Administration, US Department of Energy, 2001



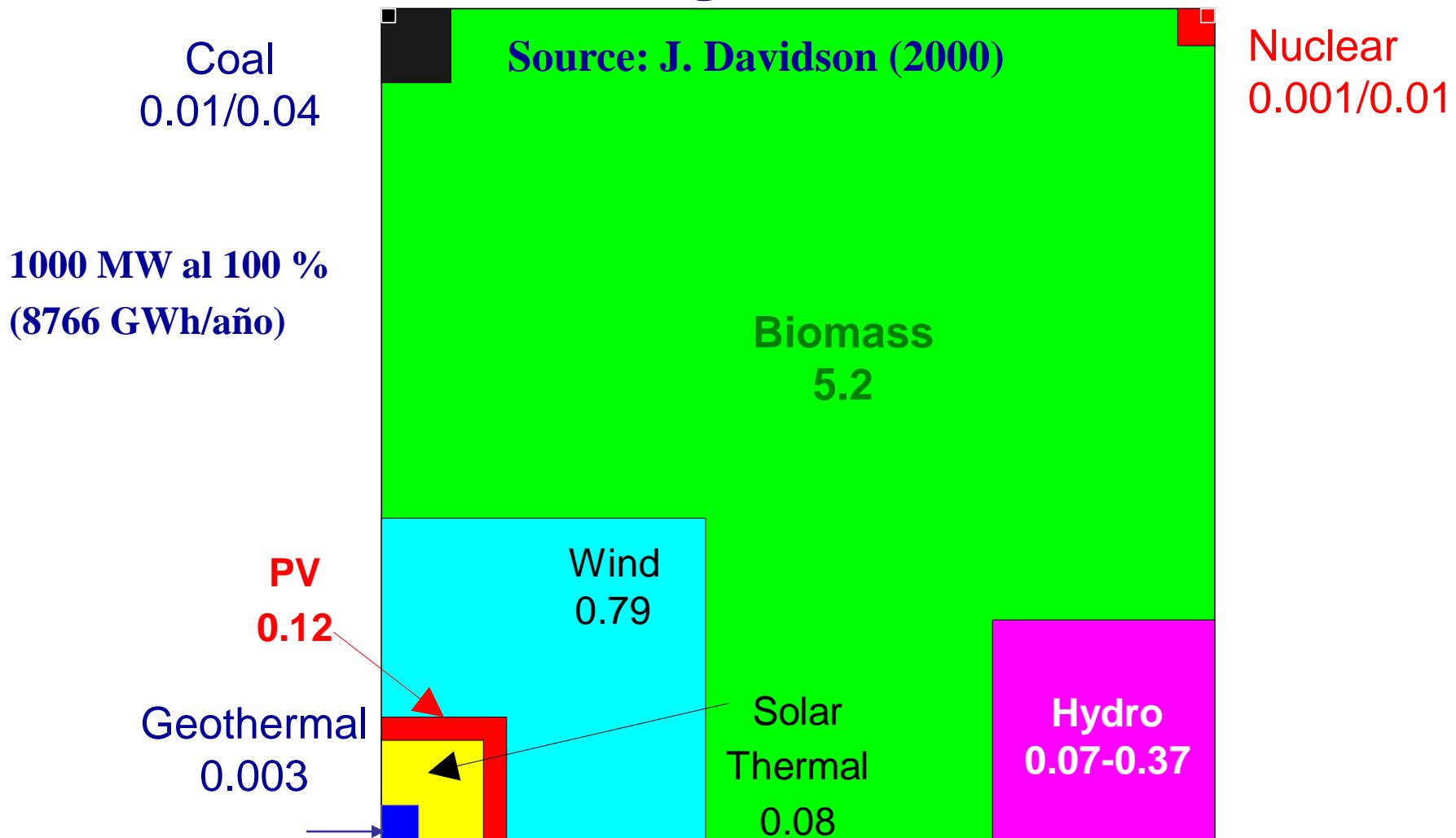
# Los hechos (3)

Participación de las distintas fuentes en la generación de electricidad



Fuente: BP (datos actualizados a 2003)

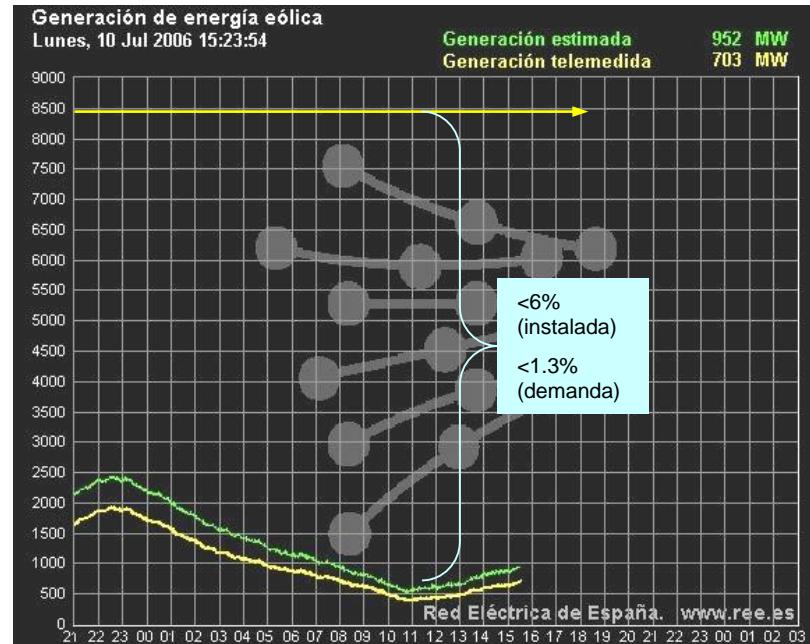
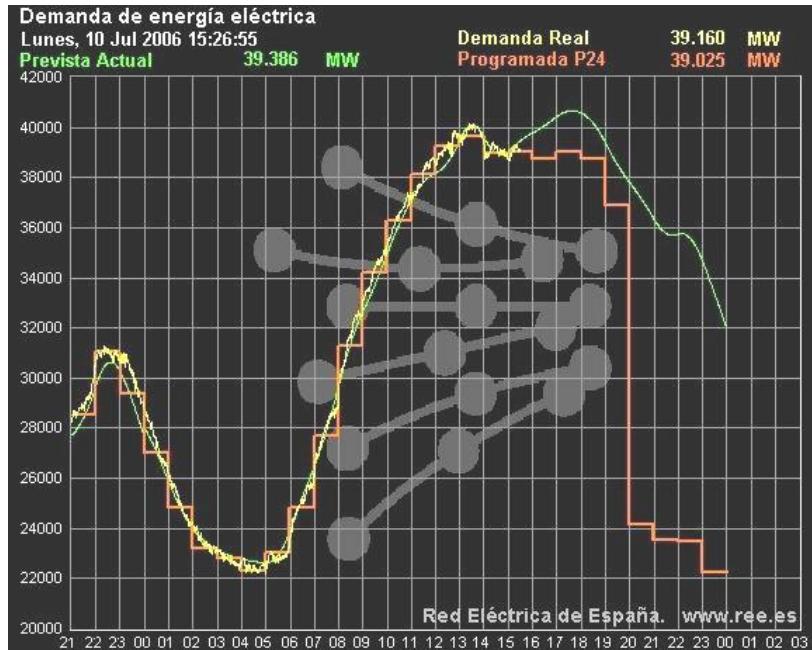
# Espacio ocupado para las distintas fuentes de energía(km<sup>2</sup> / MW)



# La situación actual

- El consumo de energía primaria y de electricidad no es previsible que deje de aumentar. La mayor parte de la energía se obtiene de combustibles fósiles, si esto continua →  $\Delta\text{CO}_2 \rightarrow \Delta\text{Efecto invernadero}$
- ¿Qué fuentes libres de CO<sub>2</sub> disponemos?:
  - Energías renovables
  - Energía nuclear

# Fuentes alternativas



Según REE: “La producción de energía eólica presenta algunas singularidades, derivadas fundamentalmente de su carácter no gestionable, que obliga a disponer en el sistema de reservas de potencia suficientes en todo momento, procedentes de otras fuentes de energía.”

# El riesgo del efecto invernadero

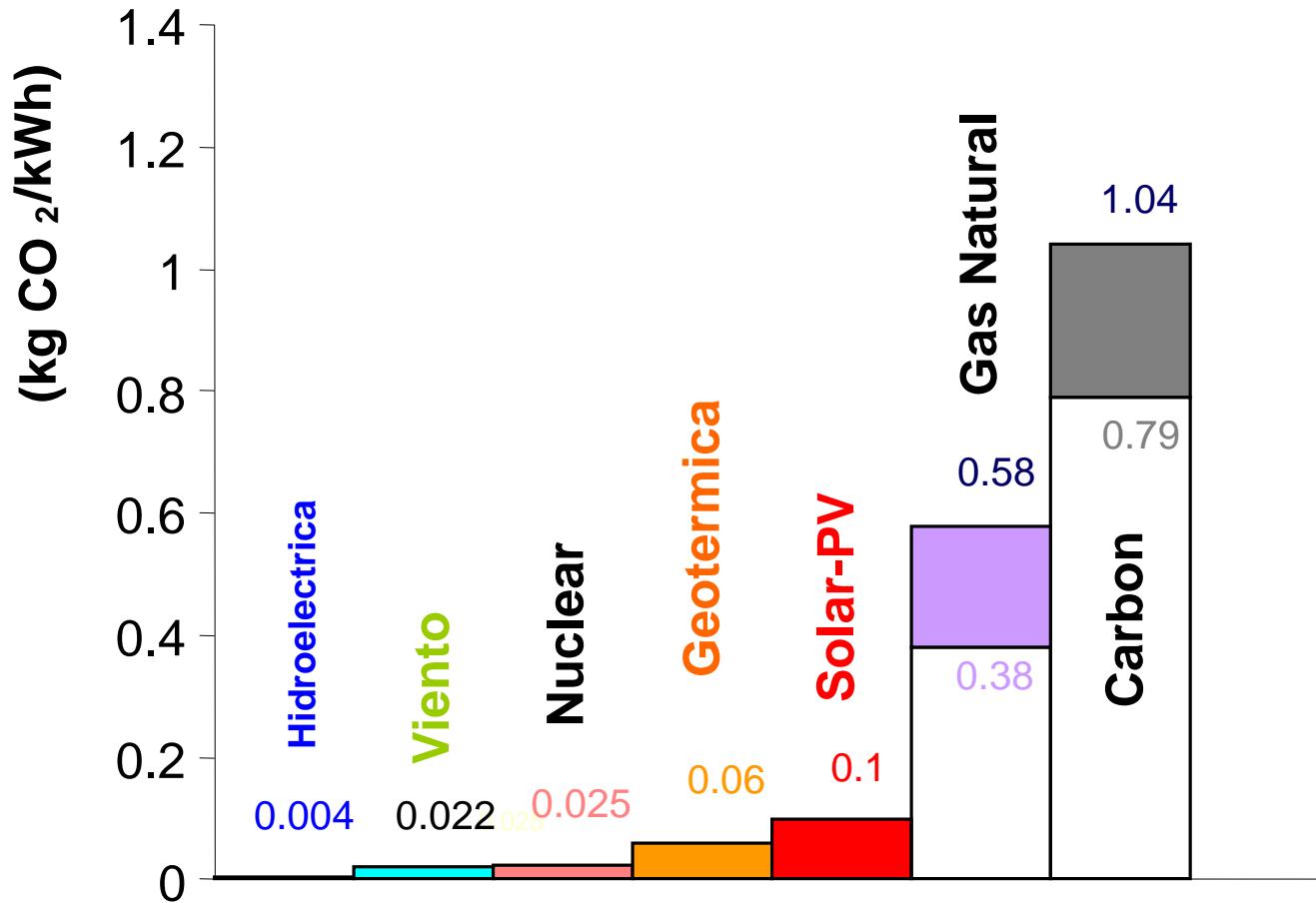
## Emisiones específicas de CO<sub>2</sub>

COMBUSTIBLE	EMISION (kg CO <sub>2</sub> / GJ)	EMISION (g CO <sub>2</sub> / kWh <sub>e</sub> )
Gas Natural	53.0	540
Fueloil	78.0	800
Hulla	92.0	940
Antracita	96.3	990
Lignito	111.0	1140

# EMISIONES de CO<sub>2</sub>"

## Construcción/Operación/Obtención del combustible

(kg CO<sub>2</sub> / kWh)\* Source: J. Davidson (2000)



# 1000 MWe-yr Power Plant Emission\*

	<u>Coal</u>	<u>Gas</u>	<u>Nuclear</u>
<b>Sulfur-oxide</b>	~ 1000 mt		
<b>Nitrous-oxide</b>	~ 5000 mt	400 mt	
<b>Particulates</b>	~ 1400 mt		
<b>Trace elements</b>	~ 50 mt**	<1 mt	
<b>Ash</b>	~ 1million mt		
<b>CO2</b>	> 7million mt	3.5mill. mt	
<b>** TRACE: e.g., Mercury, Lead, Cadmium, Arsenic</b>			
<b>Spent Fuel</b>		20-30 mt	
<b>Fission Products</b>		~1-2 mt	

\*Source: EIA (2002)

**Hacia 2020-2025:**

Escasez y encarecimiento del petróleo

Fin de la vida útil de las centrales nucleares

**Futuro?:**

Gas Natural: La energía “puente”

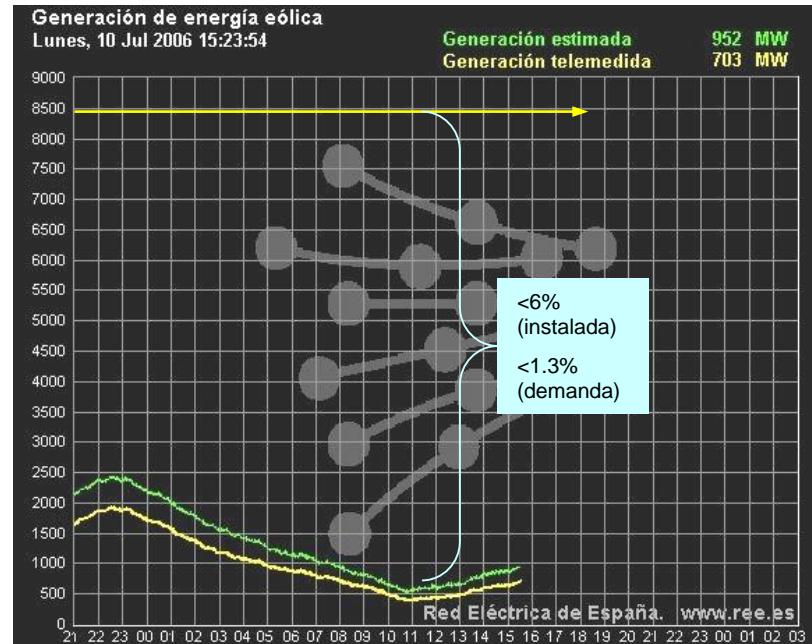
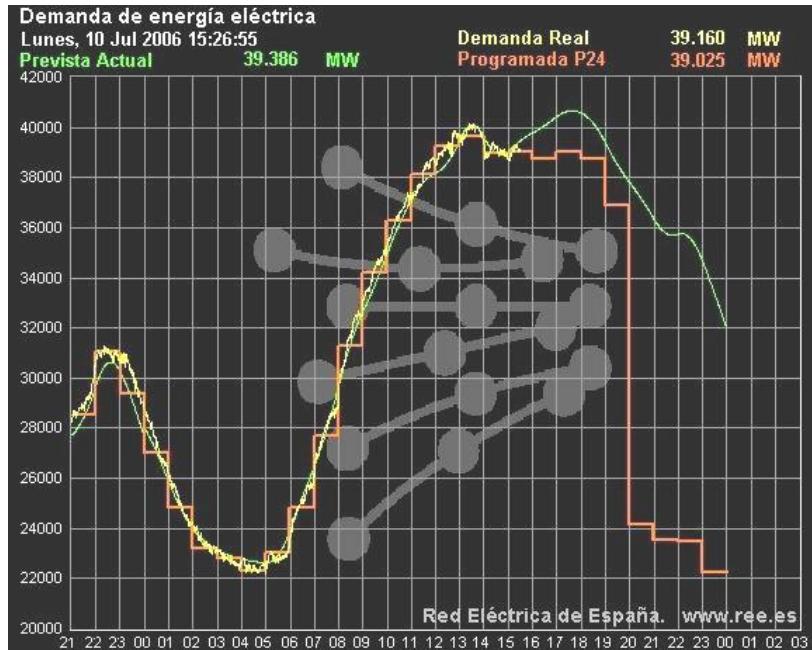
Solar + Eólica + Biomasa + otras renovables

