

La energía nuclear: esperanza o amenaza

Emilio Minguez Torres

Catedrático de Tecnología Nuclear

Vicerrector de Gestión Académica y Profesorado

Universidad Politécnica de Madrid

(emilio.minguez@upm.es)

Castellón, 22-11-2007



CONTENIDO

- **Energías**
- **Aspectos generales: recursos, demanda, etc**
- **Centrales nucleares**
- **Recursos de combustible nuclear**
- **Residuos radiactivos**
- **Coste de la energía nuclear**
- **Seguridad y medio ambiente**
- **Seguridad de generación y suministro**
- **Futuro de la energía nuclear: fusión, residuos, reactores**
- **Conclusiones**

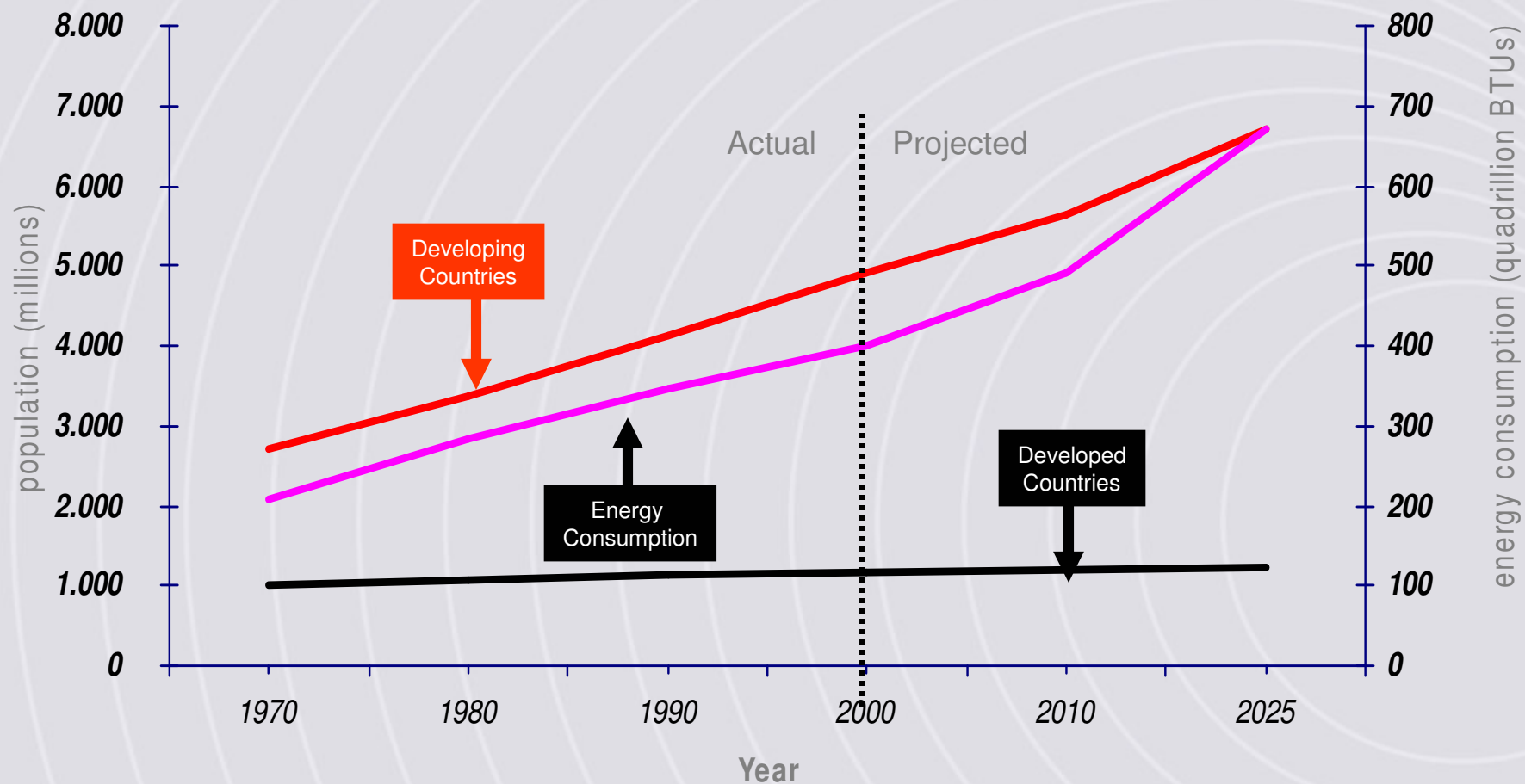


Consideraciones generales

- Existen aún 2.000 M personas sin acceso a servicios básicos de energía.
- **EL CAMBIO CLIMÁTICO : UN GRAN PROBLEMA**
- En este siglo la ENERGIA y el AGUA son elementos esenciales para la vida del ser humano.
- Esquema energético basado en combustibles fósiles.
- Los países de la OCDE importarán en el año 2030 más del 85% del petróleo y más del 40% del gas.
- Reservas de petróleo y gas: 70% en países árabes
- Reservas de U en países OCDE el 60%



Población y Consumo de Energía (1970-2025)

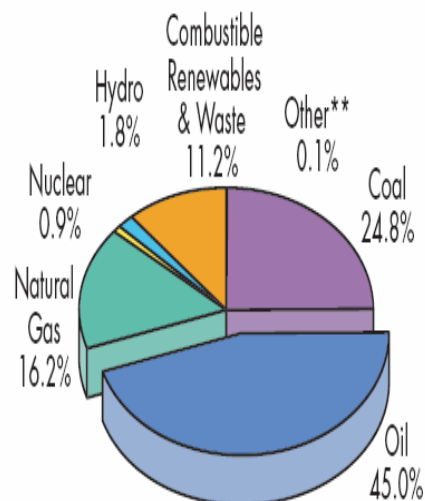


Sources: EIA, International Energy Outlook 2000
US Bureau of the Census, International Database



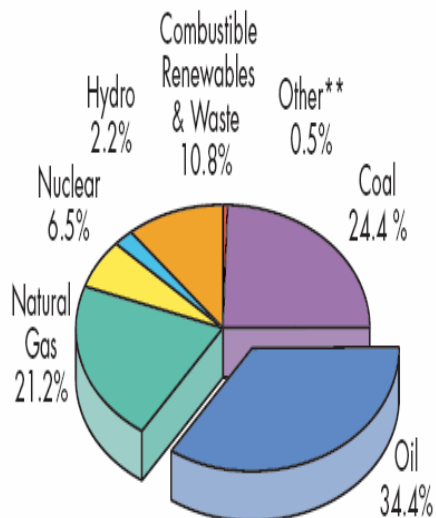
Previsiones hasta el 2030

1973



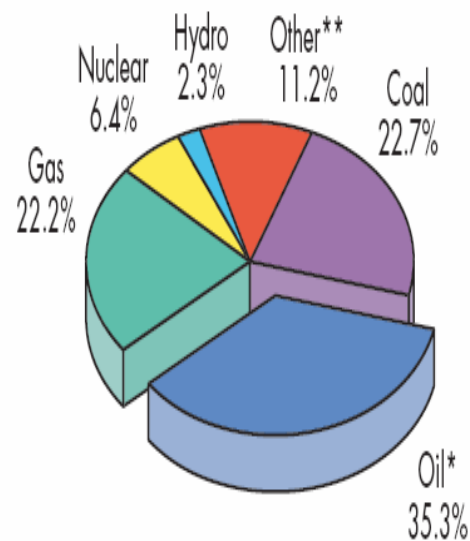
6 034 Mtoe

2003



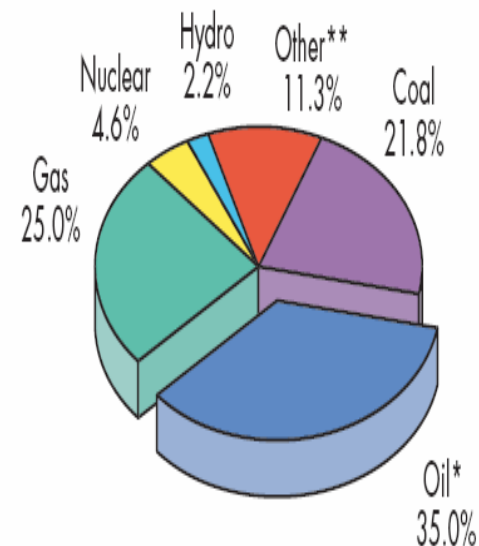
10 579 Mtoe

2010



12 200 Mtoe

2030



16 500 Mtoe

*Excludes international marine bunkers and electricity trade.

**Other includes geothermal, solar, wind, heat, etc.



ESQUEMA ENERGÉTICO BASADO EN COMBUSTIBLES FÓSILES

- **Suponen el 80% de la Energía Primaria**
- **La demanda de energía es desigual y sigue creciendo**
- **Hay que señalar que una Cuarta Parte de la Humanidad no tiene acceso al “*servicio eléctrico*”**
- **El consumo de electricidad crecerá en el Tercer Mundo**
 - + En Europa el consumo medio es 5.000 kWh
 - + La mitad de la Humanidad menos de 1.000 kWh



Objetivos energéticos siglo XXI

World Energy Congress – Sydney 2004

IAEA Intern. Conf. On Nuclear Power for the 21st Century 2005

- El suministro de energía debe hacerse de forma sostenible y diverso.
- El uso de la energía deberá ser mas eficiente.
- Promover energías que produzcan el menor impacto medioambiental.
- Seguridad de abastecimiento.
- Competitividad.



Desarrollo sostenible

- ***“Aquél que satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para atender sus necesidades”. (Informe Brudtland)***

Pilares del desarrollo sostenible

Económico

Social

Medioambiental

Los retos de la política energética

Seguridad de suministro

Competitividad

Respeto al medio ambiente



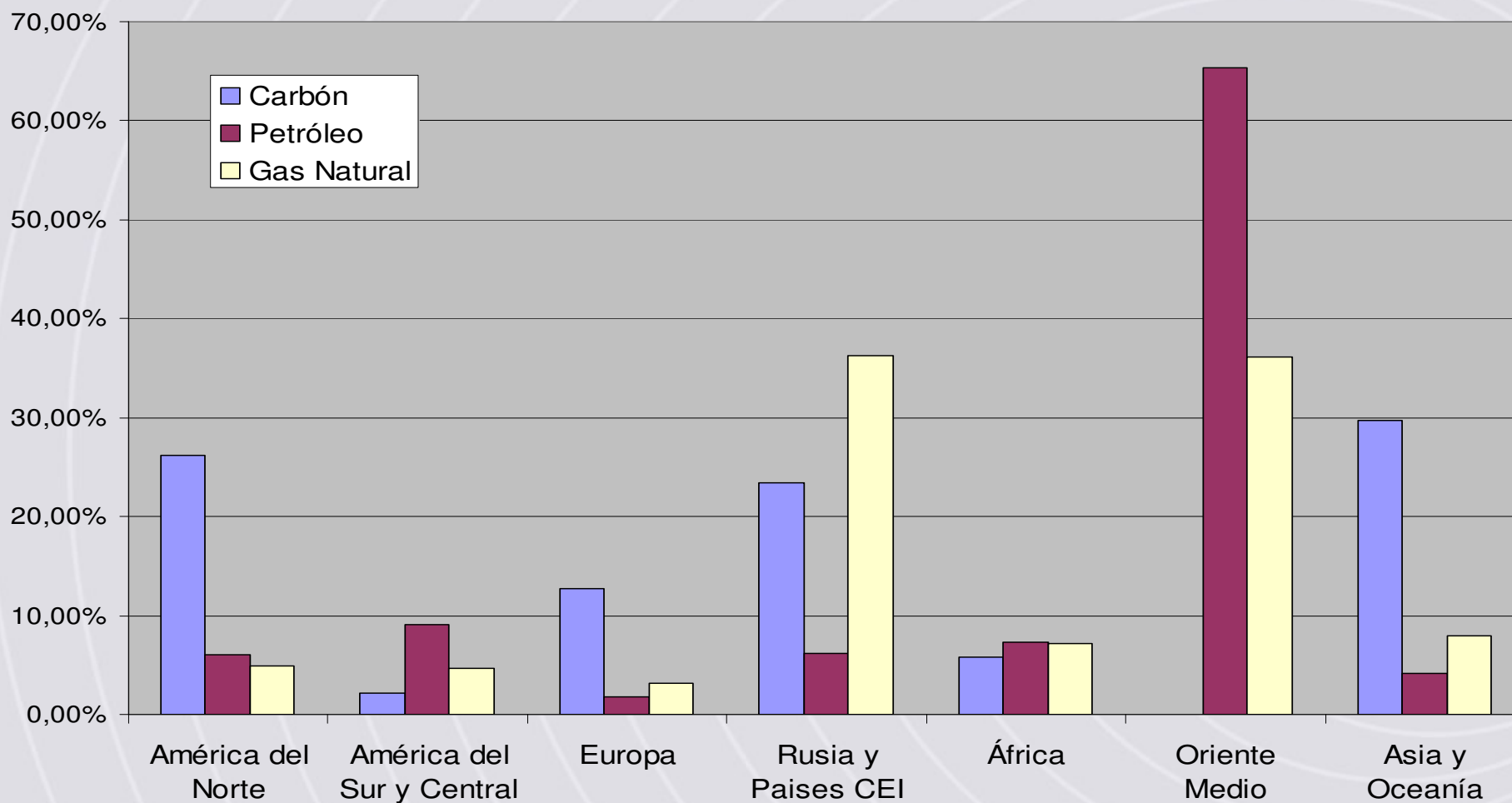
Construcción de un mercado interior de energía