Nuevos usos y tratamientos del carbón

Nuevos dispositivos de fisión

Fusión (en ningún caso para esa fecha)

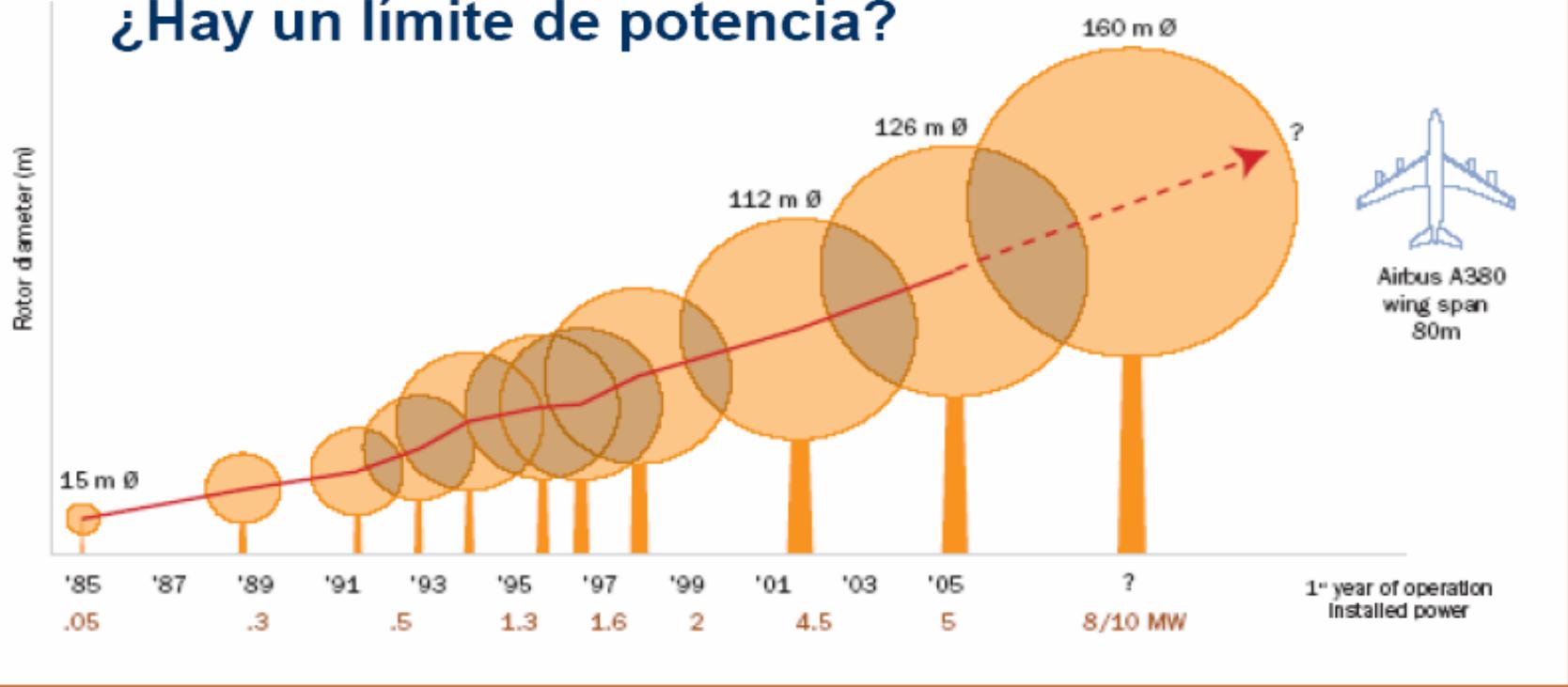
# Fuentes alternativas



Según REE: “La producción de energía eólica presenta algunas singularidades, derivadas fundamentalmente de su carácter no gestionable, que obliga a disponer en el sistema de reservas de potencia suficientes en todo momento, procedentes de otras fuentes de energía.”

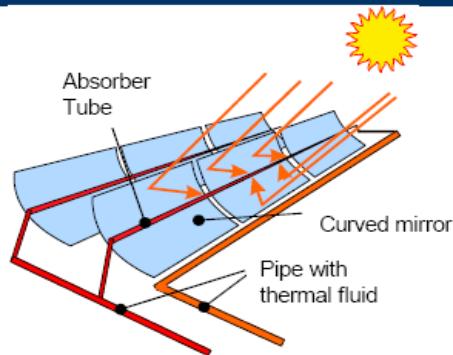
# Energía eólica

¿Hay un límite de potencia?

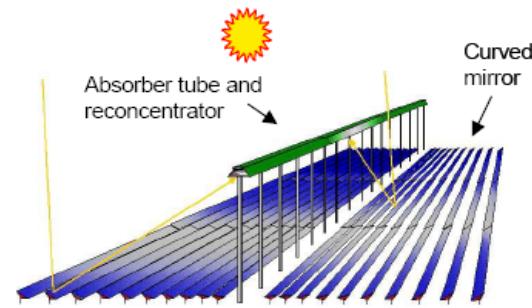


# Solar térmica

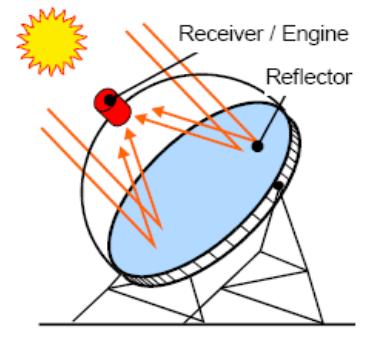
## Tecnologías de concentración



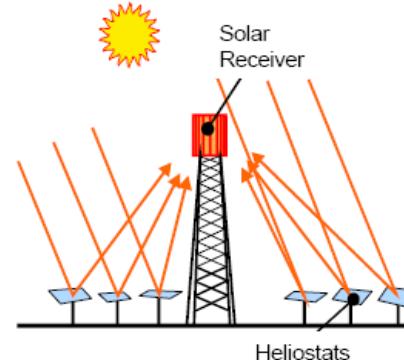
Parabolic Trough



Linear Fresnel



Dish/Engine



Central Receiver

# Instalaciones de ensayo en la PSA



# Biocombustibles

- ✓ **Bioetanol:** Alto coste y baja eficiencia (celulosa ~55 GJ/Ha; hemicelulosa: 75 GJ/Ha).
- ✓ Challenges: Reducción de costes mediante el uso de hemicelulosa y lignina.
- ✓ Variedades no convencionales; Cultivos Energéticos.
- ✓ Generalización de motores de explosión flexibles



## ✓ Bio-diesel:

- ✓ Tecnología probada pero con baja eficiencia (~40 GJ/Ha).
- ✓ Challenges: Cultivos energéticos y valorización de residuos.

# Solar fotovoltaica

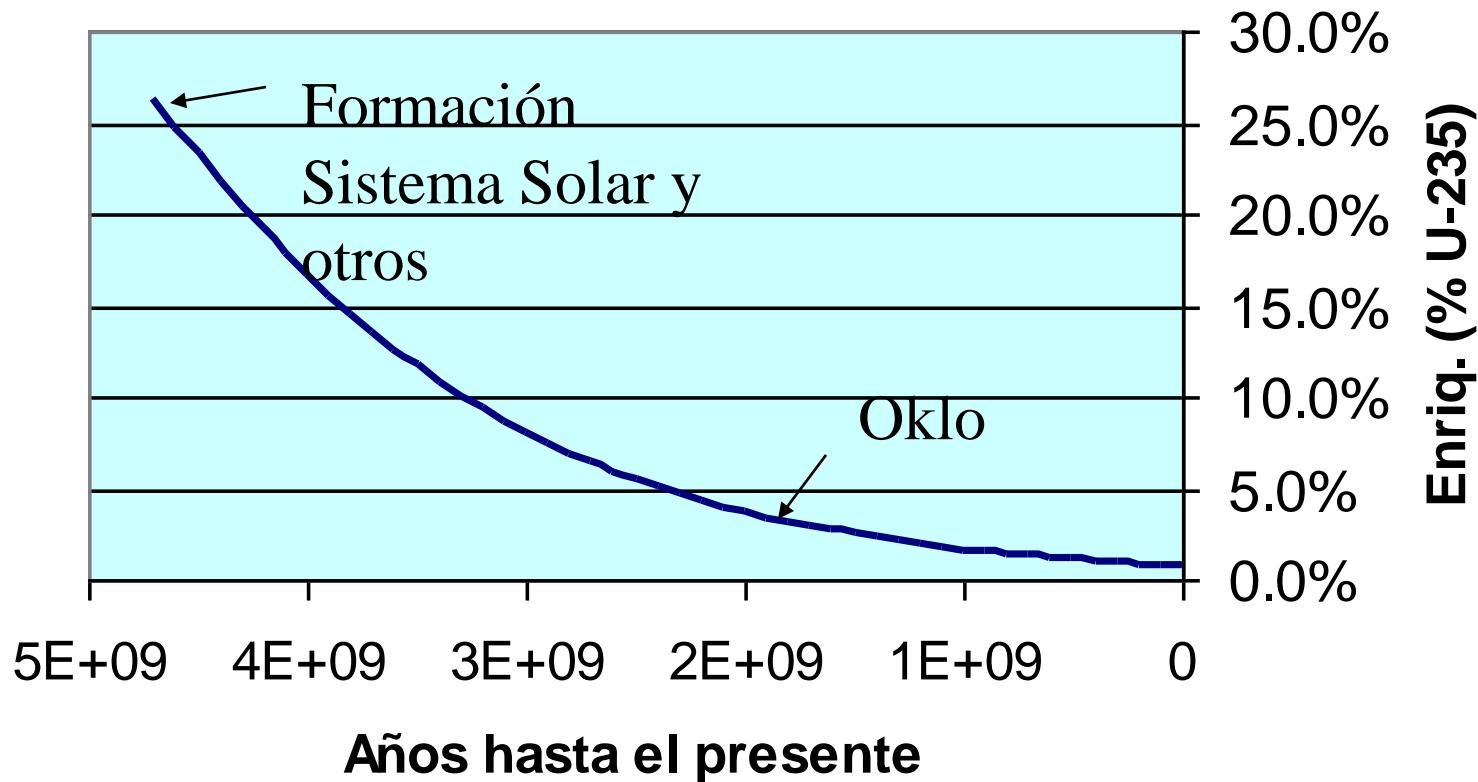
- ✓ Concentración
- ✓ Reducción de costes en las células de silicio
- ✓ Introducción de la tecnología de lámina delgada y dispositivos de hetero-union
- ✓ Nuevos conceptos, como células de materiales poliméricos o sistemas III-V (no sin importantes inconvenientes).
- ✓ Nuevos sistemas integrados de bajo coste y alta durabilidad



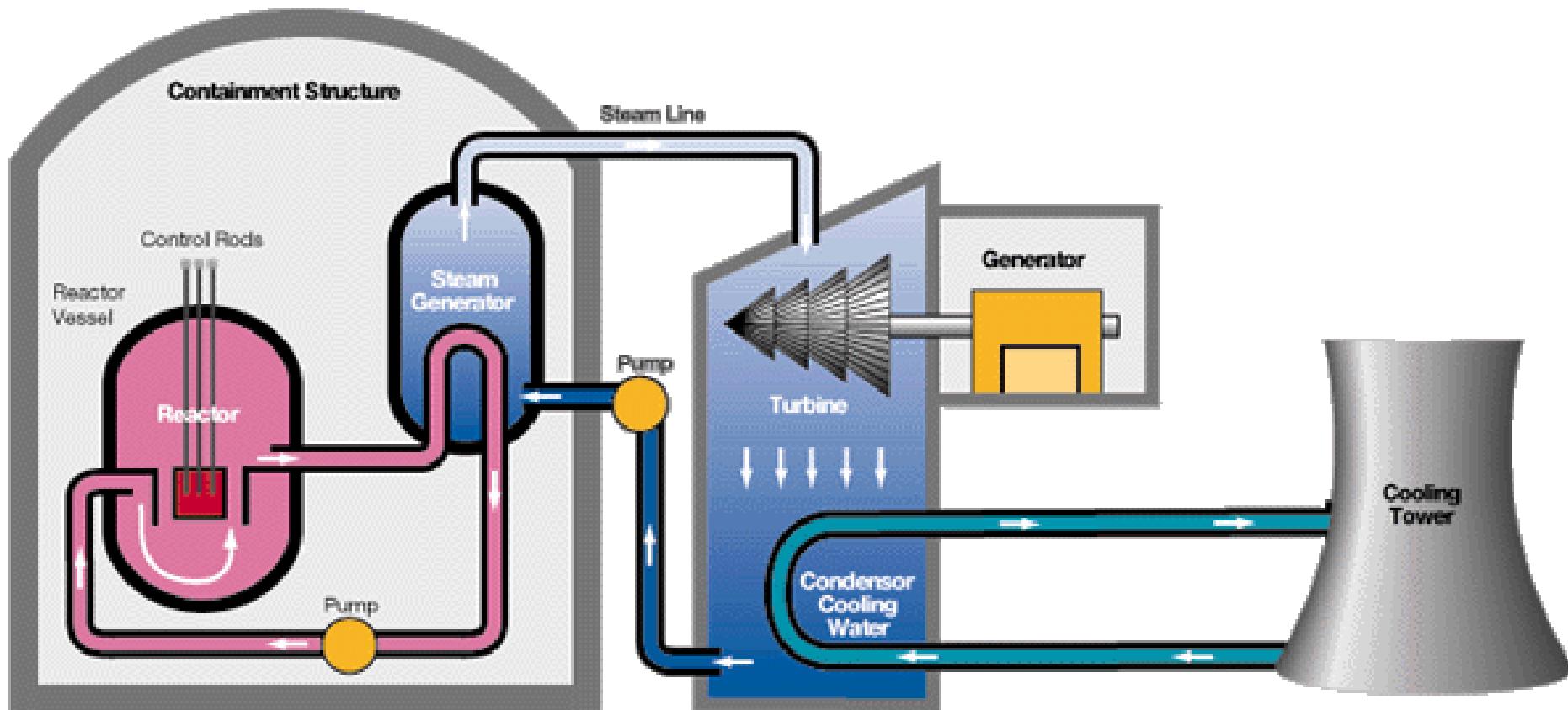
# ¿Qué es la Energía Nuclear?

- Las energías nucleares se basan en la generación de una cantidad enorme de energía al fisionarse (U-235, Pu-239, etc) o fusionarse (H, He, Li)
- La única forma utilizada en la actualidad es la generación de fisiones a partir del U-235 (Los isótopos del Th son otra posibilidad)

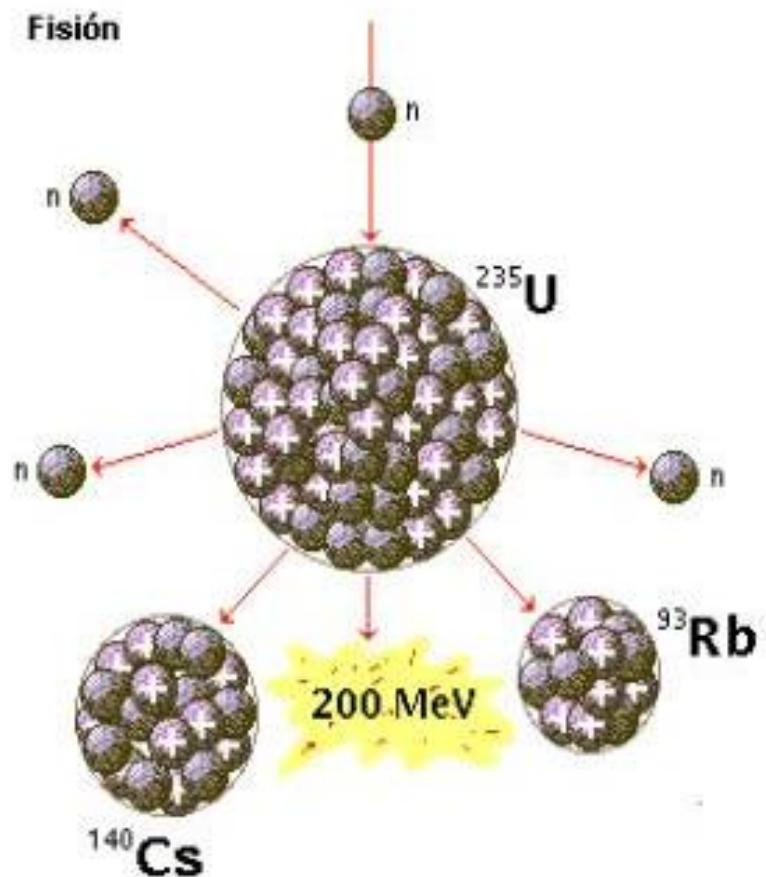
## Enriquecimiento del uranio en el pasado

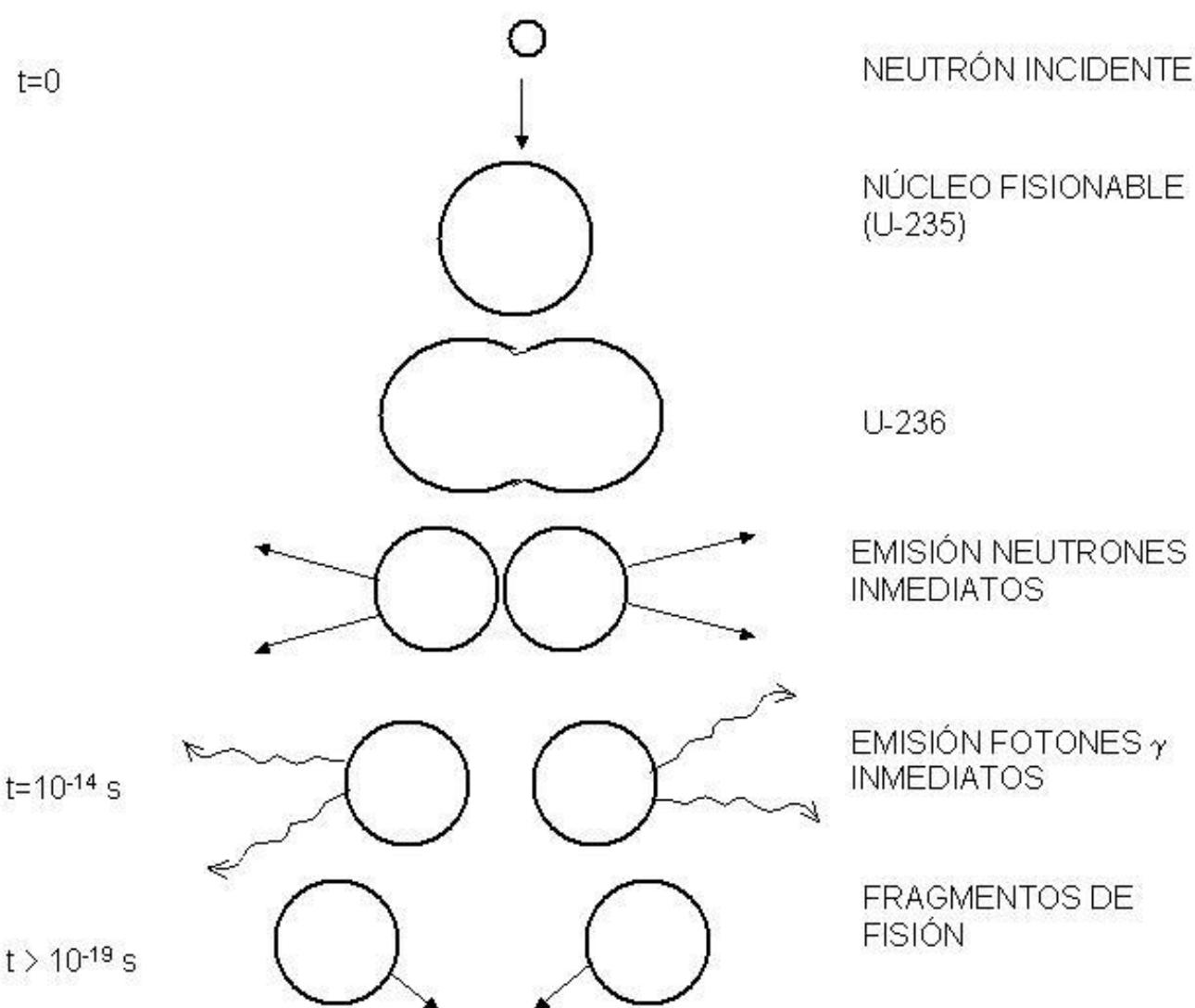


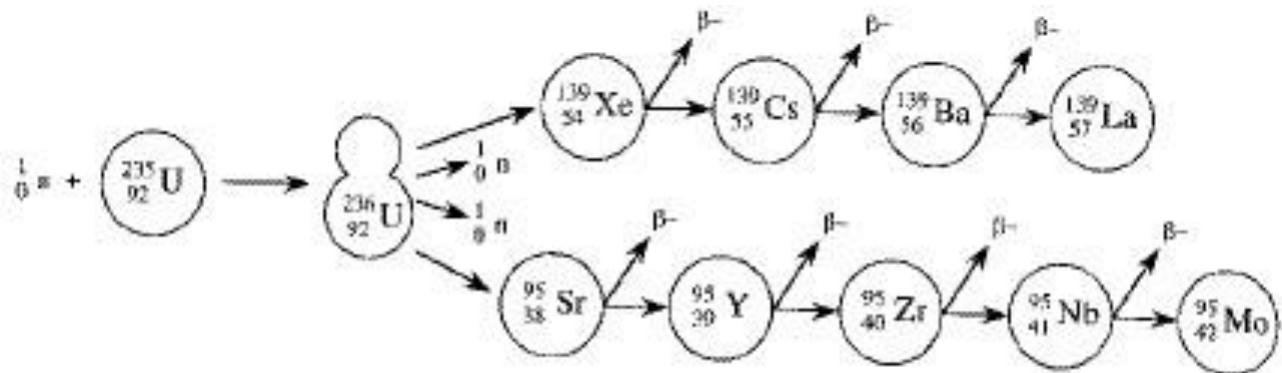
# Reactor PWR



# Fisión nuclear

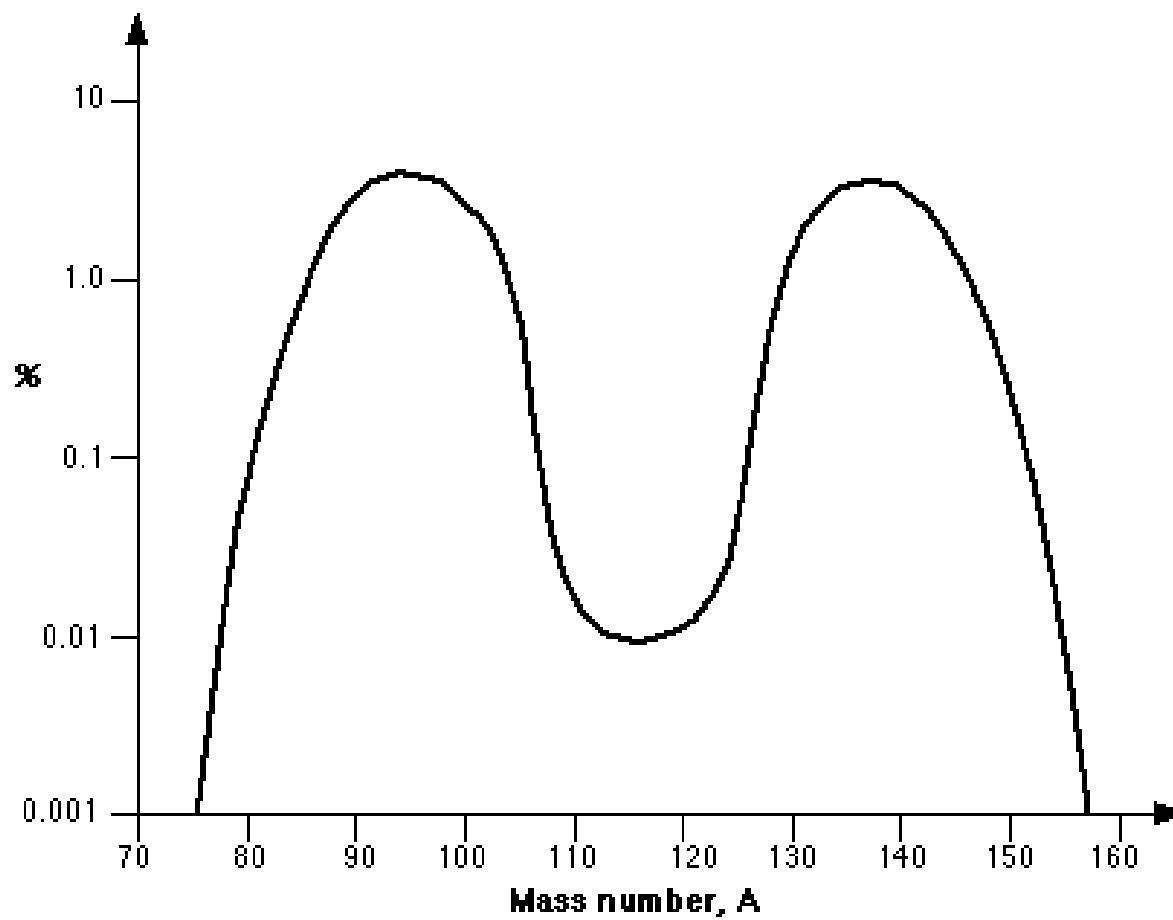


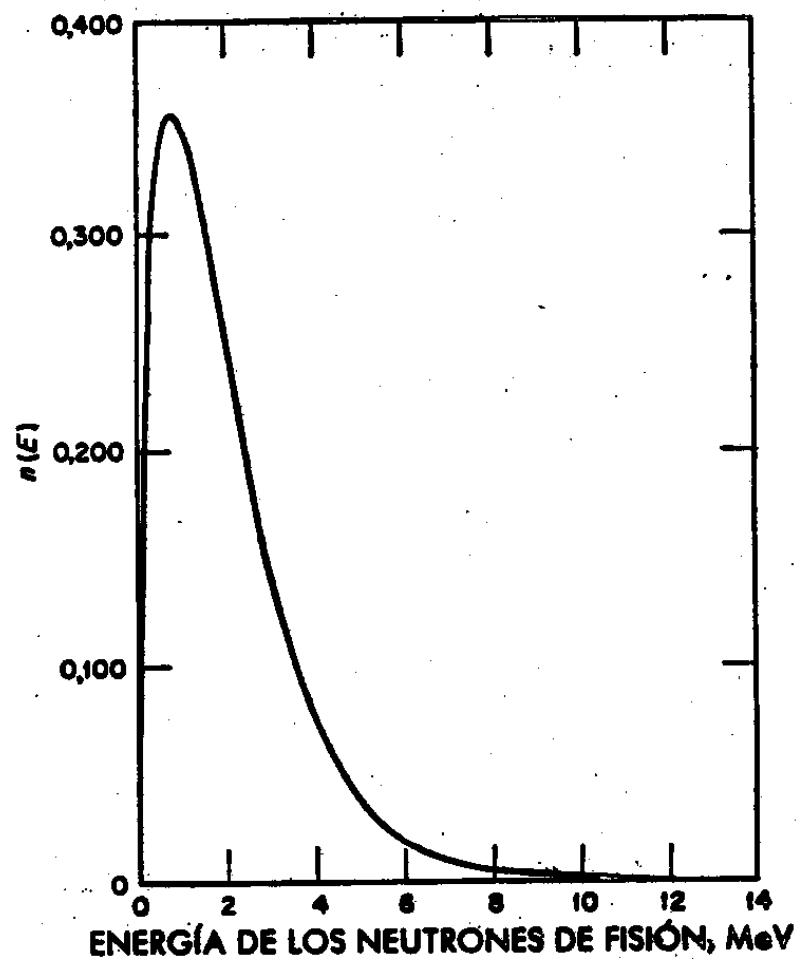




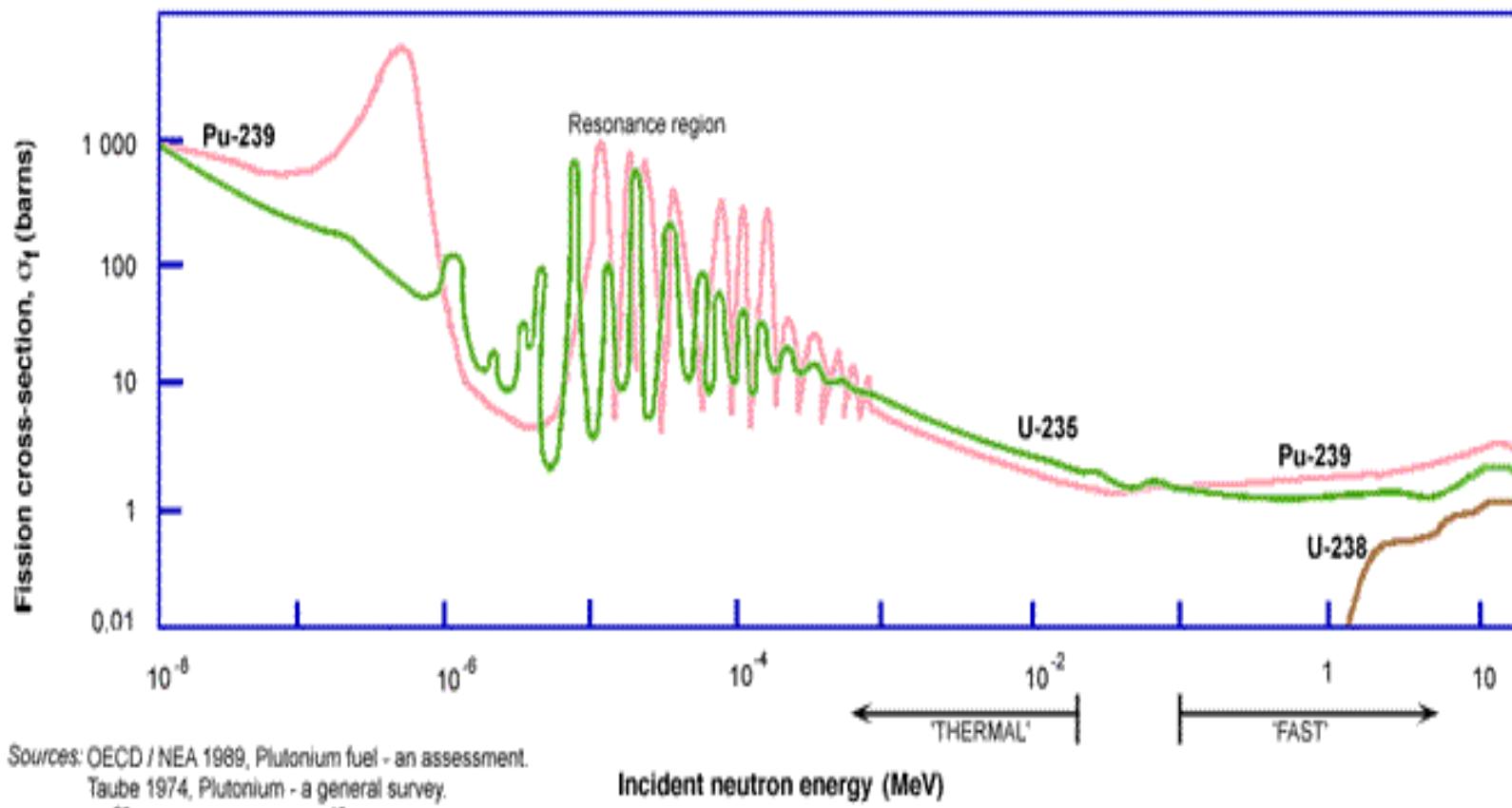
**FIGURE 10-2.** Uranium-235 fission and the series of radioactive transformations by beta emission of the fission products to stable end products when mass numbers 95 and 139 are produced.