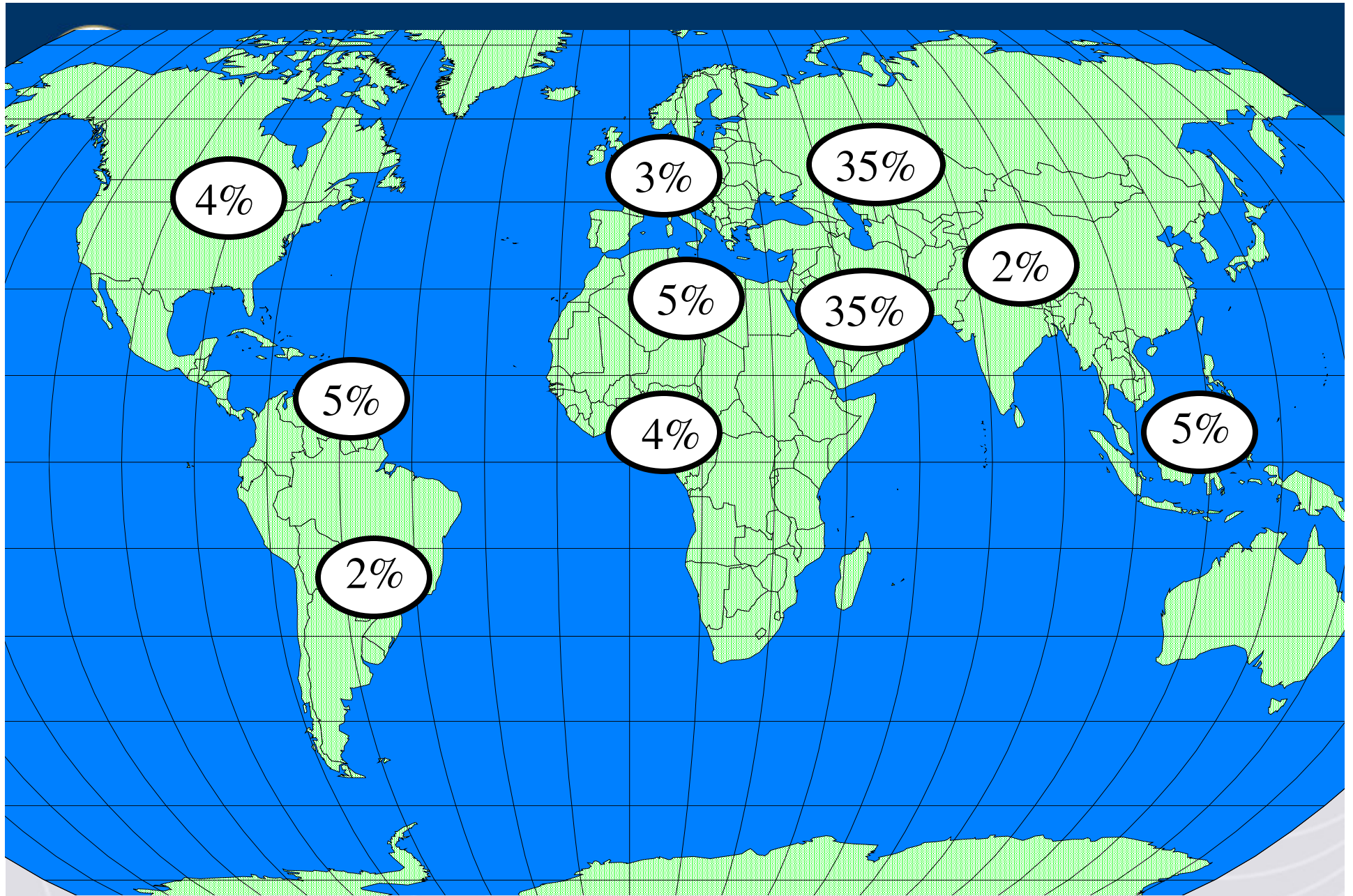
- Acceso a la **energía primaria**
- Diversificación de las **fuentes de suministro**
- Disponibilidad de **infraestructuras**



RESERVAS DE COMBUSTIBLES FÓSILES

Localización de las reservas de combustibles fósiles

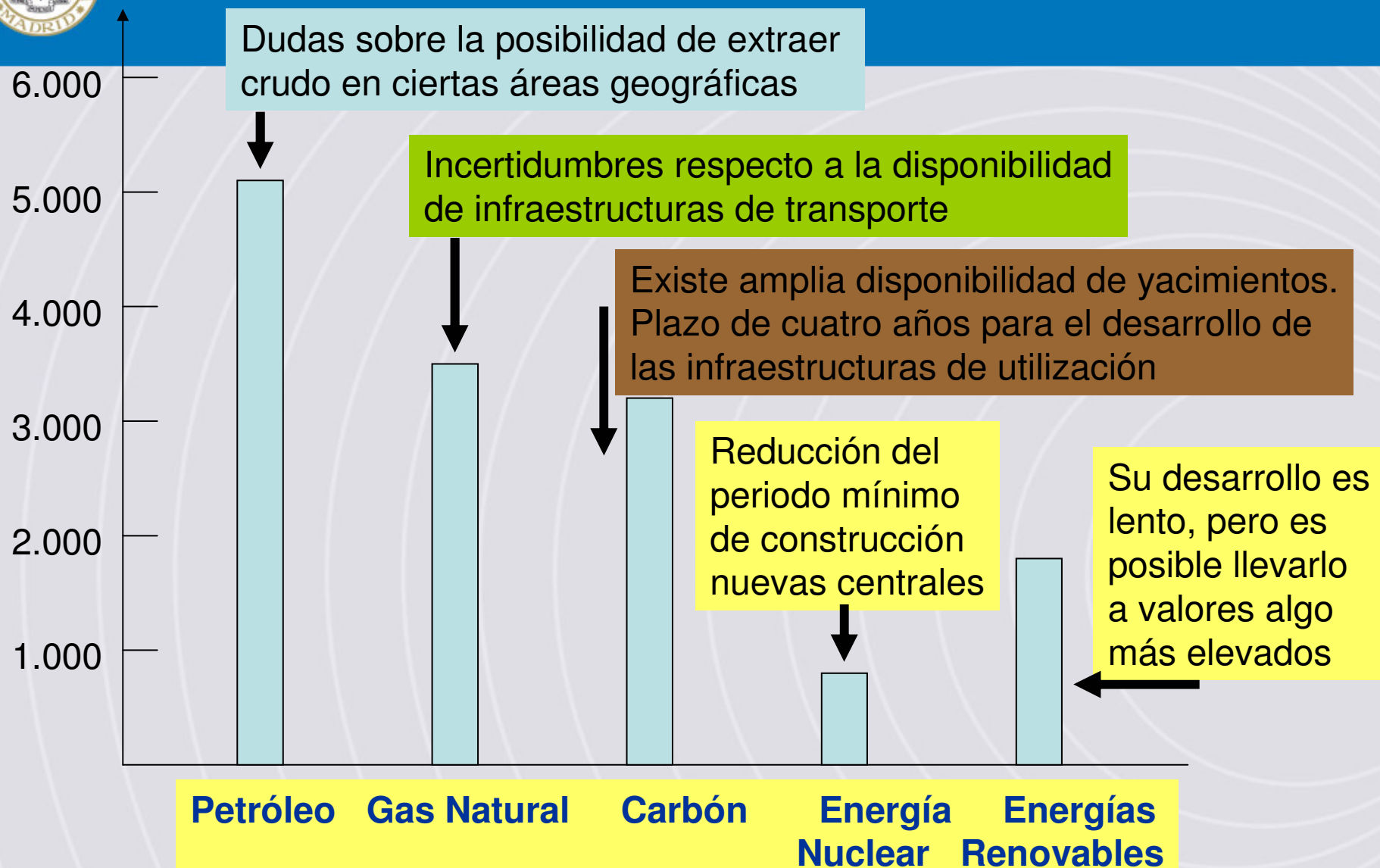




Distribución de las reservas mundiales de gas natural



Año 2020





DATOS ENERGÉTICOS UE

*Un crecimiento energético
(+ 1-2 % al año)*

Escasez de recursos energéticos

CARBÓN: coste de producción 4 a 5 veces el precio mundial

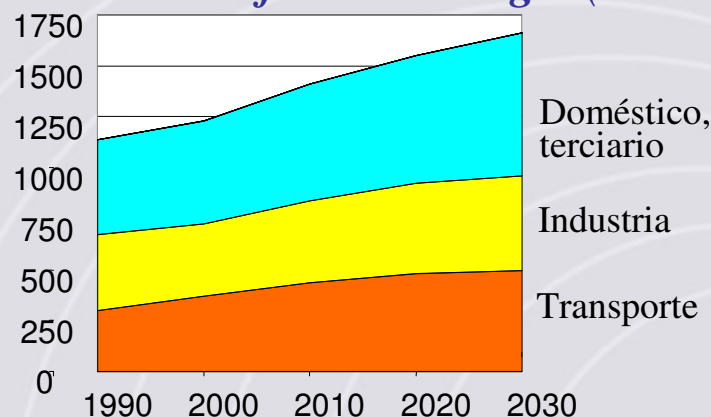
PETRÓLEO: coste de producción 2 a 7 veces el precio mundial, 8 años de reserva

GAS NATURAL: 2% de las reservas del planeta, 20 años de reserva

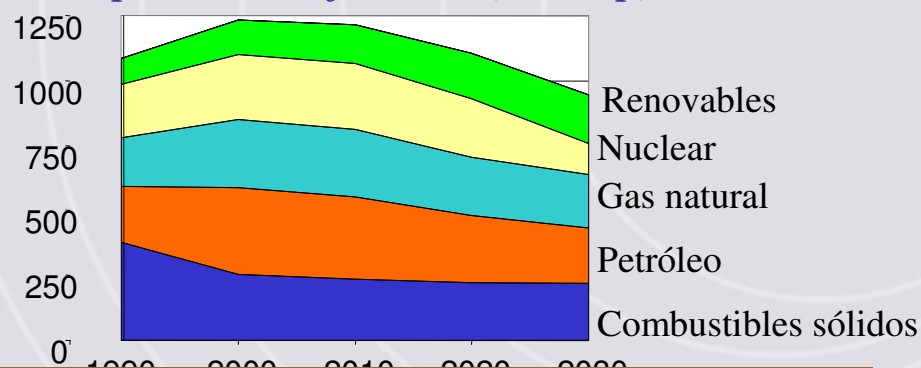
URANIO: 2% de las reservas mundiales, 40 años de reserva

ENERGÍAS RENOVABLES: abundancia virtual

Europa-30: consumo final de energía (en mtep)



Europa-30: producción de energía, hipótesis de referencia (en mtep)



Dependencia creciente del abastecimiento exterior de la Unión
actual: 50% en 2030: 70%



MIX ENERGÉTICO DE LA UE

	Mix UE15 en 2002	Mix UE15 en 2030	Coste	Kyoto	Seguridad de suministro
Gas	17%	32%	✓	✓	✓✓
Carbón	29%	24%	✓✓	-	✓✓✓
Renovables	3%	16%	✓	✓✓✓✓	✓
Hidráulica	15%	14%	✓✓✓	✓✓✓✓	✓
Nuclear	30%	12%	✓✓✓	✓✓✓✓	✓✓✓✓



Inversión y emisiones de centrales eléctricas

Centrales de Ciclo Combinado

Inversión en torno a 600 Euros por kW

Combustible: gas natural o eventualmente gasóleo.