### Distribution of fission products from Uranium-235





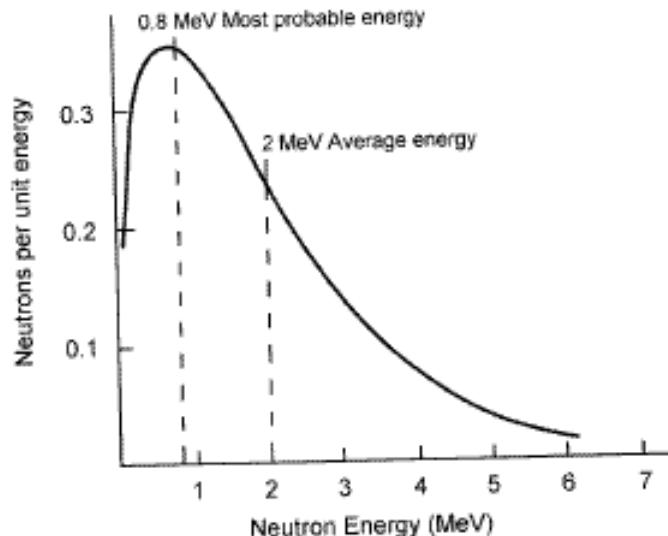
## NEUTRON CROSS-SECTIONS FOR FISSION OF URANIUM AND PLUTONIUM



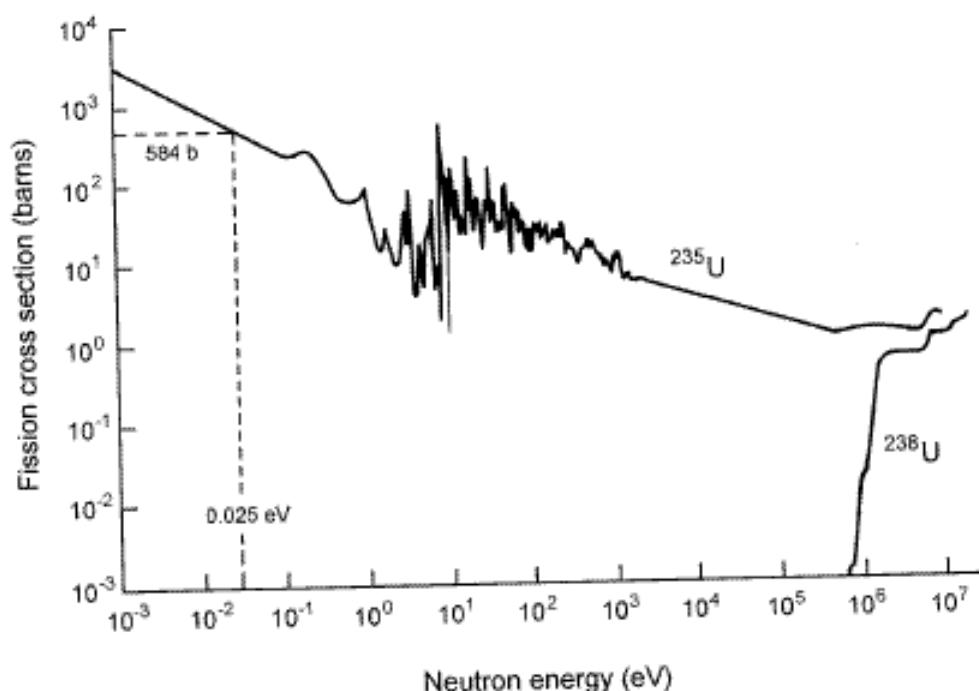
Sources: OECD / NEA 1989, Plutonium fuel - an assessment.

Taube 1974, Plutonium - a general survey.

1 barn =  $10^{-28}$  m<sup>2</sup>, 1 MeV =  $1.6 \times 10^{-13}$  J



**FIGURE 10-3.** Spectrum of neutron energies released in uranium fission.



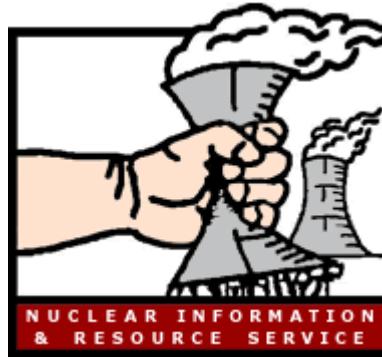
**FIGURE 10-4.** Neutron fission cross sections for  $^{235}\text{U}$  and  $^{238}\text{U}$  showing fast fission effect of  $^{238}\text{U}$  and thermal fission effect for  $^{235}\text{U}$ .

# La energía nuclear

Es un fuente limpia que no emite CO<sub>2</sub>.

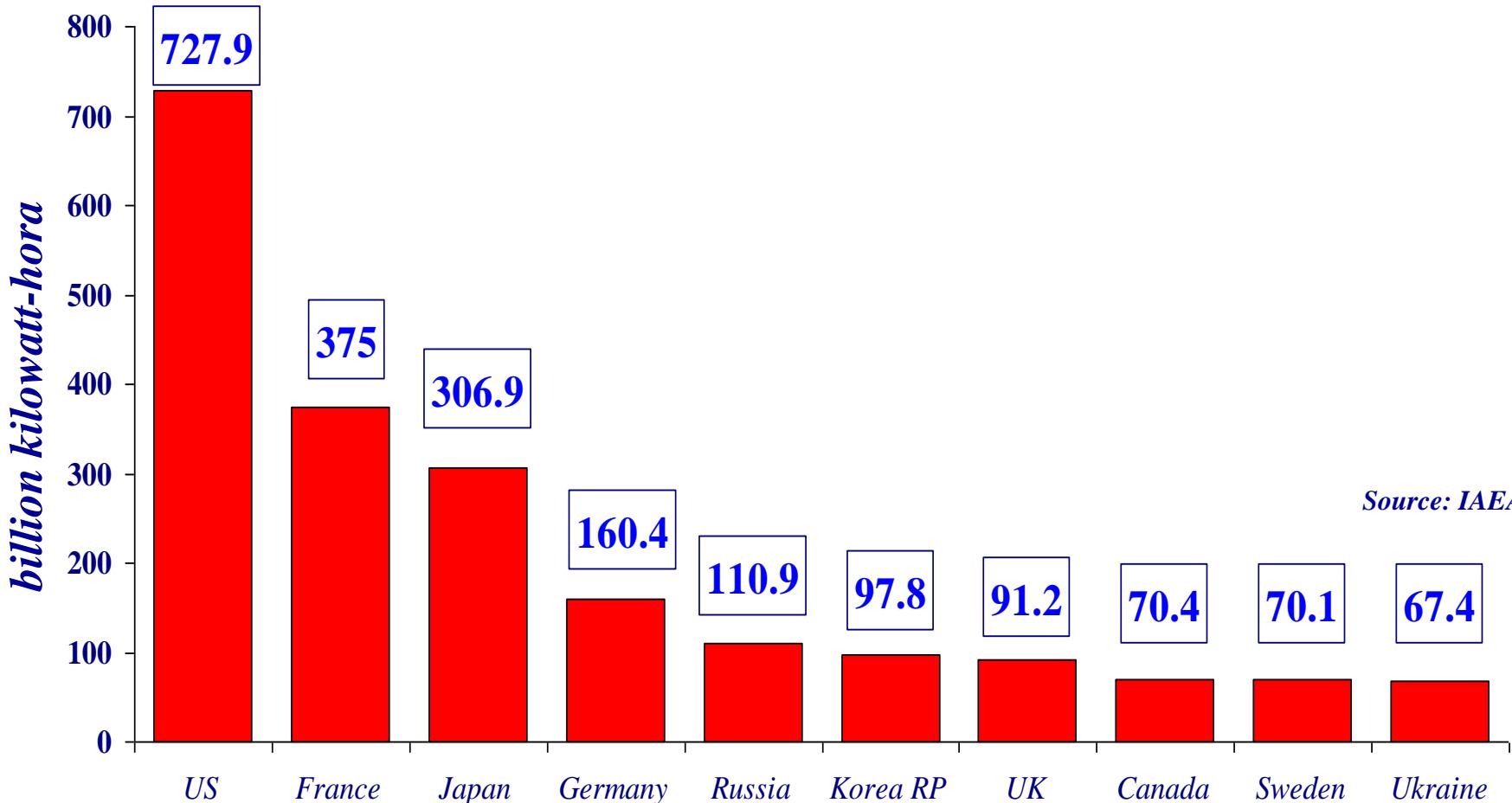
Sus detractores dicen:

- a) Es cara
- b) Genera residuos por milenios
- c) Puede utilizarse en la fabricación de armas nucleares
- d) Es peligrosa

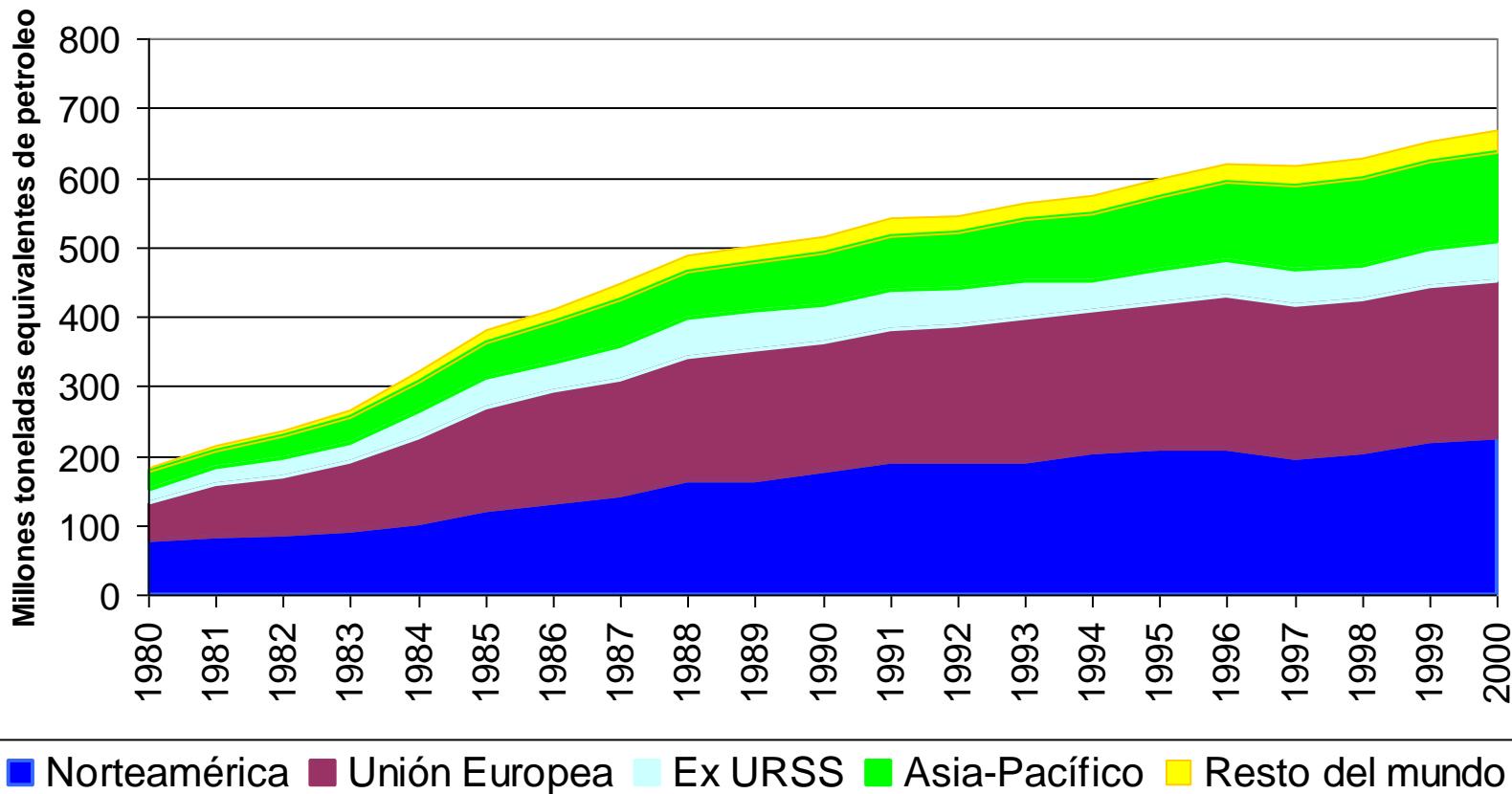


?