Emisiones de CO₂: 400 gr/kWh con gas natural.

Centrales Térmicas de Carbón

Inversión entre 1.500 y 2000 Euros por kW

Emisiones de CO₂:

- Caldera y turbina de vapor: 900 a 1.000 gr/kWh
- Gasificación y ciclo combinado: 700 gr/kWh

Centrales Nucleares

Inversión entre 2.500 y 3.000 Euros por kW

Periodo de construcción: 5 años

Necesita aparte disponer de instalaciones para el almacenamiento de los residuos.



Cobertura de la demanda

- El empleo de carbón conlleva al efecto invernadero
- Las reservas de gas y petróleo son limitadas
- Los precios del gas y petróleo introducen fuertes incertidumbres en los precios de la energía
- Los programas de ahorro de energía y de energías renovables no serán suficientes para afrontar la demanda eléctrica.
- Los nuevos conceptos innovadores de reactores nucleares deben tenerse en cuenta.

La demanda se atenderá mediante una diversidad, entre la que debe considerarse la ENERGIA NUCLEAR



Las CCNN en el mundo

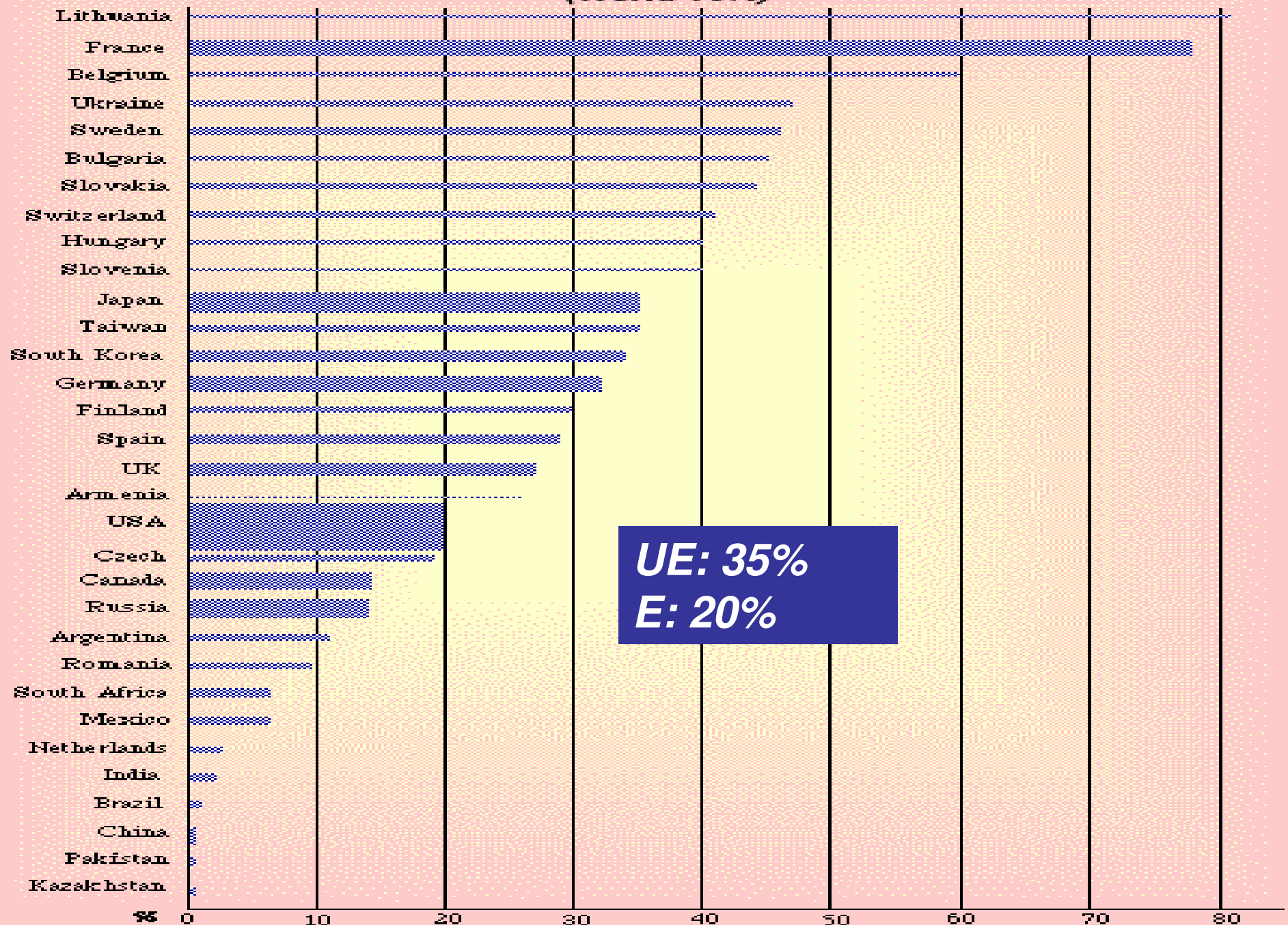
- 440 reactores en operación
- 370 GWe
- 8 nuevos reactores (en zona del Pacífico)
- 24 reactores en construcción
- 41 reactores en proyecto
- En Europa 1 en construcción (Finlandia) y varios en proyecto (1 en Francia)



CENTRALES NUCLEARES EN OPERACIÓN

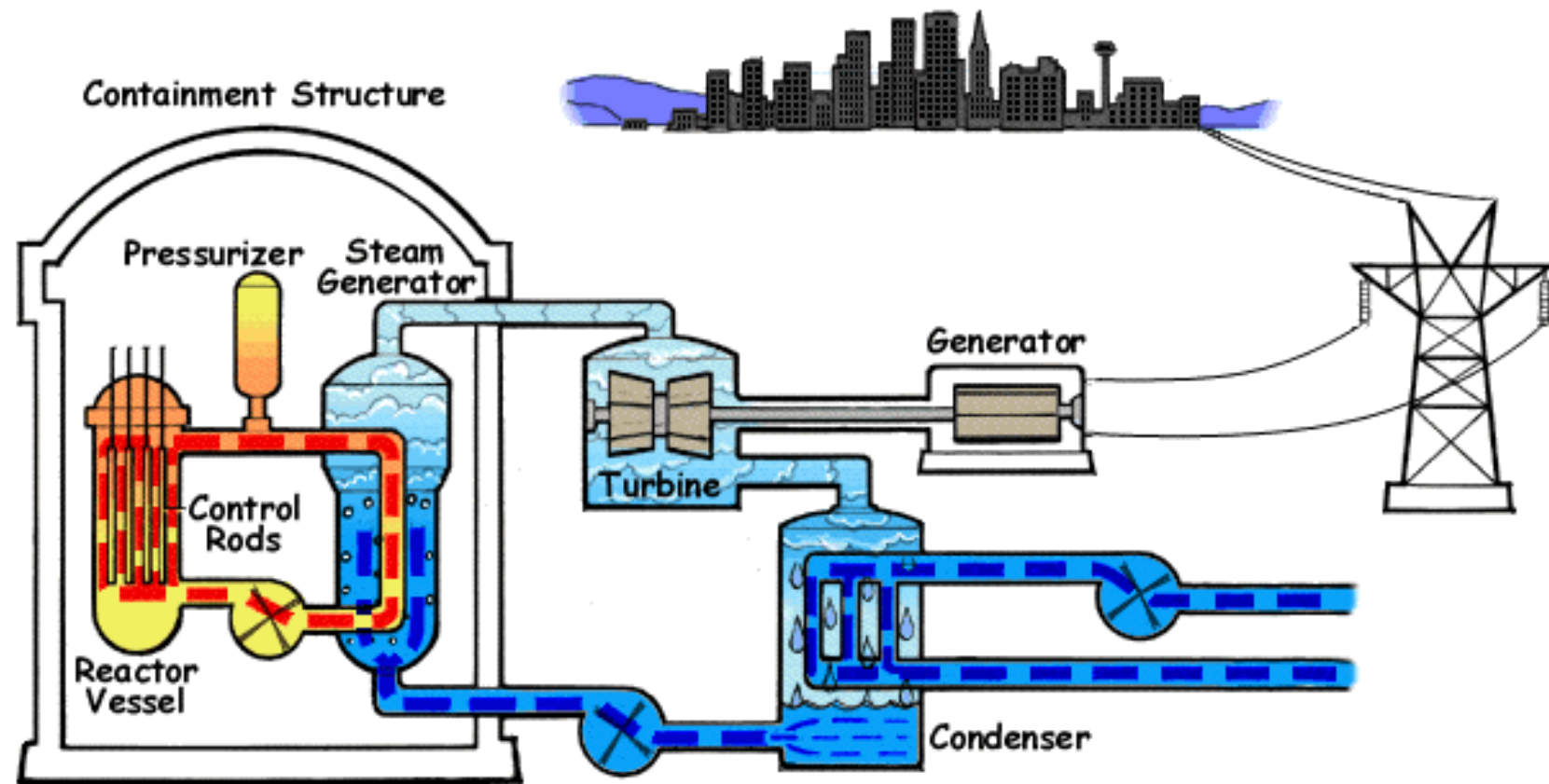
REACTOR TYPE	MAIN COUNTRIES	NUMBER	GWe
Pressurised Water Reactor (PWR)	US, France, Japan, Russia	260	243
Boiling Water Reactor (BWR)	US, Japan, Sweden	92	83
Pressurised Heavy Water Reactor "CANDU" (PHWR)	Canada	34	18
Gas-cooled Reactor (Magnox & AGR)	UK	32	12
Light Water Graphite Reactor (RBMK)	Russia	13	14
Fast Neutron Reactor (FBR)	Japan, France, Russia	4	1.3
other	Russia, Japan	5	0.2
	TOTAL	440	371

NUCLEAR ELECTRICITY GENERATION % (World 16%)