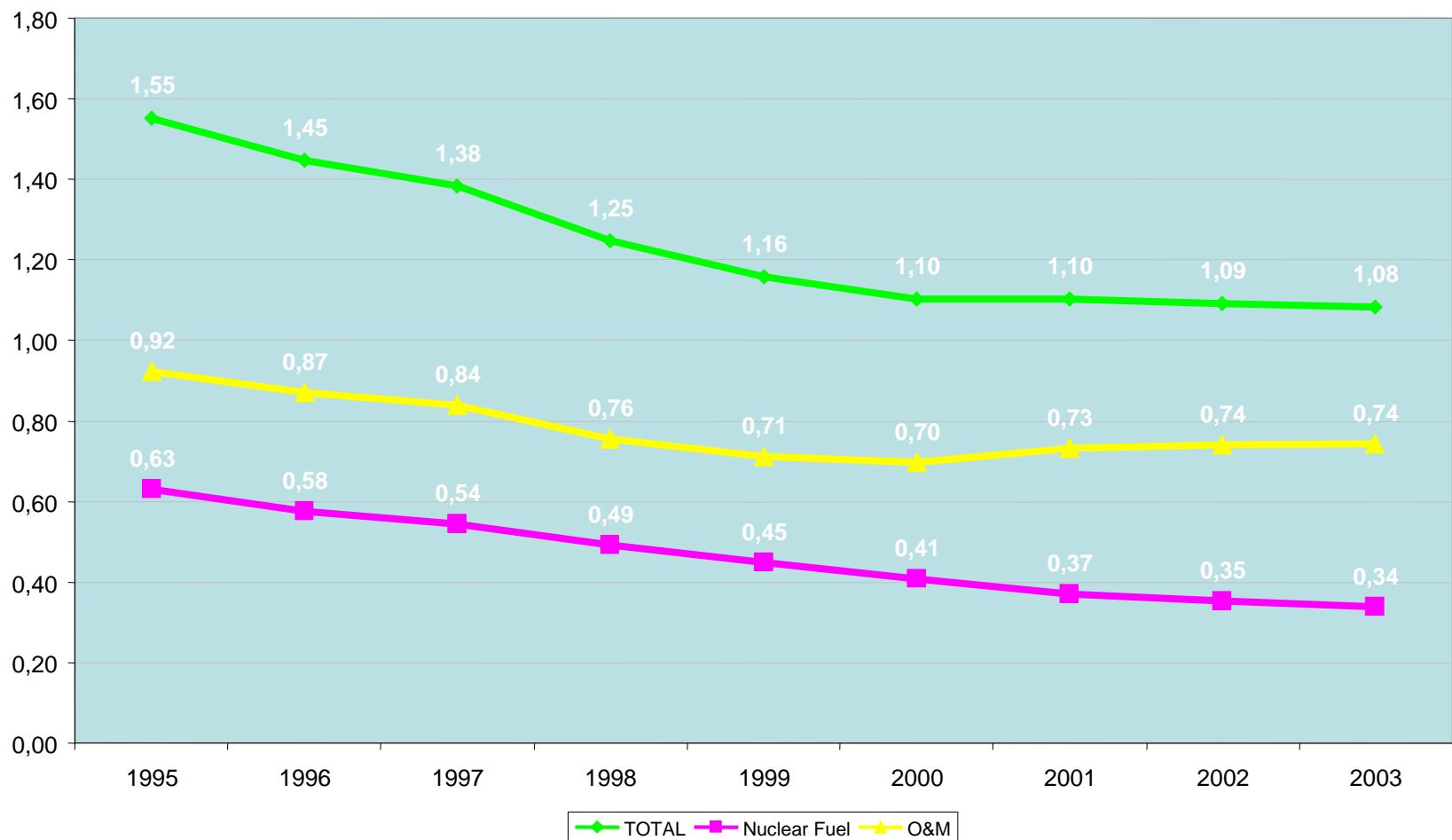
# Las 10 naciones más nuclearizadas (1999)



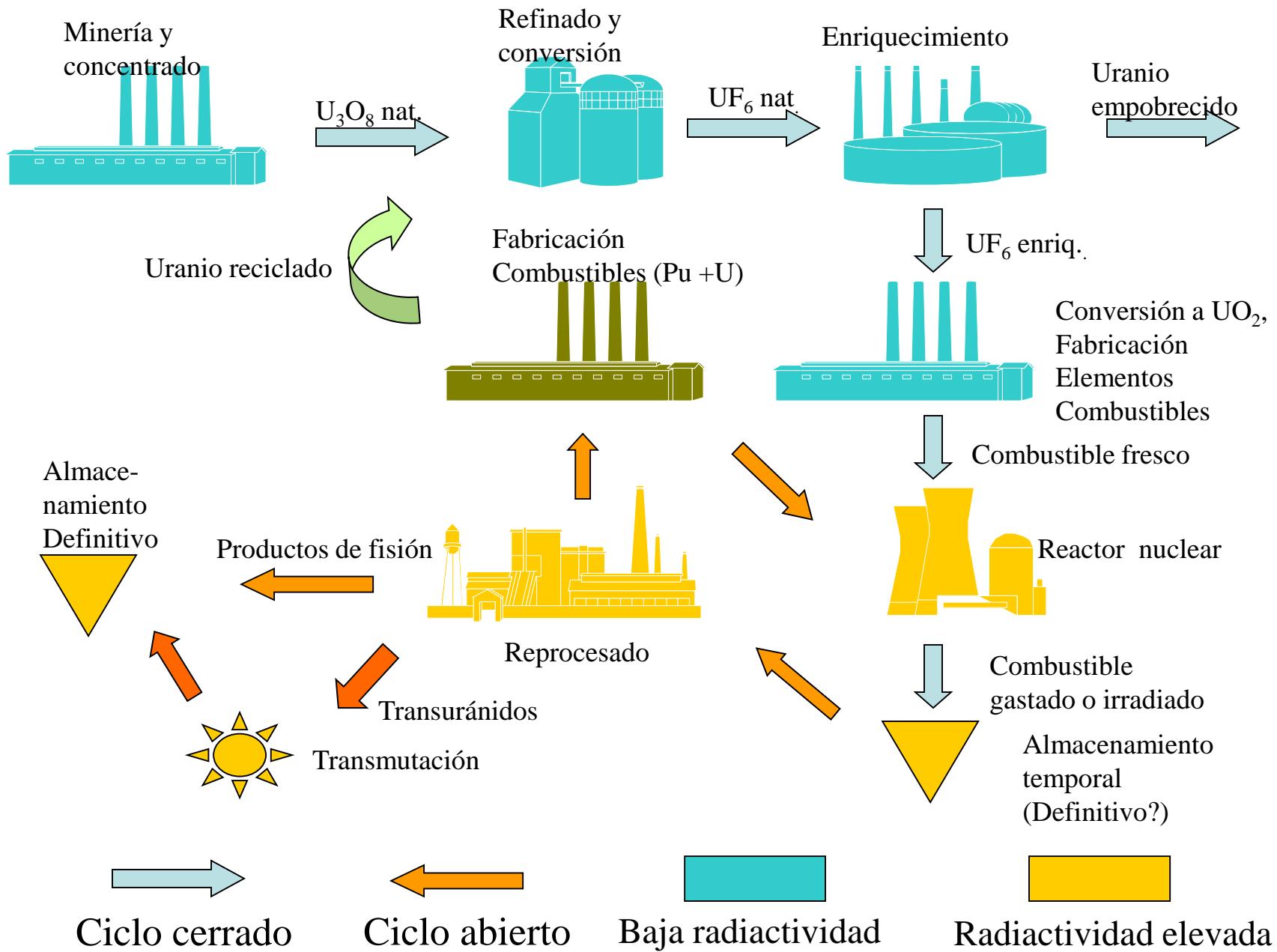
# Evolución del consumo de electricidad de origen nuclear (Fuente: BP)



# ¿Es cara?: Coste de la generación de energía nuclear (O&M: Comb. +Op.) en España

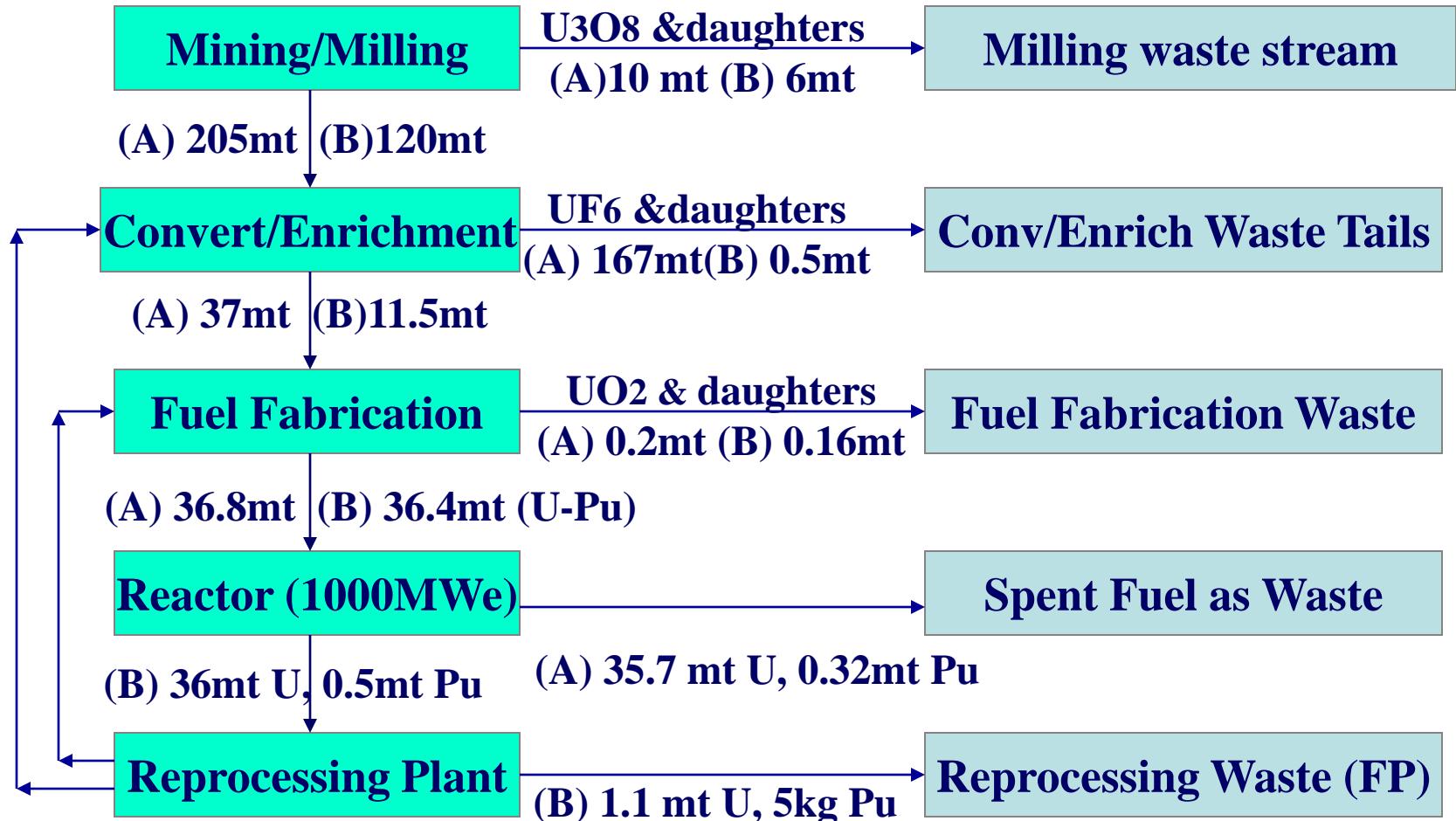


(No están en la gráfica, pero se incluyen en el kWh): a) El coste de construcción. b) El coste de gestión de los residuos y de desmantelamiento

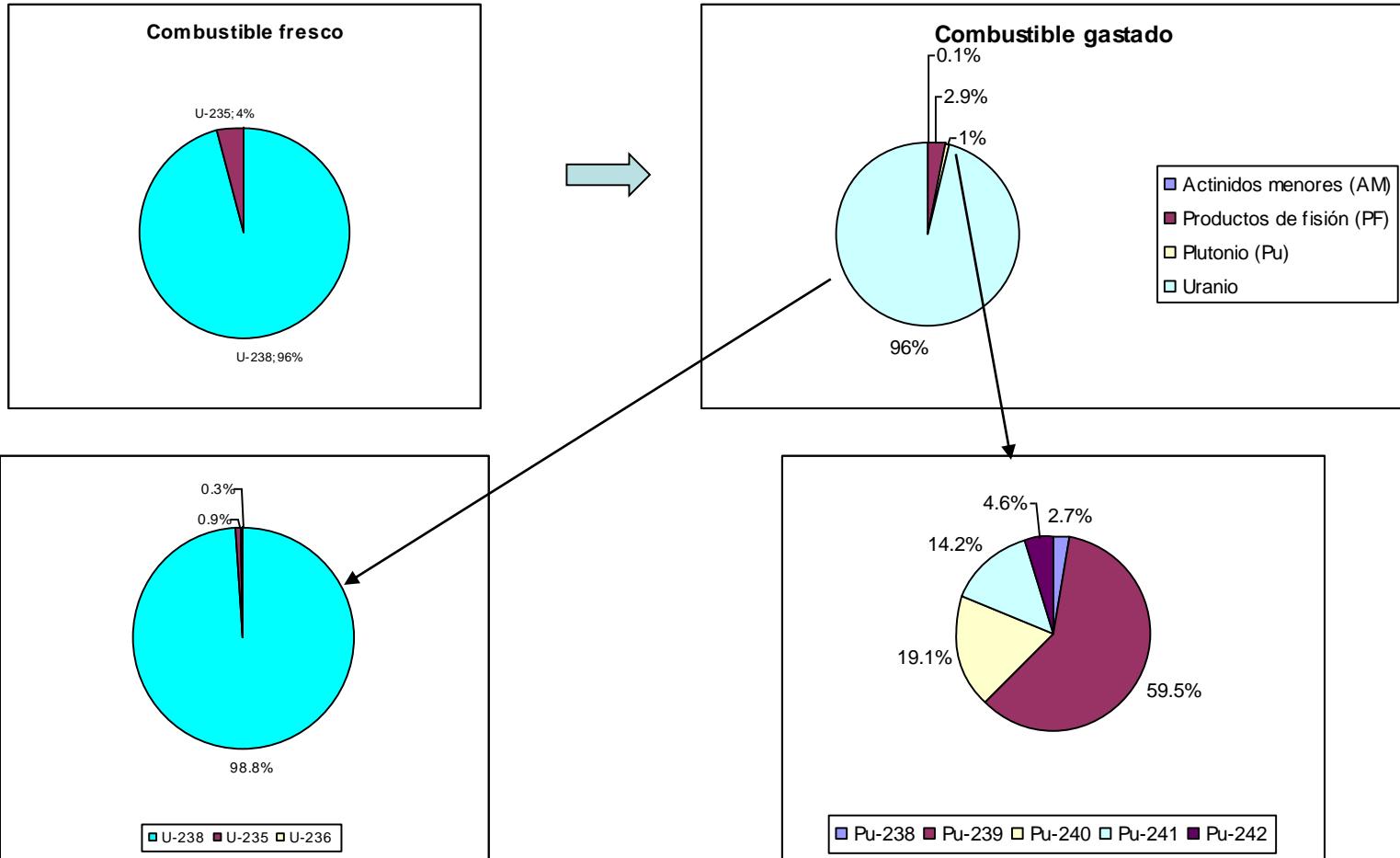


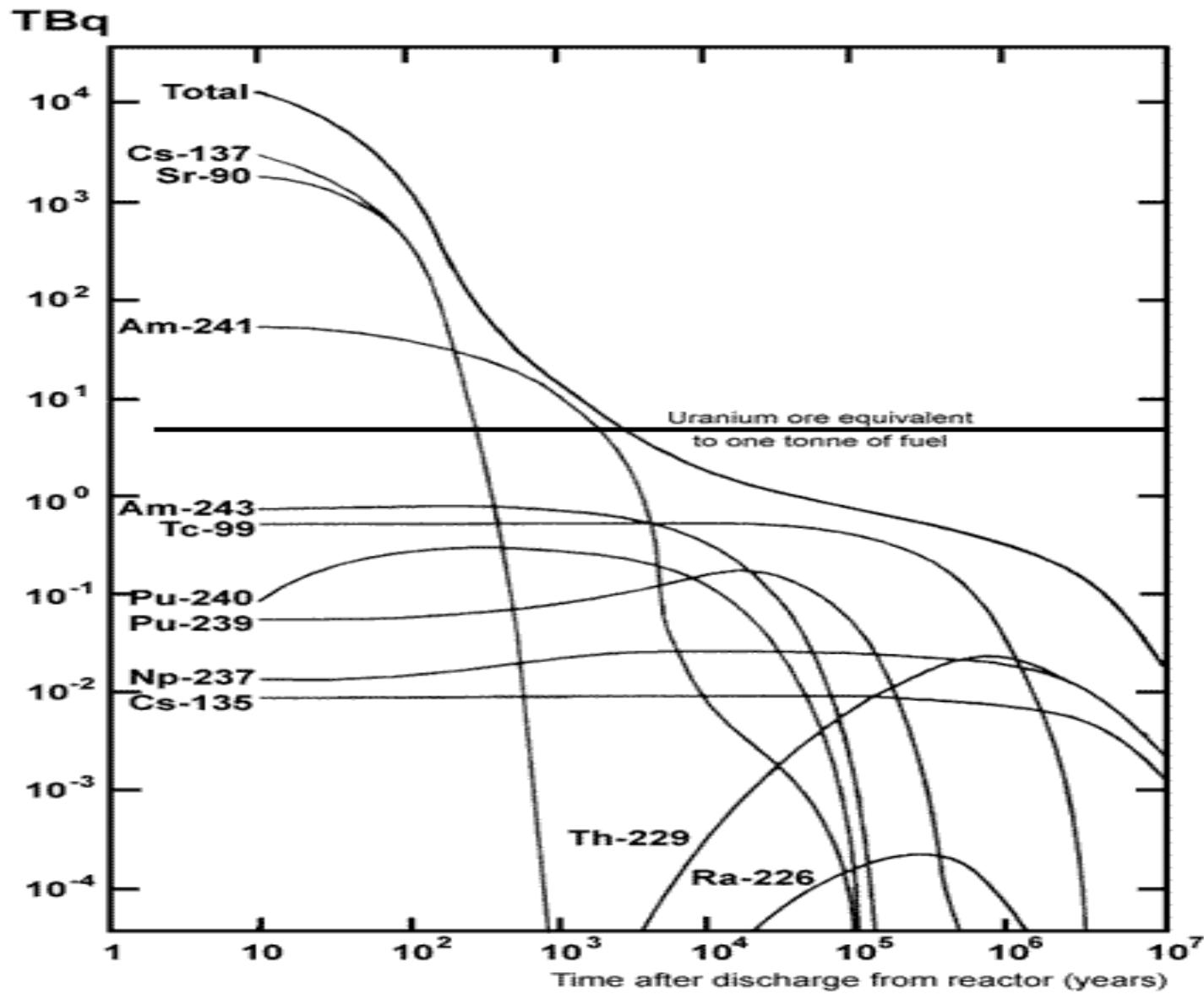
# Nuclear Power Fuel Cycle

[1000 MWe-yr – (A) Once Thru (B) U-Pu recycle] IAEA-1997



# Composición isotópica del combustible





**Activity of high-level waste from one tonne of spent fuel**

Source: IAEA, 1992 - radioactive waste management.