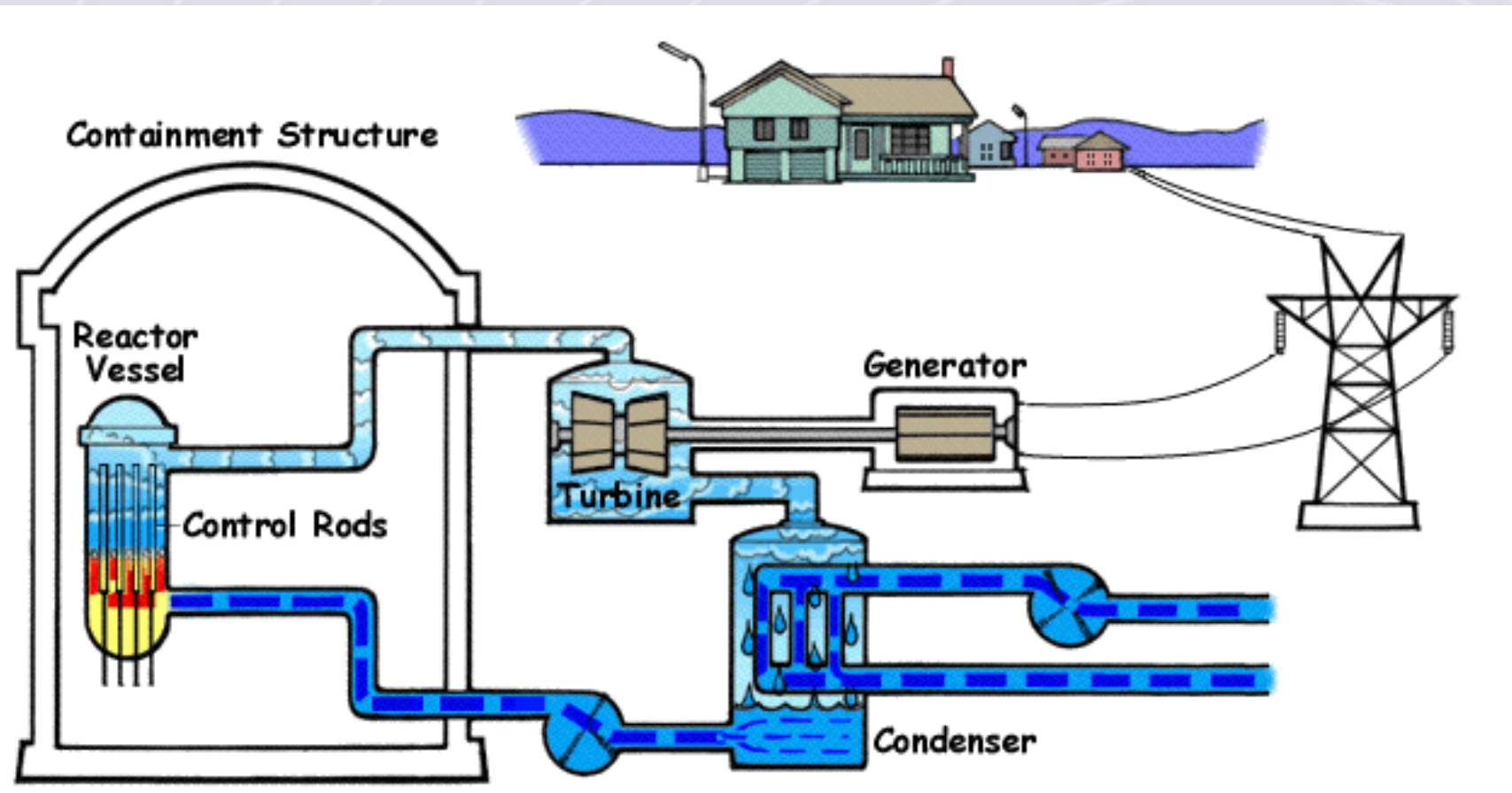


Central del tipo PWR (Reactor de agua a presión)

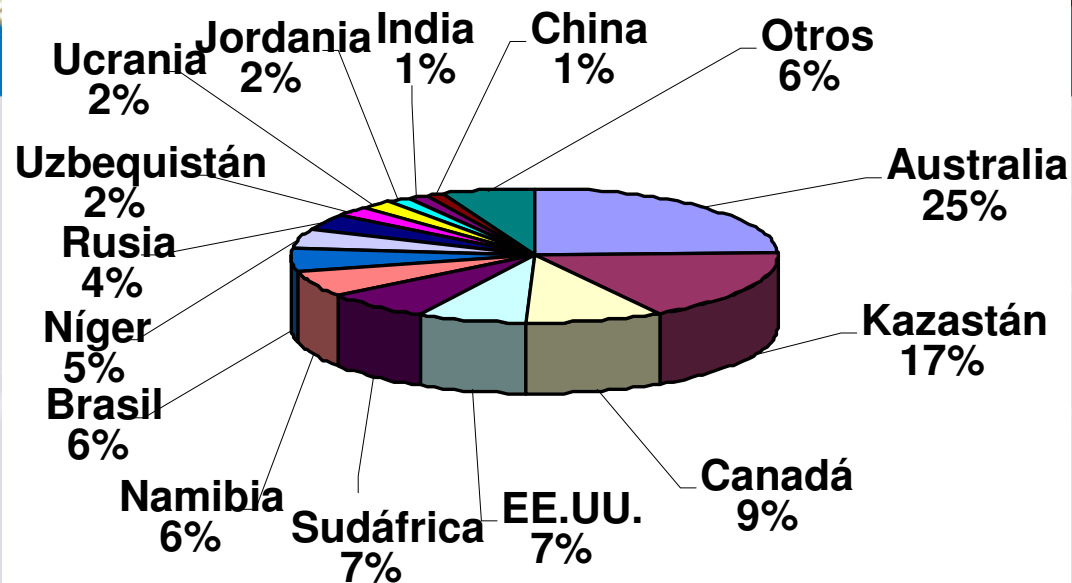




Central del tipo BWR(Reactor de agua en ebullición)



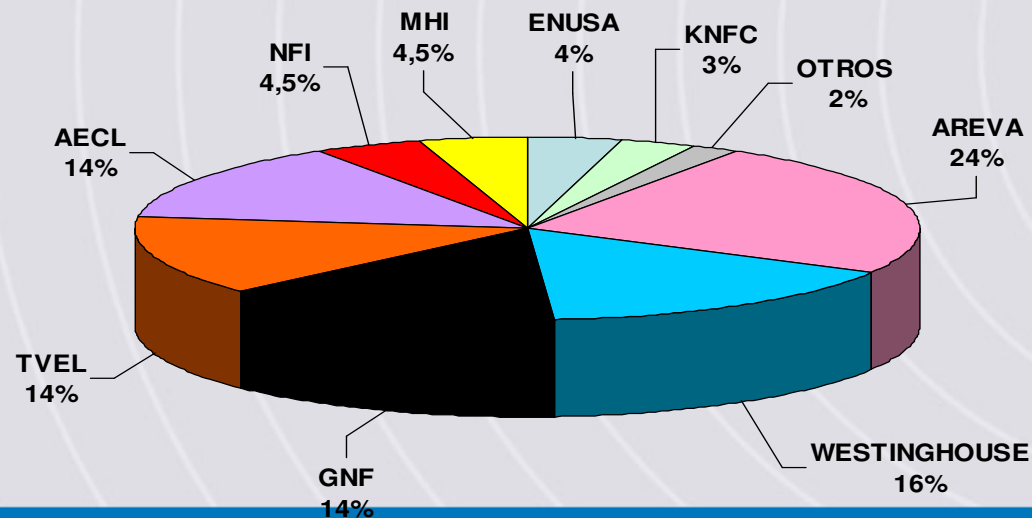
RECURSOS MUNDIALES DE URANIO



Fuente: NEA/IAEA Libro Rojo 2005;

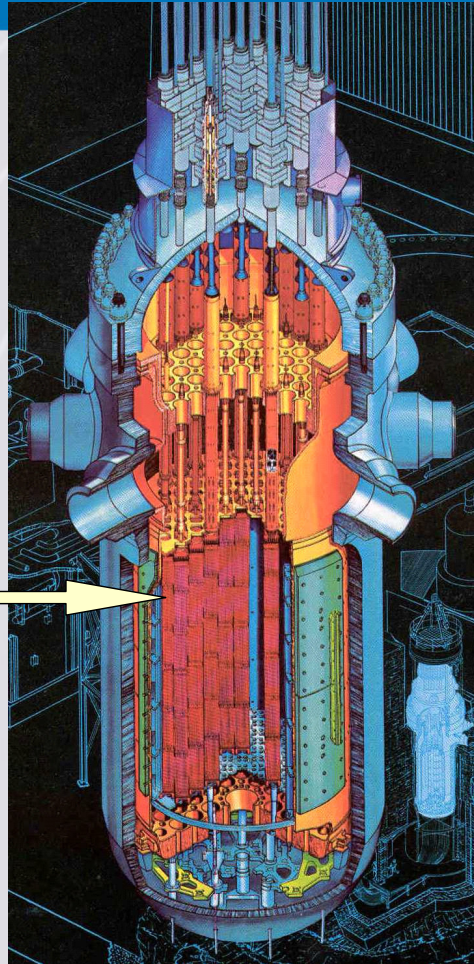
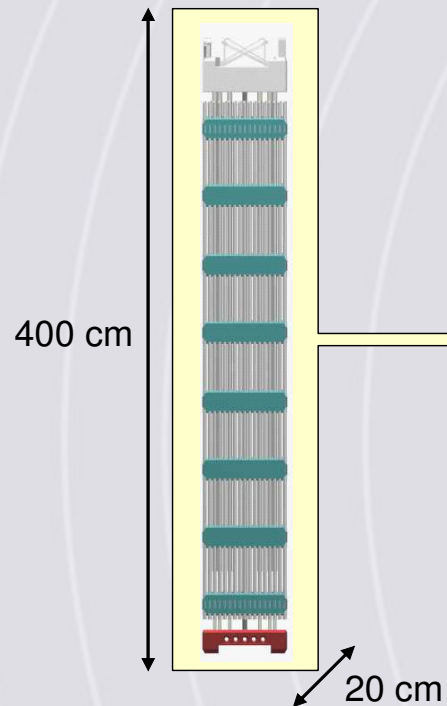
Reservas Extraíbles a un precio inferior a 130 \$/KgU

FABRICANTES DE COMBUSTIBLE





COMBUSTIBLE NUCLEAR



Vasija del Reactor

Peso 450 toneladas

Altura 6 m

Diámetro 4,5 metros.

Presión 2.500 psi (170 Kg/cm²)

Temperatura 340 °C.

Material Acero al carbono

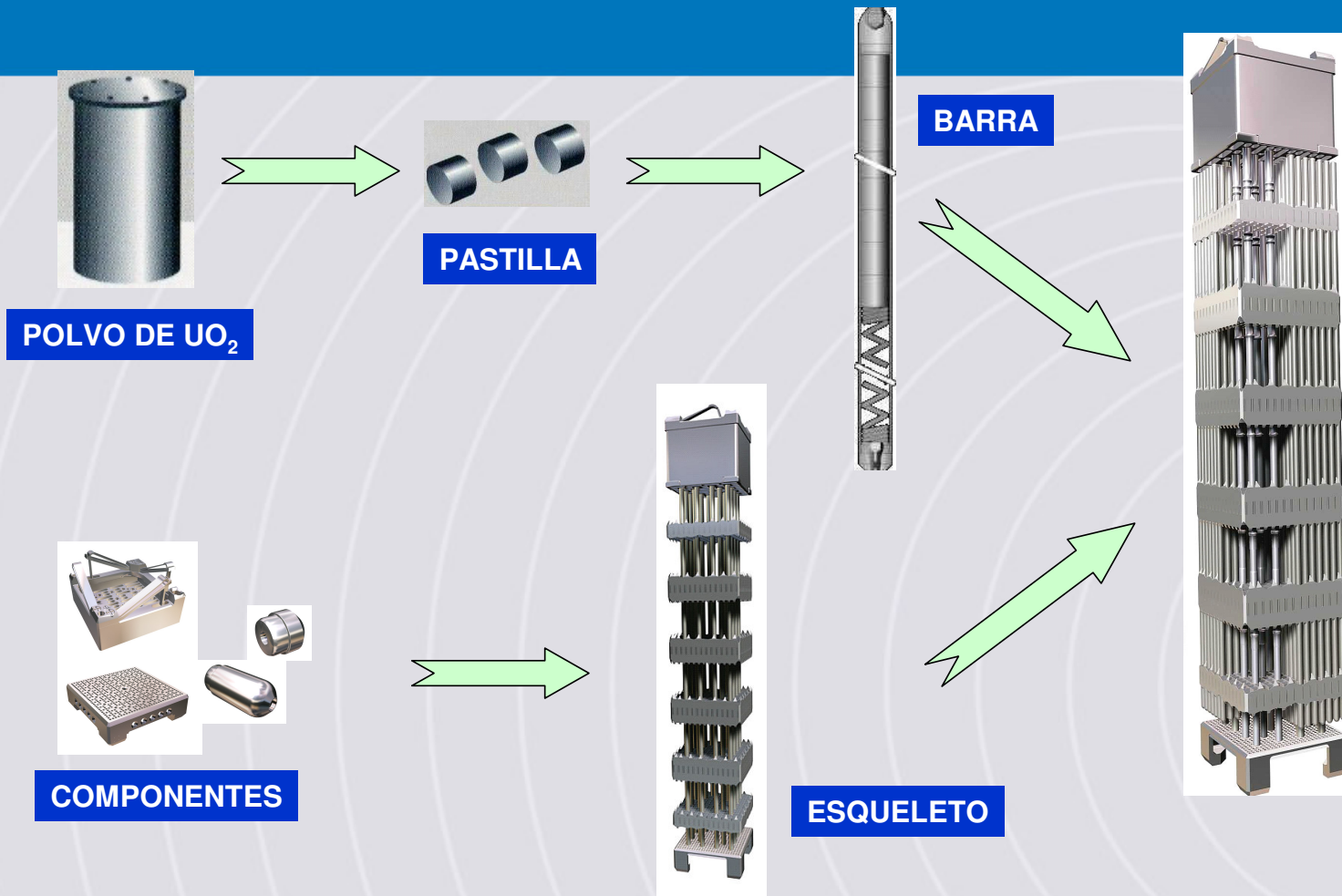


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID





FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE NUCLEAR



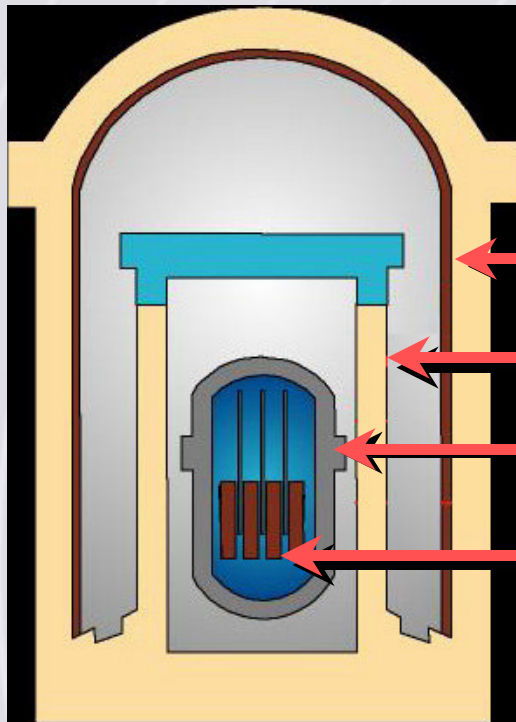
CADA REACTOR DE 1000 MWe consume unas 19 t de U al 4,4 % al año





Seguridad en profundidad

Barreras múltiples



← **Barrera última de acero-hormigón**

← **Blindaje de acero**

← **Blindaje de hormigón**

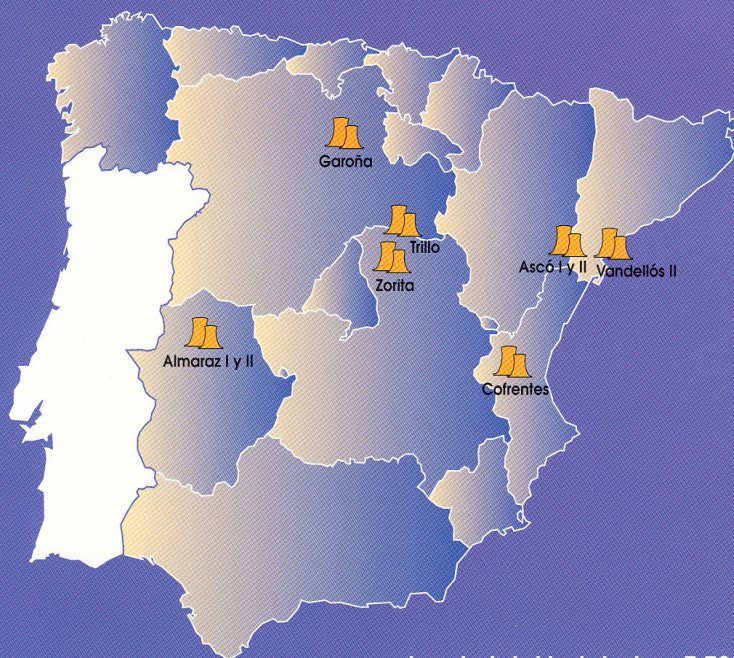
← **Vasija de presión**

← **combustible**



Situación en España en 2005

CENTRALES NUCLEARES EN ESPAÑA



potencia total instalada > 7.700 MWe

CENTRAL NUCLEAR	POTENCIA (MWe)
José Cabrera	150,1
Sta. María de Garoña	466
Almaraz I	977
Almaraz II	980
Ascó I	1.032,5
Ascó II	1.027,2
Cofrentes	1.092
Vandellós II	1.087,1
Trillo	1.066
TOTAL	7.877,9

Fuente: UNESA, Datos a 31 de diciembre de 2005.

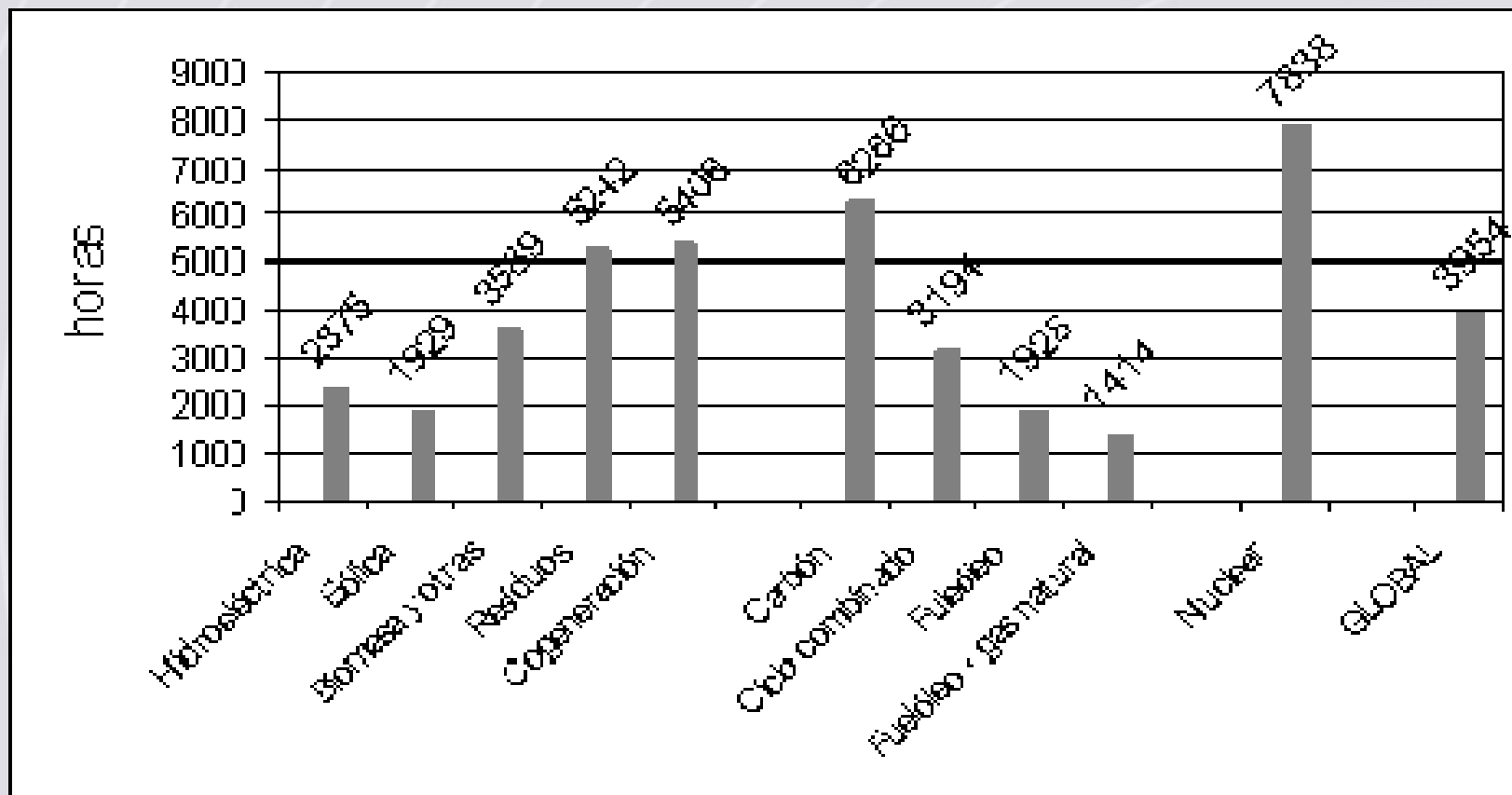


Indicadores de funcionamiento en 2005

CENTRAL NUCLEAR	PRODUCCIÓN (GWh)	FACTOR DE CARGA (%)	FACTOR DE OPERACIÓN (%)	FACTOR DE DISPONIBILIDAD (%)	FACTOR DE INDISPONIBILIDAD NO PROGRAMADA (%)
José Cabrera	1.161,27	88,35	90,17	88,35	3,64
Sta. M ^a Garoña	3.680,38	90,16	90,71	90,12	1,93
Almaraz I	7.823,32	91,41	93,38	92,97	0,03
Almaraz II	8.536,66	99,44	100,00	99,97	0,03
Ascó I	8.019,44	88,66	97,57	89,06	2,96
Ascó II	7.762,06	86,26	88,80	86,95	2,96
Cofrentes	7.029,75	73,49	77,26	75,97	1,54
Vandellós II	4.894,34	51,39	53,15	52,28	35,56
Trillo	8.642,52	92,55	93,33	93,02	1,67
TOTAL	57.549,73	83,39	86,14	84,32	6,32