# Reactores de III y IV generación



# La energía nuclear del futuro

Corto plazo (0-20 años)

- Empleo de reactores pasivos.
- Reactores de alta temperatura

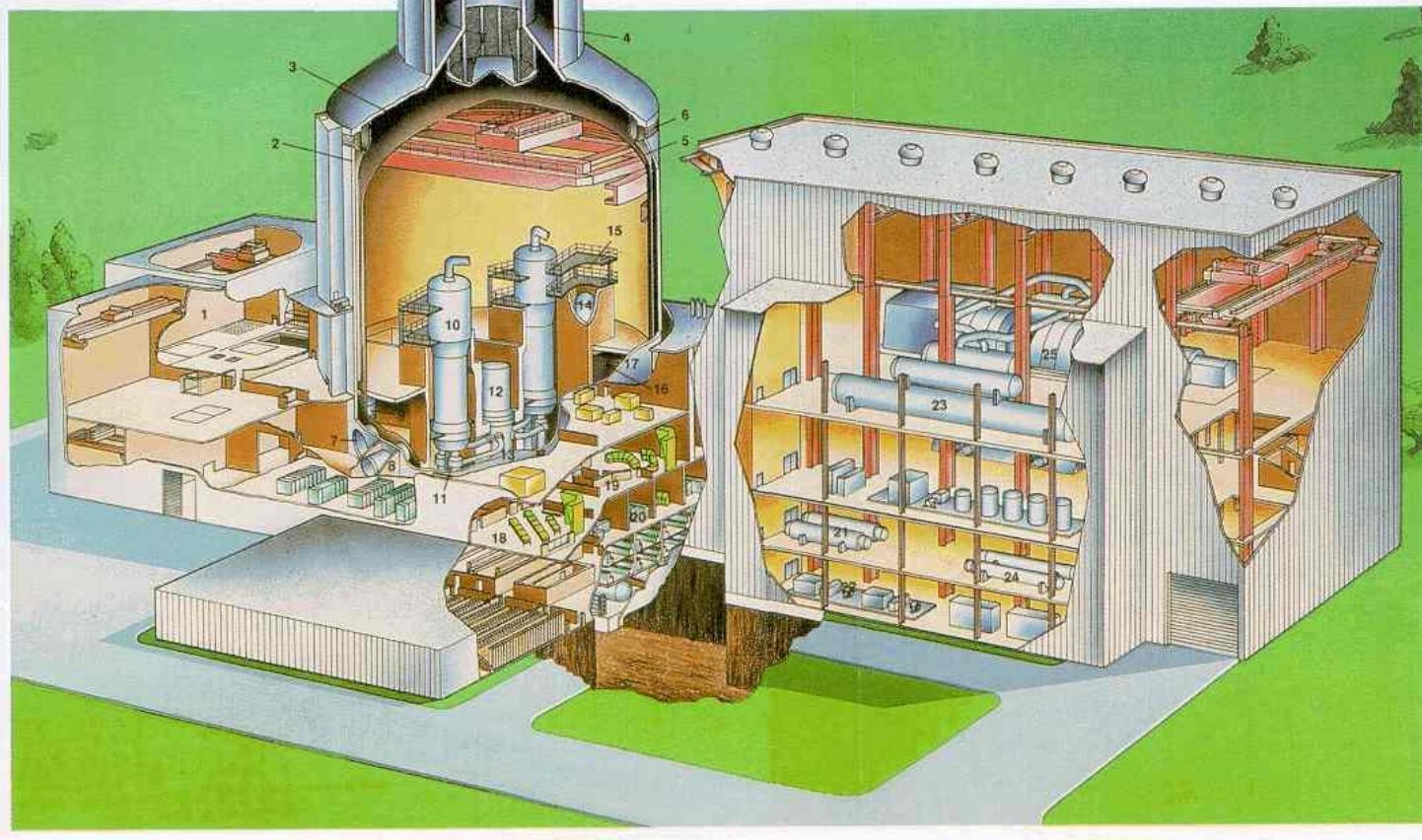
Medio plazo (20-50 años)

- Reactores de IV generación. Generación de hidrógeno
- Reciclado. Empleo de aceleradores de partículas.  
Destrucción de los transuranidos.
- Inicio uso reactores de fusión (?)

Largo plazo (>50 años)

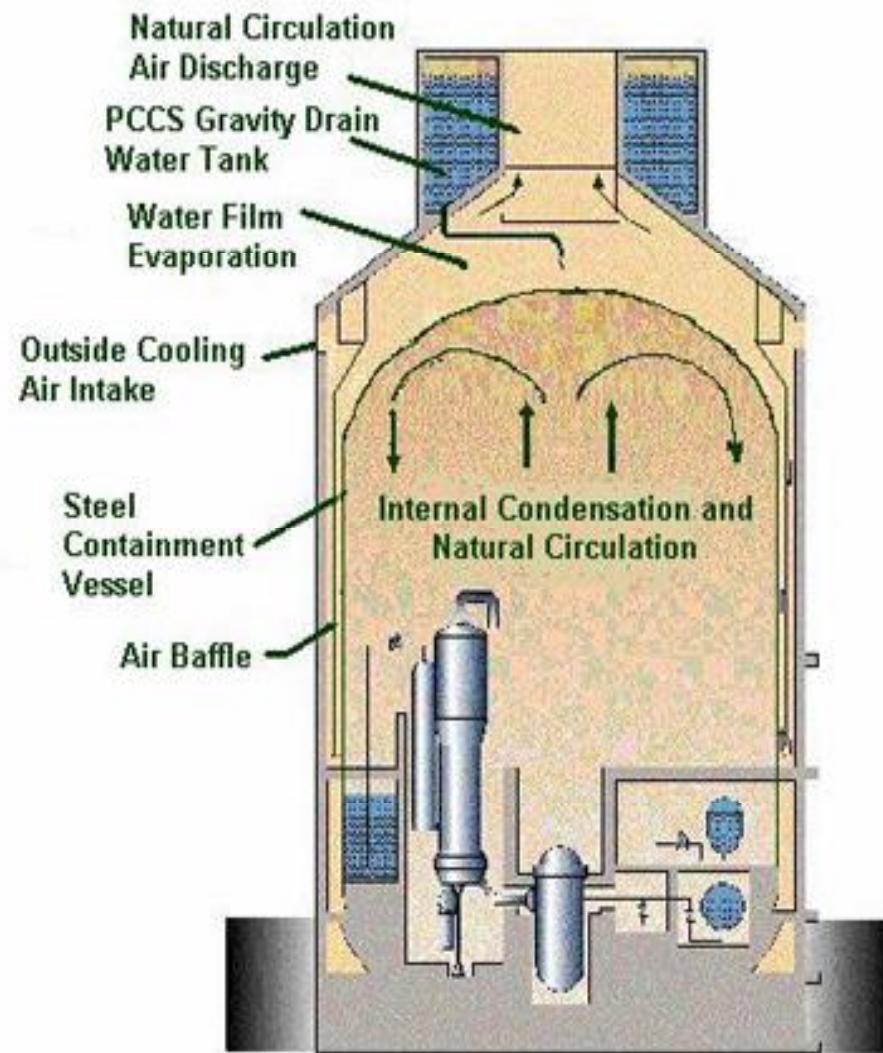
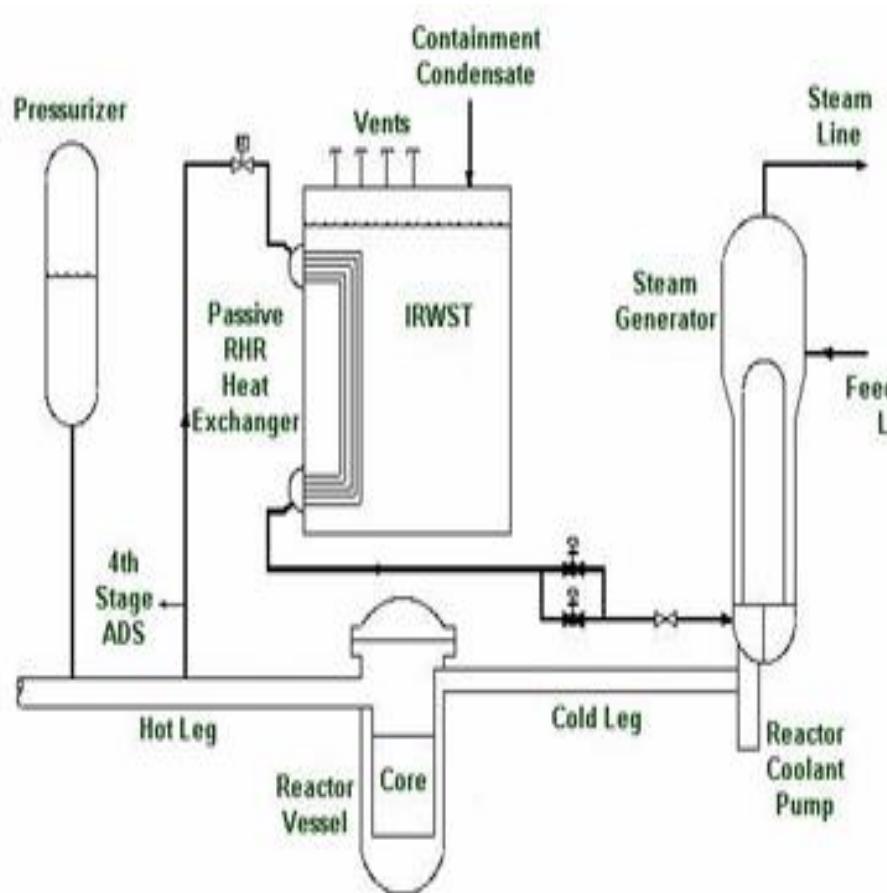
- Reactores de híbridos fusion-fisión
- Energía de fusión. Procesos antimateria-materia (?)

(2).  
10. Generadores de vapor (2).

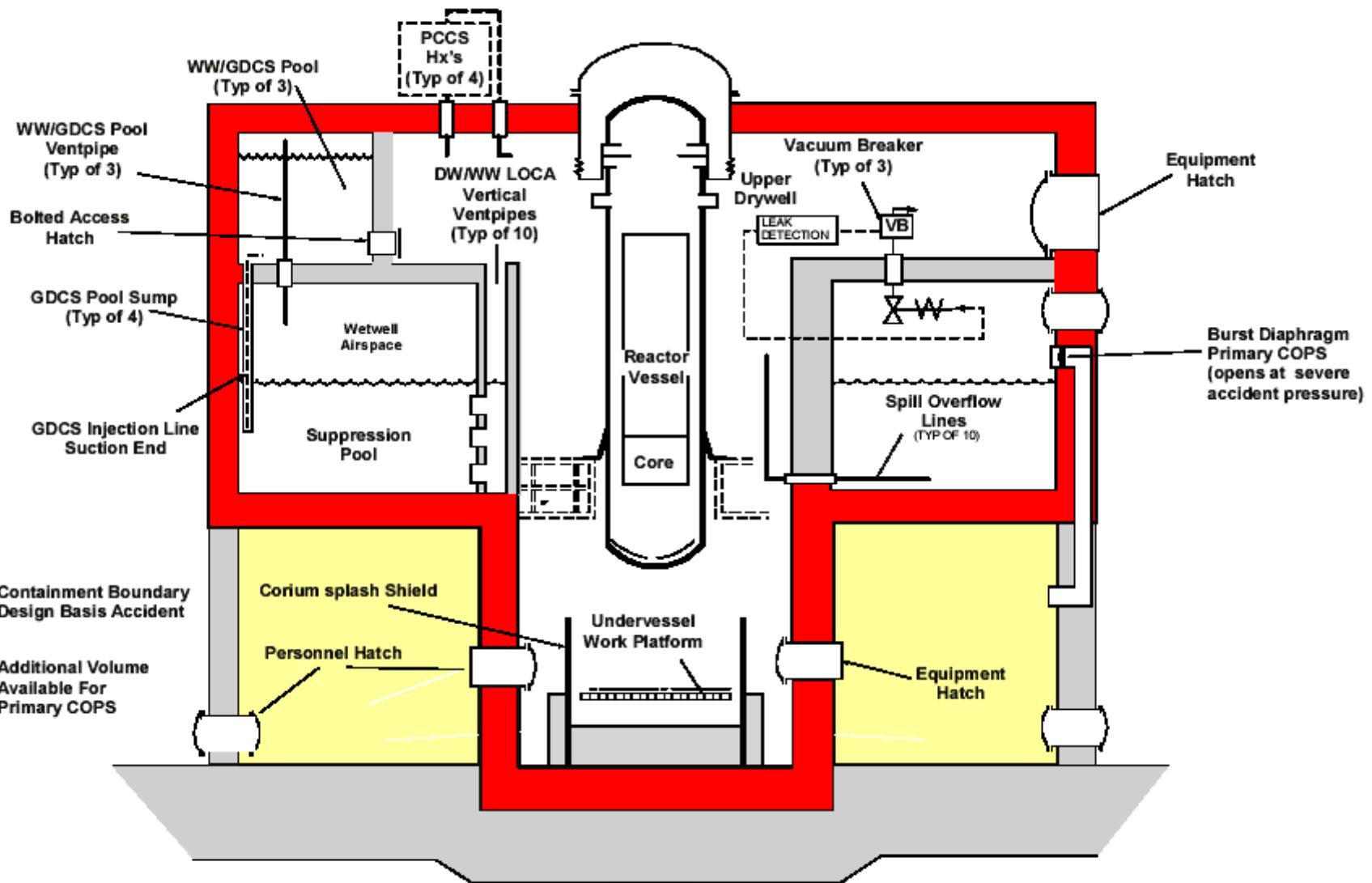


**Central de nueva generación (modelo AP-600), en la que el enfriamiento del núcleo, en caso de accidente, se realiza por convección natural (sin necesidad de refrigeración forzada).**