Funcionamiento medio de las centrales de producción eléctrica



Fuente: UNESA



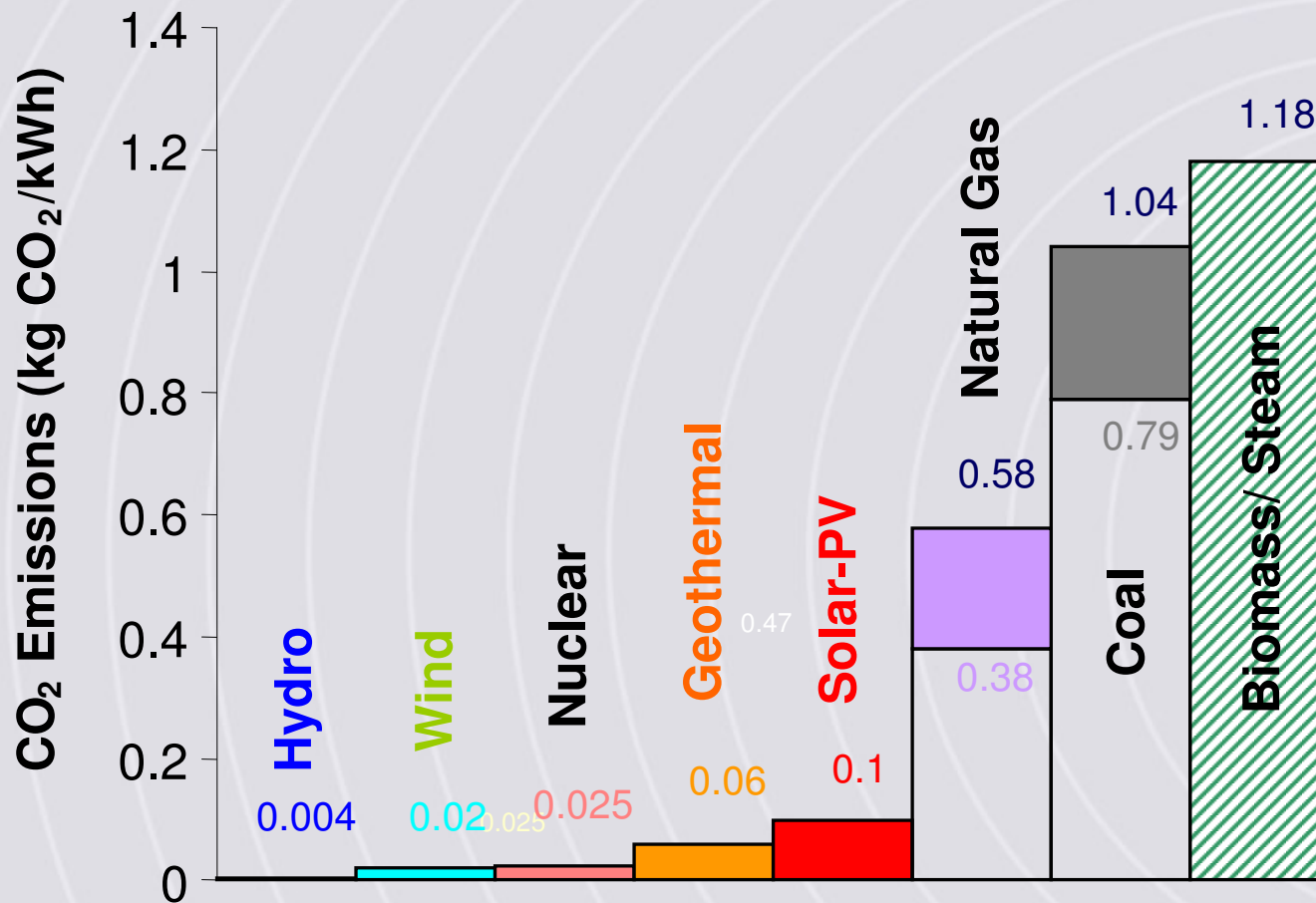
EXTENSIÓN DE OPERACIÓN

El 34% de las CCNN del mundo han superado su vida de diseño, y las compañías encargadas de su gestión deberán tomar próximamente una decisión acerca de su futuro:

- 1. pararlas, y suplir la energía 'extraída' de la red con nuevas plantas de generación térmica,**
- 2. someterlas a un proceso de renovación para proceder al alargamiento de su vida útil.**



Impacto medioambiental de las fuentes de energía





Energía Nuclear y su impacto medioambiental

Protocolo de Kyoto (1997)

“Limitar las emisiones de gases que producen el efecto invernadero con el fin de mantener un desarrollo sostenido”

Objetivo: Reducir un 5% los niveles de 1.990 antes del 2012

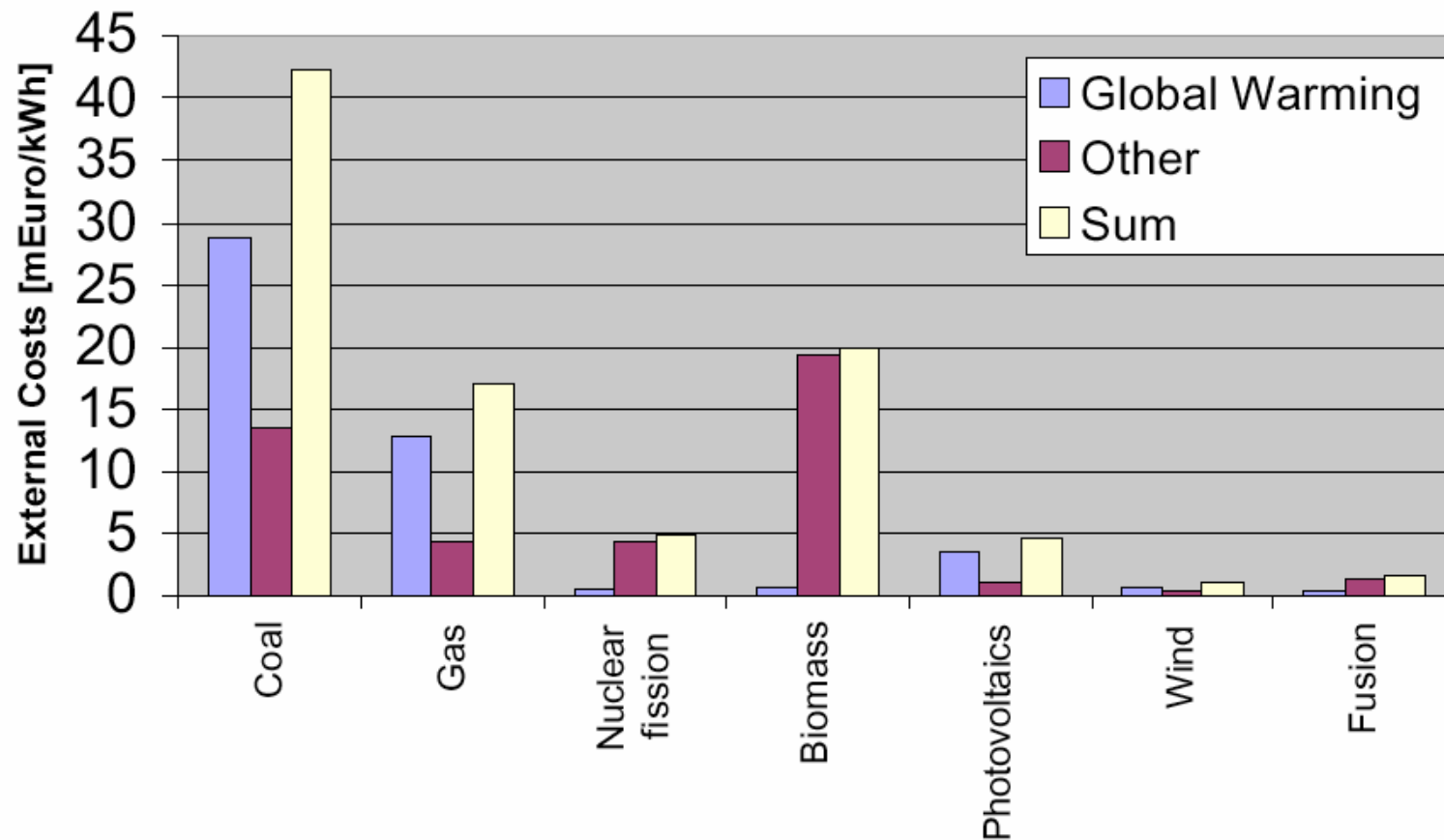
Generación
eléctrica
nuclear
~34,72%



Equivalente del
CO2 total emitido
(~20%)



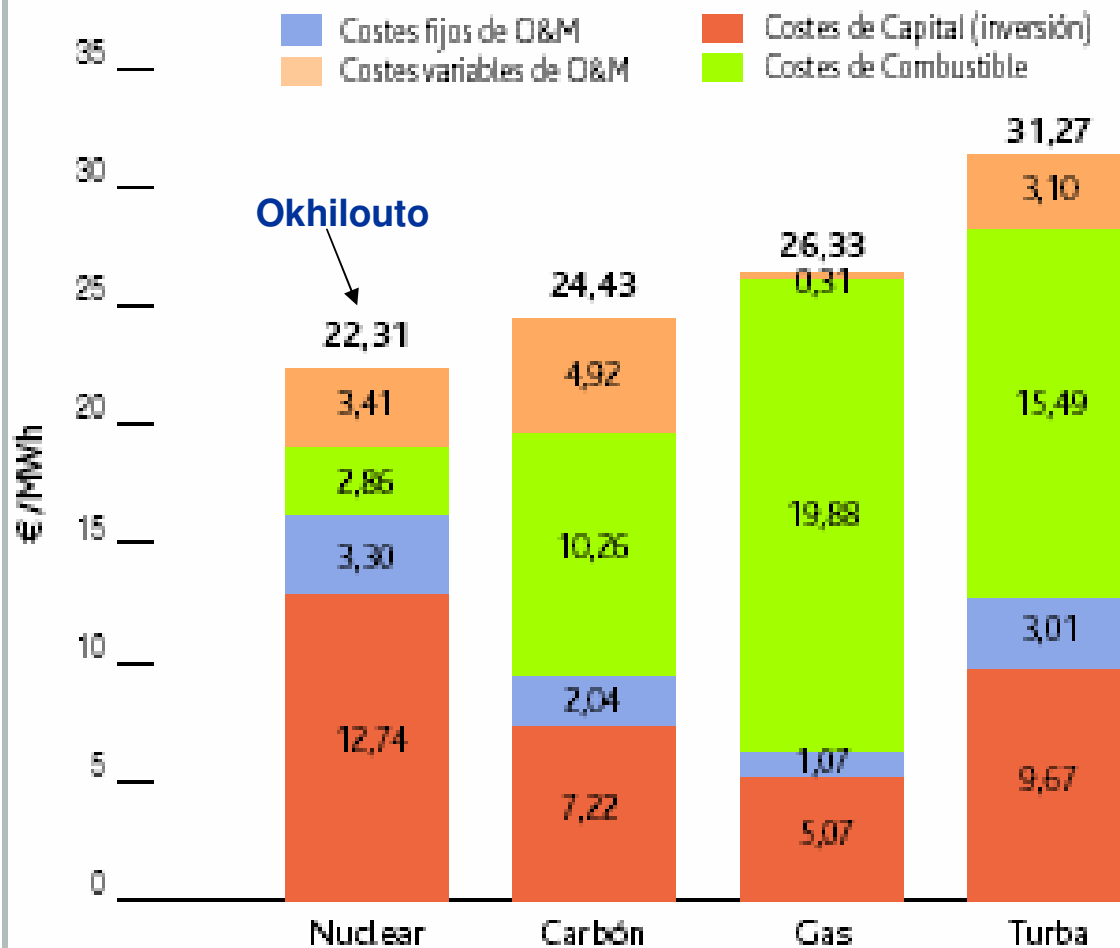
Costes comparativos





Costes de generación: Finlandia

Costes de generación (Finlandia, 1999)



60-70% inversión
10% combustible
30-20% O&M



RESIDUOS RADIATIVOS

- Volumen pequeño y concentrados
- Aislamiento en la biosfera factible
- Soluciones técnicas en muchos países: Suecia, España, etc
- Almacenamiento temporal
- AGP
- Transmutación para eliminar residuos

La gestión de los residuos radiactivos es más que encontrar una respuesta técnica a un problema técnico

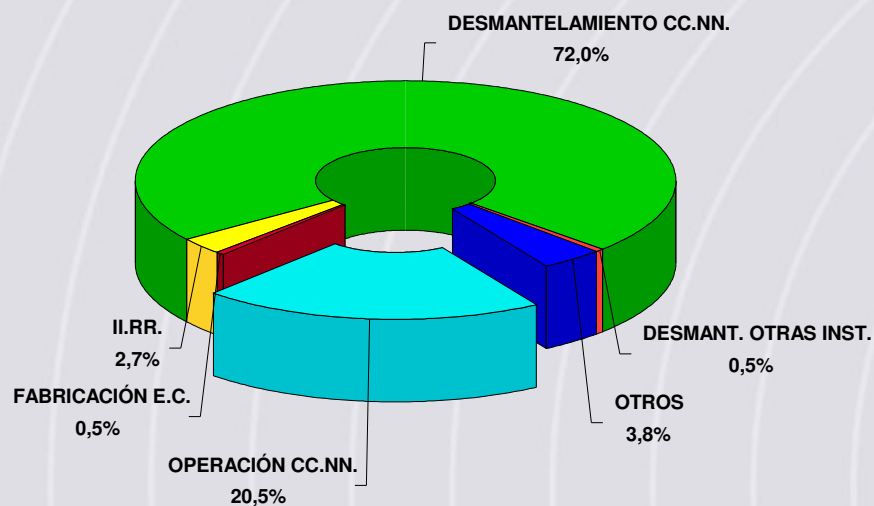
¿ Es más importante el calentamiento del planeta o usar la energía nuclear con el consiguiente almacenamiento de los residuos radiactivos?

**James Lovelock
Prof. Moore**



RESIDUOS RADIATIVOS A GESTIONAR EN ESPAÑA

RBMA $\approx 176.500 \text{ m}^3$



(36.500 m³ hasta el 31/12/2004)



RBMA = Residuos de Baja y Media Actividad acondicionados (incluye residuos de muy baja actividad)

CG/RAA = Combustible Gastado y Residuos de Alta Actividad encapsulados (incluye residuos de media actividad de vida larga)



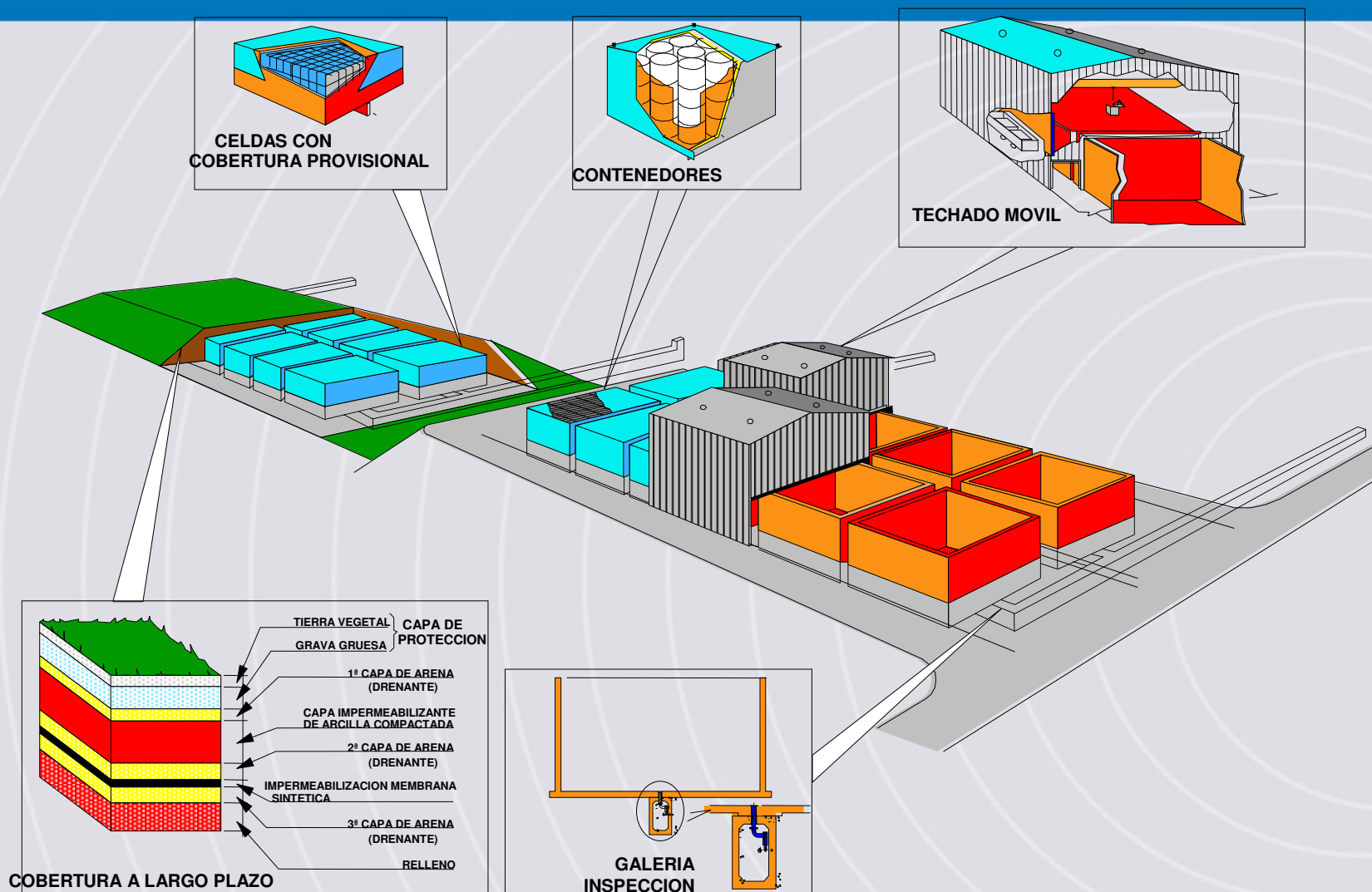
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Detalle de RBMA





Centro de Almacenamiento El Cabril



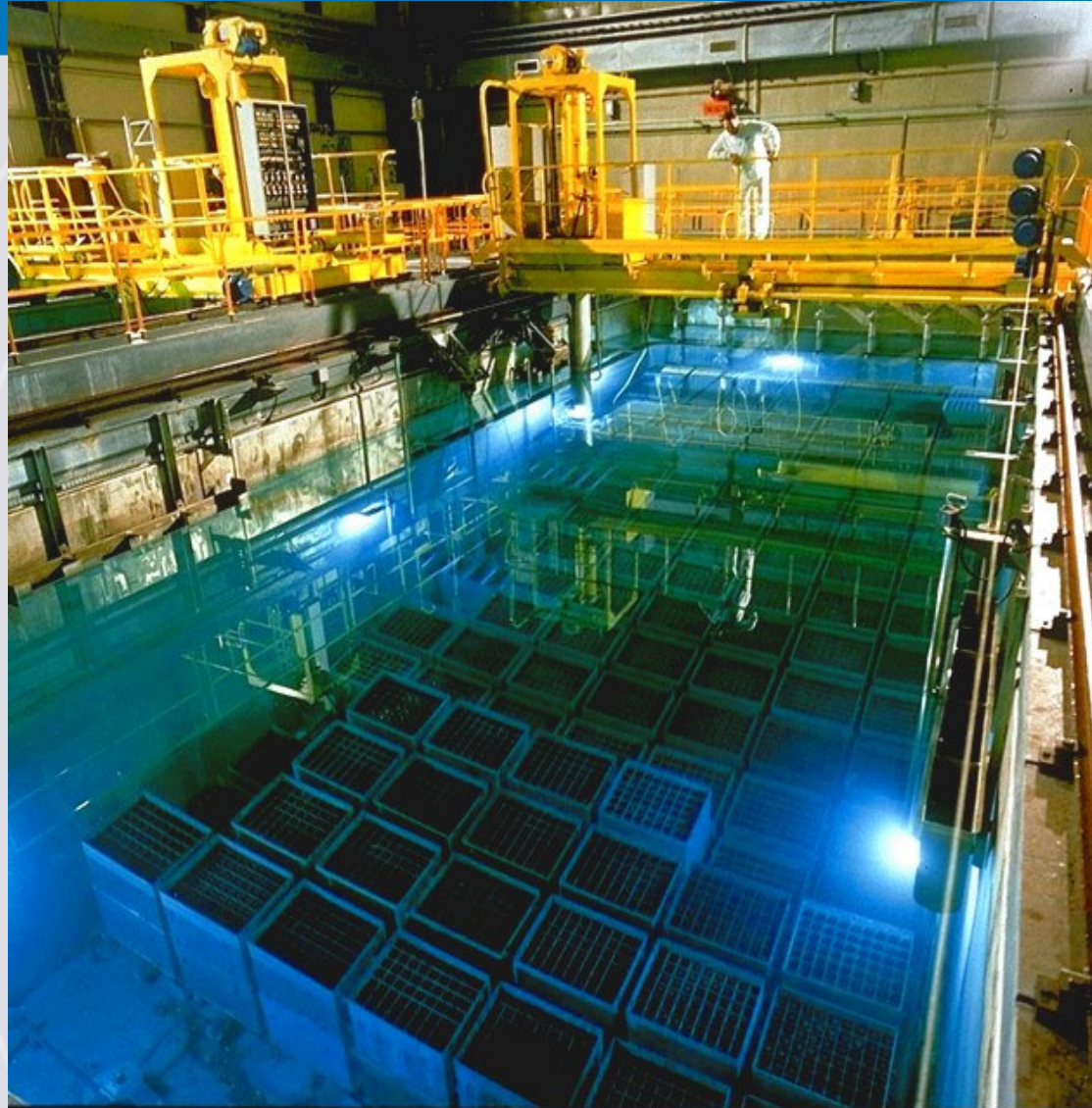


Plataforma del Centro de Almacenamiento El Cabril





Almacenamiento temporal. Piscinas.





Almacenamiento temporal. Contenedores.

CONTENEDOR PARA TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE GASTADO (DPT)





Sistemas almacenamiento temporal CG en España.