# Advanced LWR: AP-1000

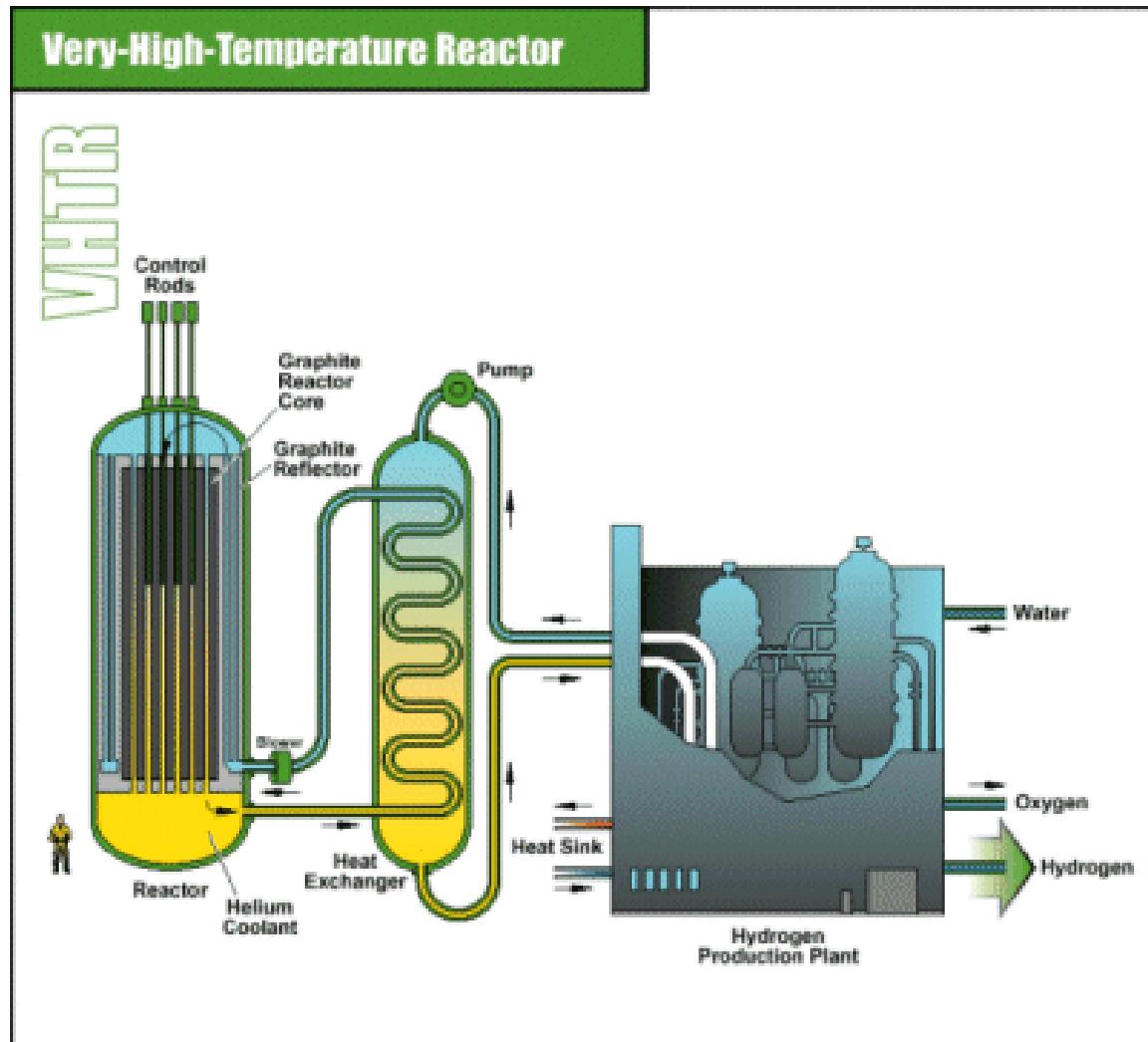


# Advanced LWR: ESBWR



The **Very-High-Temperature Reactor** (VHTR) is a graphite-moderated, helium-cooled reactor with a once-through uranium fuel cycle.

It supplies heat with core outlet temperatures of 1,000 Celsius, which enables applications such as hydrogen production or process heat for the petrochemical industry or others. The reference reactor is a 600 MWth core connected to an intermediate heat exchanger to deliver process heat. The reactor core can be a prismatic block core such as the operating Japanese HTTR, or a pebble-bed core such as the operating Chinese HTR-10. For hydrogen production, the system supplies heat that could be used efficiently by the thermochemical iodine-sulfur process



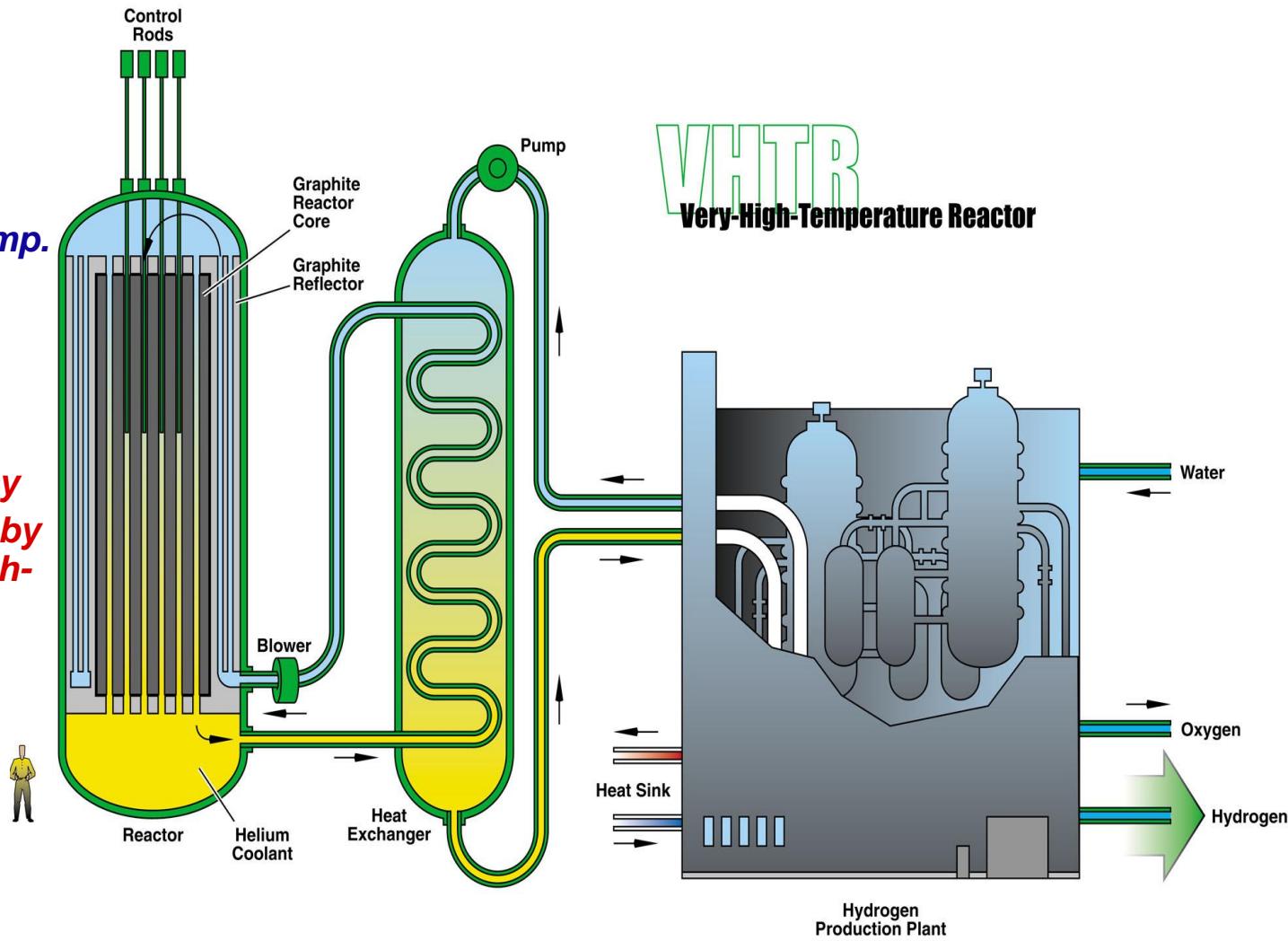
# Very-High-Temperature Reactor (VHTR)

## Characteristics

- High temperature coolant
- 900 - 1000°C outlet temp.
- 600 MWth
- Water-cracking cycle

## Key Benefit

- High thermal efficiency
- Hydrogen production by water-cracking by High-Temp Electrolysis or Thermo-chemical decomposition



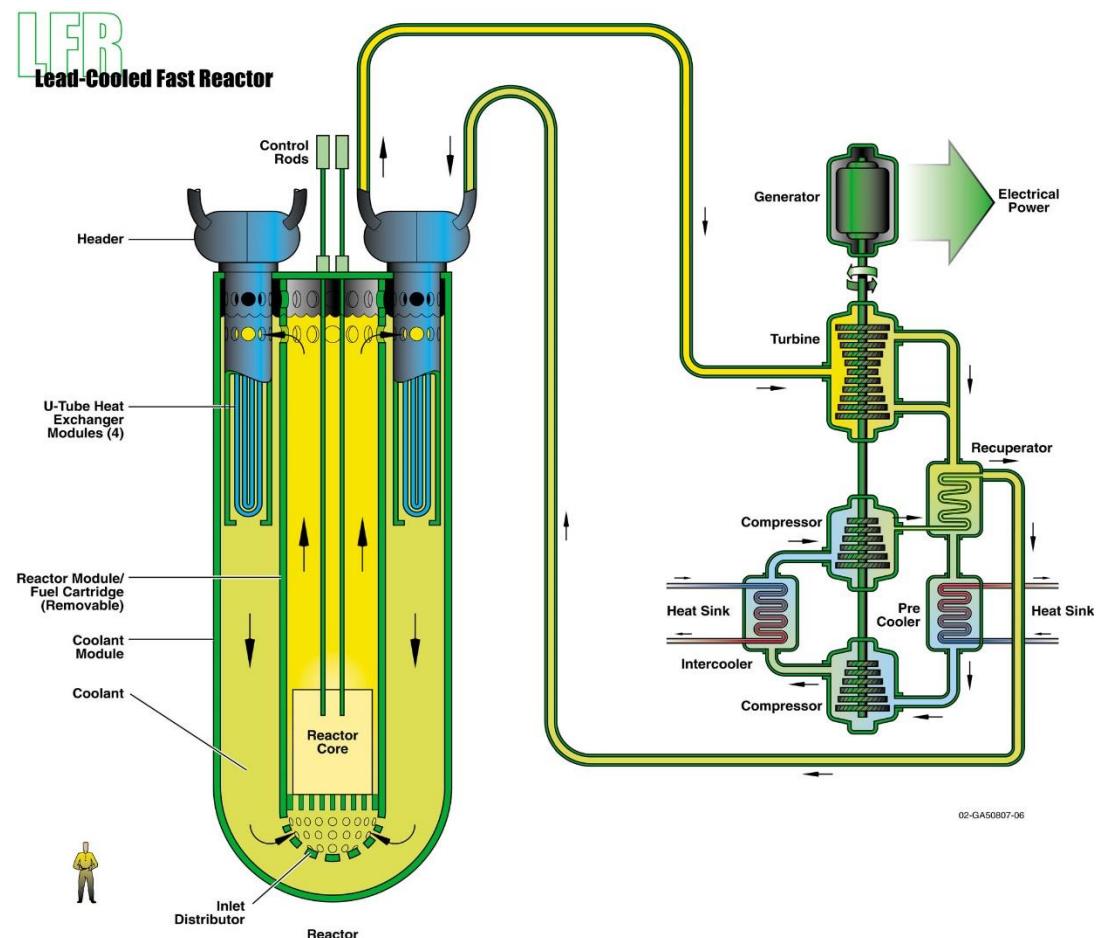
# Liquid-Metal Cooled Fast Reactor (LFR)

## Characteristics

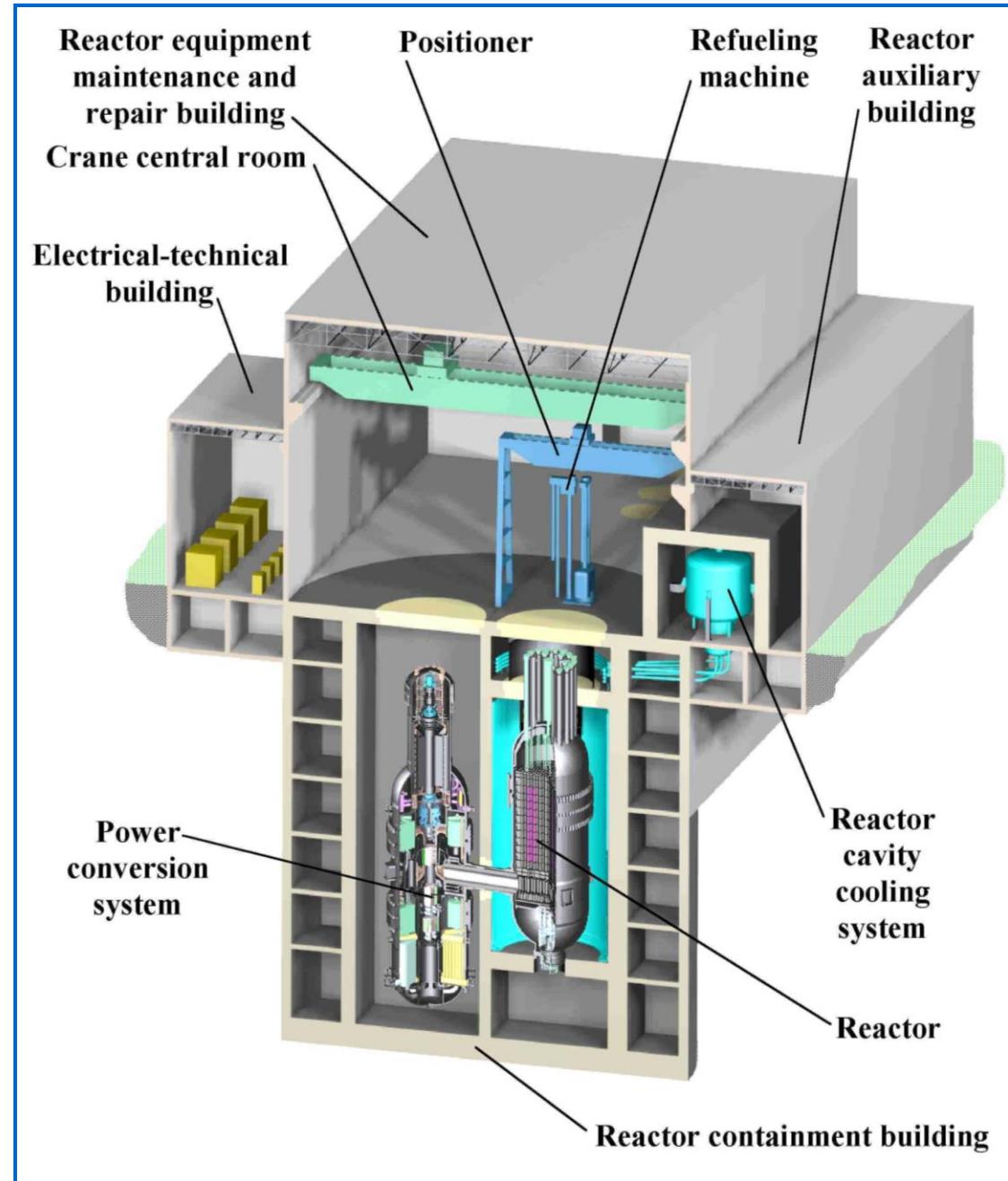
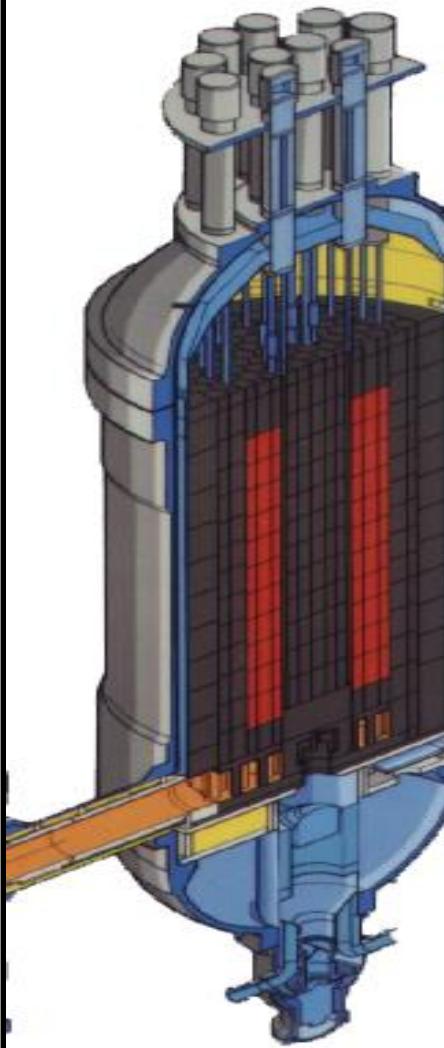
- Na, Pb or Pb/Bi coolant
- 550°C to 800°C outlet temperature
- 120–400 MWe

## Key Benefit

- Waste minimization and efficient use of uranium resources

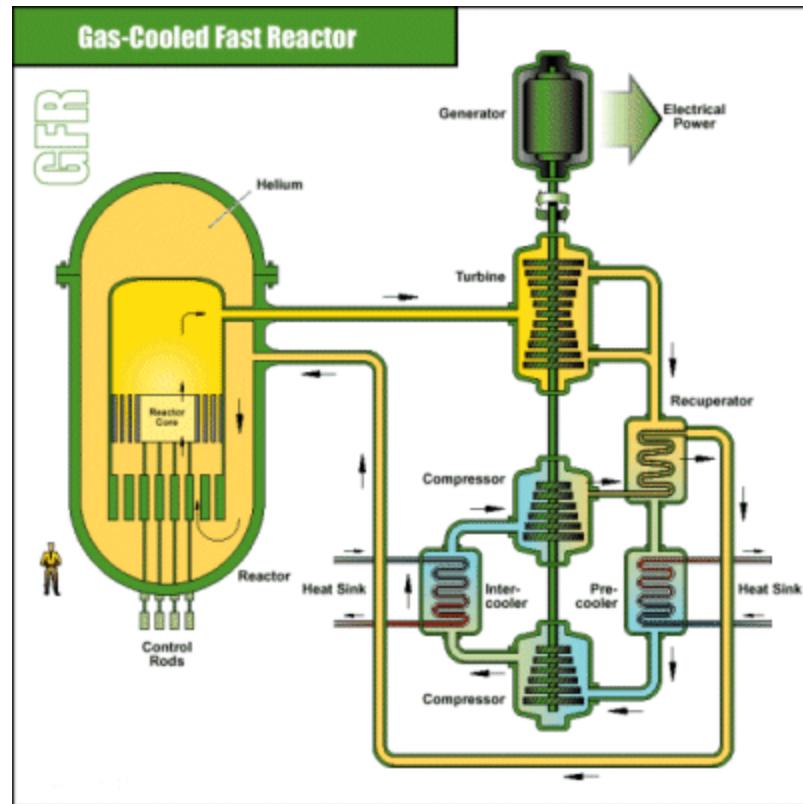


# GAS-COOLED REACTOR



The **Gas-Cooled Fast Reactor** (GFR) system features a fast-neutron-spectrum, helium-cooled reactor and closed fuel cycle.

The GFR uses a direct-cycle helium turbine for electricity generation, or can optionally use its process heat for thermochemical production of hydrogen. Through the combination of a fast spectrum and full recycle of actinides, the GFR minimizes the production of long-lived radioactive waste. The GFR's fast spectrum also makes it possible to use available fissile and fertile materials (including depleted uranium) considerably more efficiently than thermal spectrum gas reactors with once-through fuel cycles



## Características

- Espectro rápido
  - Refrigerante: Na o Pb or Pb/Bi coolant
- Temperatura: 550°C - 800°C
- 120–400 MWe

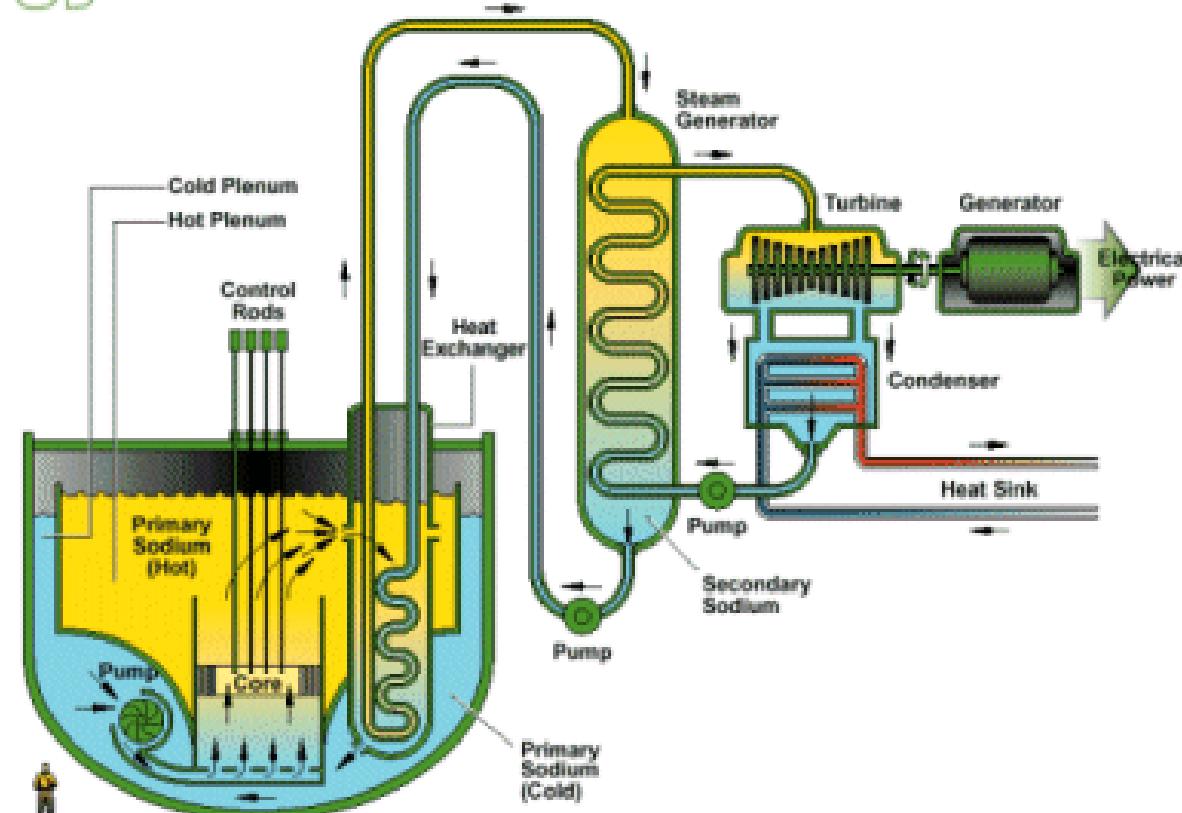
## Beneficio

- *Minimización en la generación de residuos*

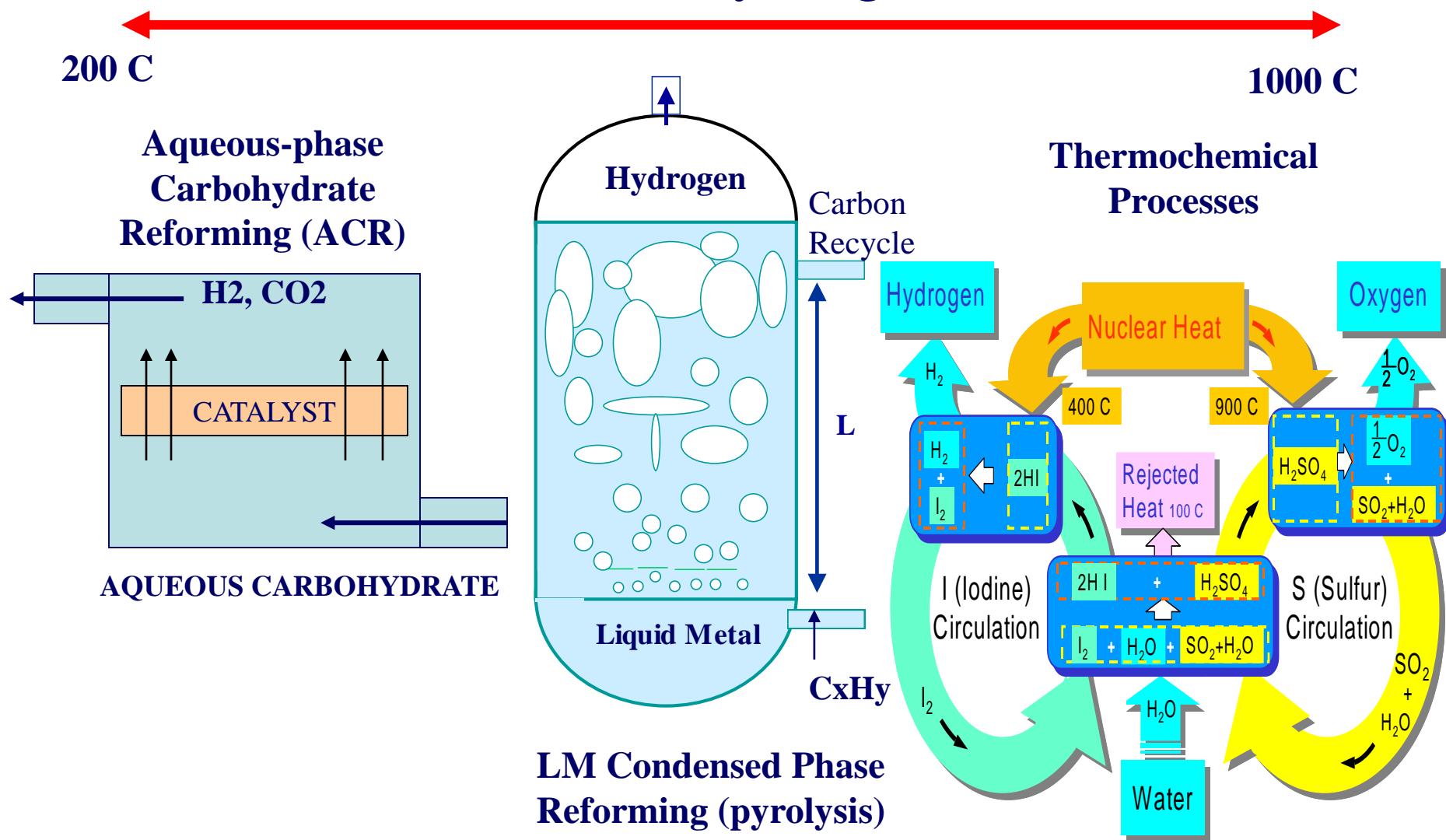
The Sodium-Cooled Fast Reactor (SFR) system features a fast-spectrum, sodium-cooled reactor and a closed fuel cycle for efficient management of actinides and conversion of fertile uranium.

## Sodium-Cooled-Fast Reactor

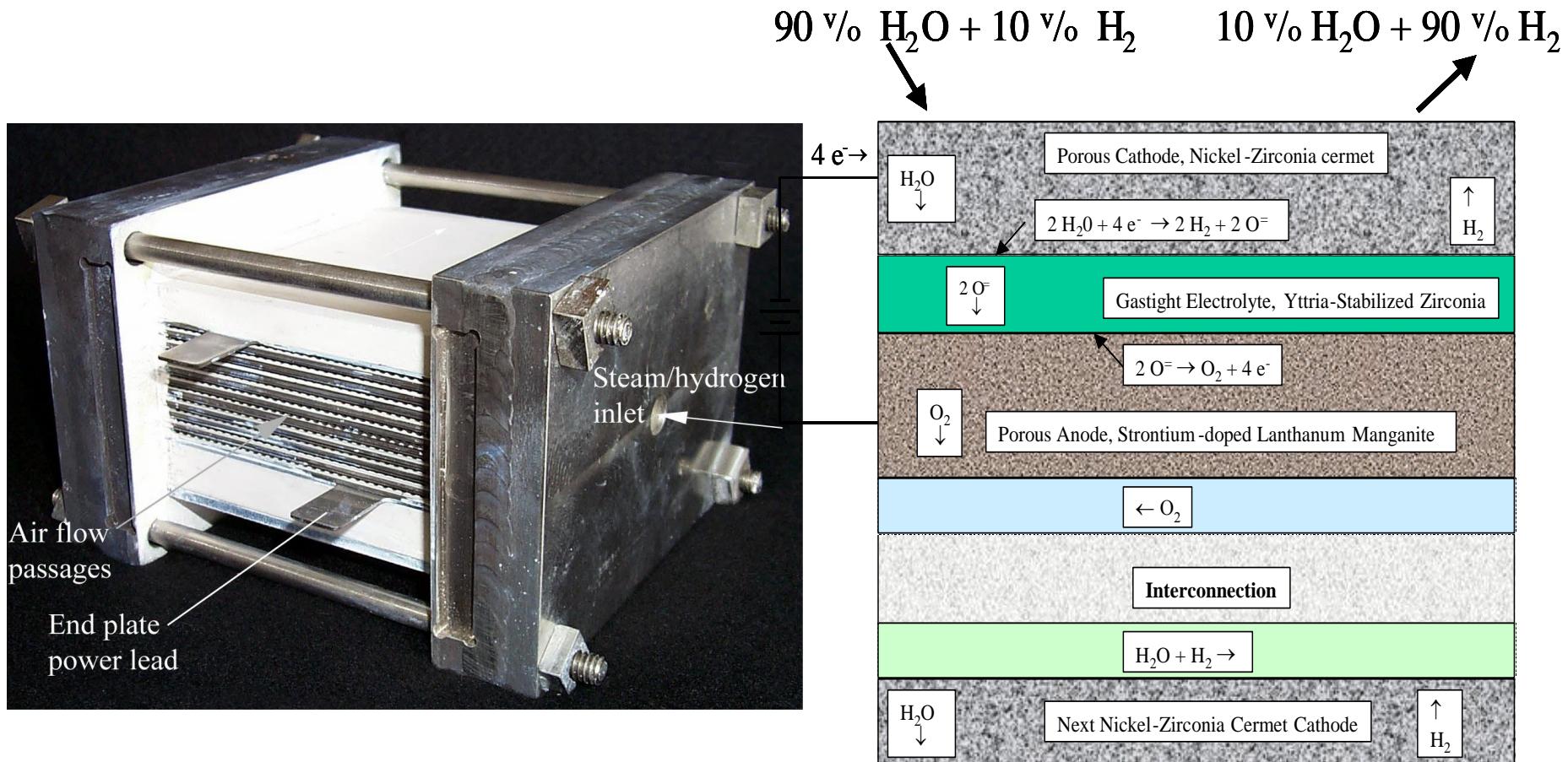
SFR



# Process Heat for Hydrogen Production



# Hi-Temp. Electrolysis Process



# Energía de fusión