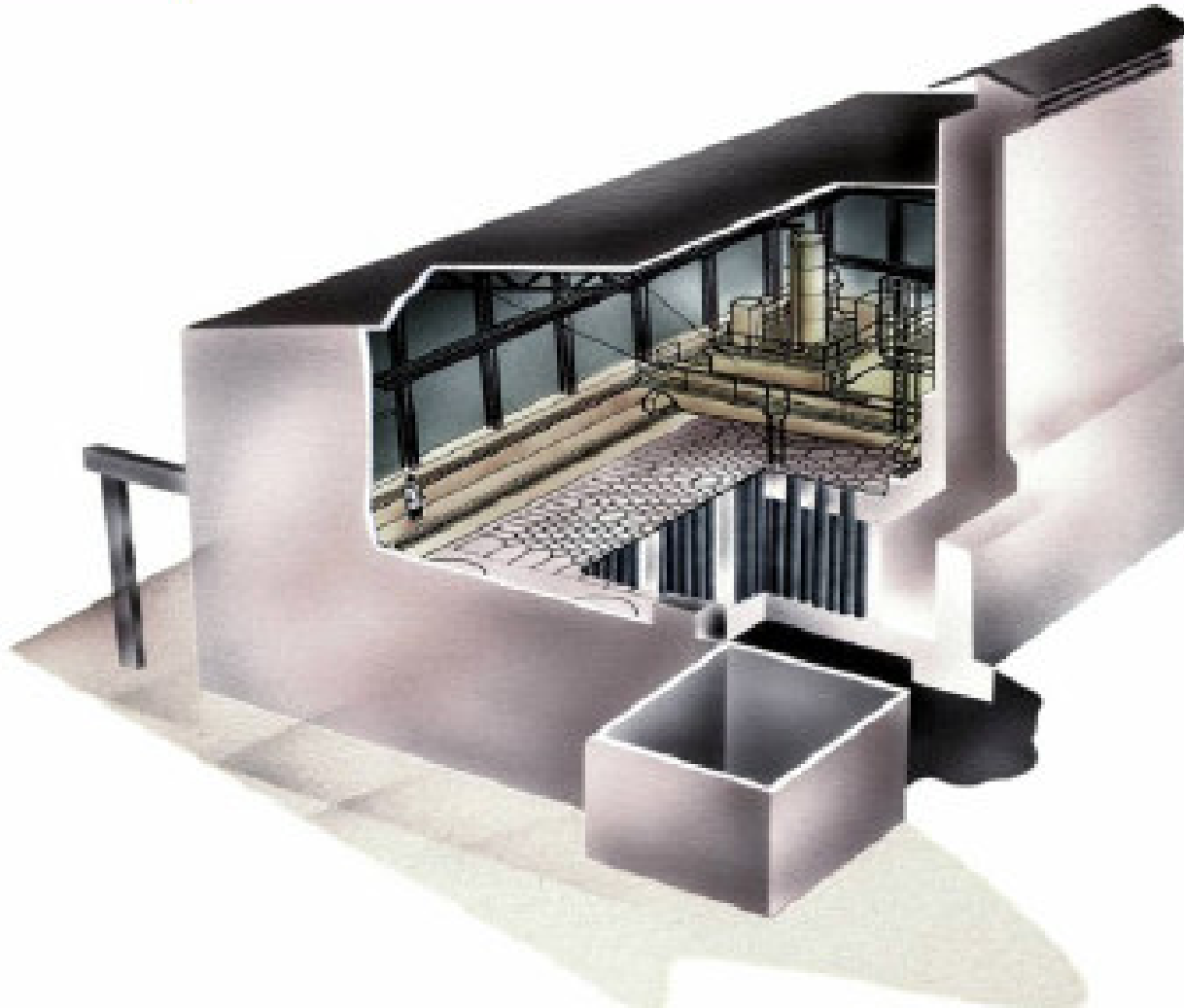


ATI C.N. TRILLO



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Almacenamiento temporal. Bóvedas.





Instalación de HABOG





Instalación de ZWILAG





¿Qué puede aportar la energía nuclear en el siglo XXI?

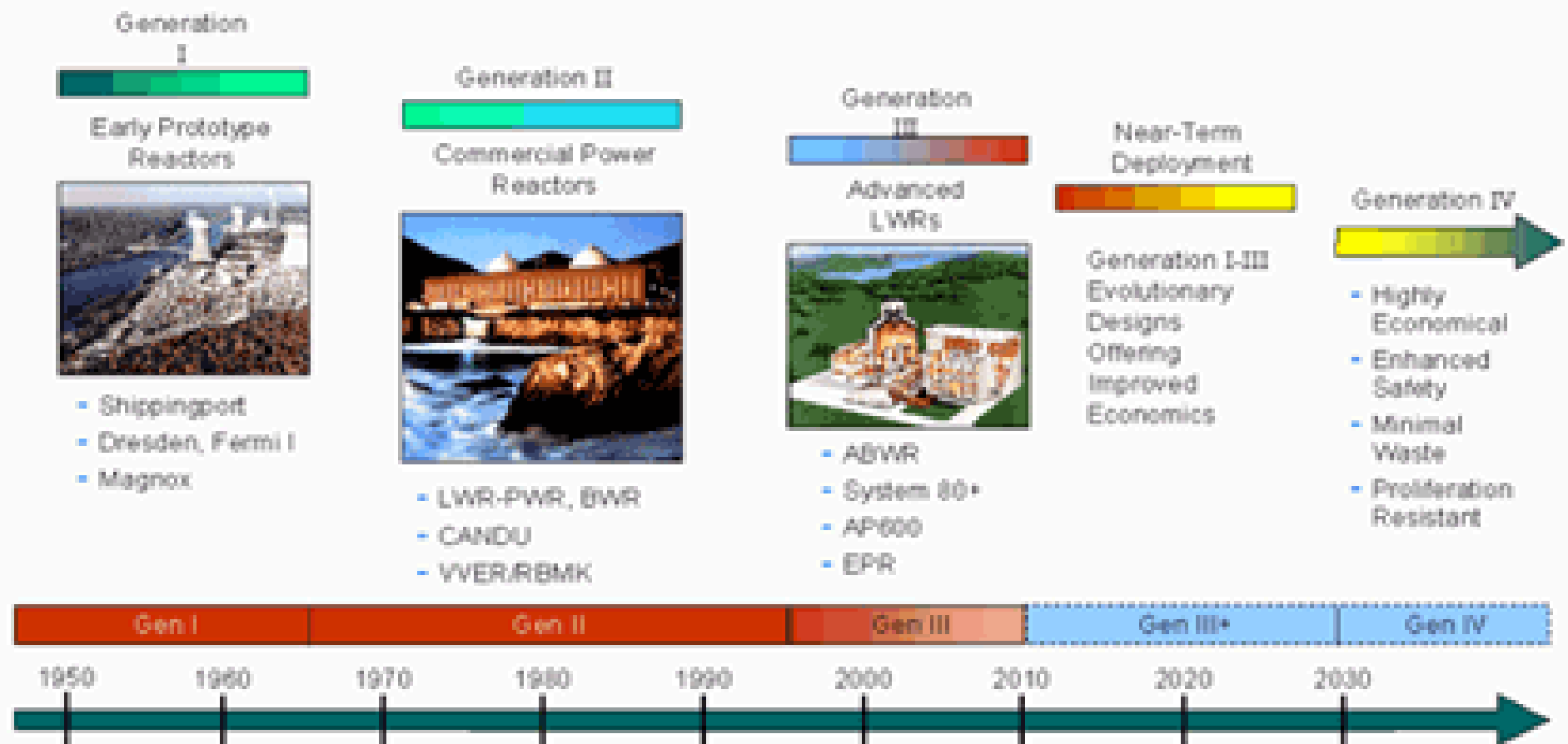
***Nuevos reactores innovadores
Aplicaciones no energéticas
Producción de hidrógeno
Desalación del agua del mar
Calentamiento urbano
Fusión nuclear***



Retos de la Energía Nuclear

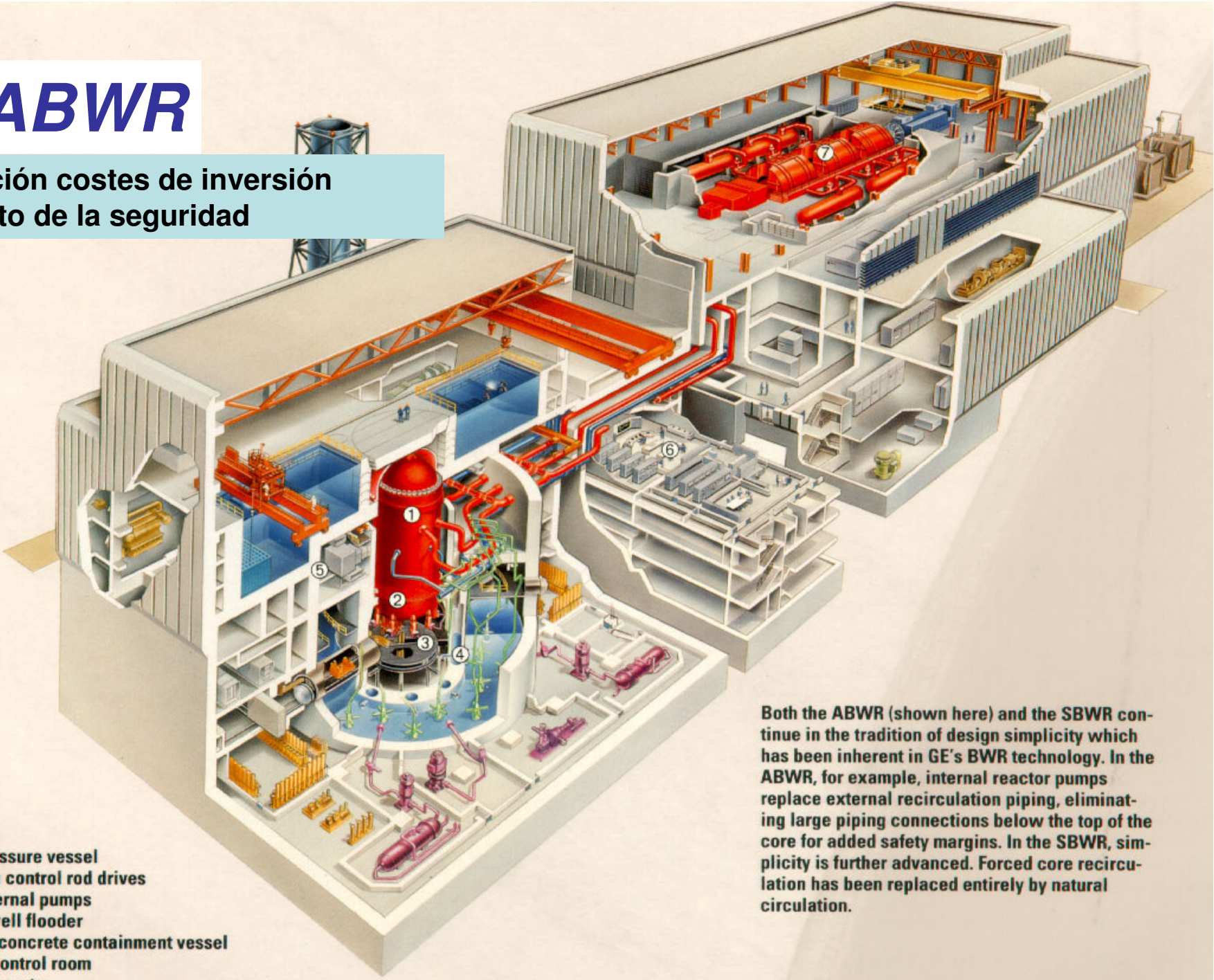
- **Sostenibilidad:** reducción de cantidad de residuos
disminución toxicidad y tiempo de vida
extensión de reservas de combustible
- **Competitividad:** Simplificación de diseño
reducción tiempos de construcción
mejor empleo del combustible
nuevas técnicas de construcción
- **Seguridad y fiabilidad:** Seguridad inherente
diseños robustos
aumento de la aceptación y confianza públicas
- **Resistencia a la proliferación y protección física**

The Evolution of Nuclear Power



ABWR

Reducción costes de inversión
Aumento de la seguridad

- 
- The diagram is a detailed 3D cutaway of an ABWR reactor building. It shows the internal layout from the reactor core at the bottom to the turbine generator at the top. Key components are highlighted with numbers 1 through 7. The reactor core is a large red cylindrical vessel (1) containing fine-motion control rod drives (2) and internal pumps (3). Below the core is a lower drywell flooder (4). The entire reactor is enclosed within a reinforced concrete containment vessel (5). To the right, an advanced control room (6) is shown with multiple operator consoles. At the top right, the turbine-generator (7) is depicted, connected to the reactor via piping. The diagram illustrates the compact design of the ABWR, which integrates the reactor and turbine within a single containment structure, reducing the need for external piping and large buildings.
1. Reactor pressure vessel
 2. Fine-motion control rod drives
 3. Reactor internal pumps
 4. Lower drywell flooder
 5. Reinforced concrete containment vessel
 6. Advanced control room
 7. Turbine-generator

Both the ABWR (shown here) and the SBWR continue in the tradition of design simplicity which has been inherent in GE's BWR technology. In the ABWR, for example, internal reactor pumps replace external recirculation piping, eliminating large piping connections below the top of the core for added safety margins. In the SBWR, simplicity is further advanced. Forced core recirculation has been replaced entirely by natural circulation.



Olkiluoto en 2004



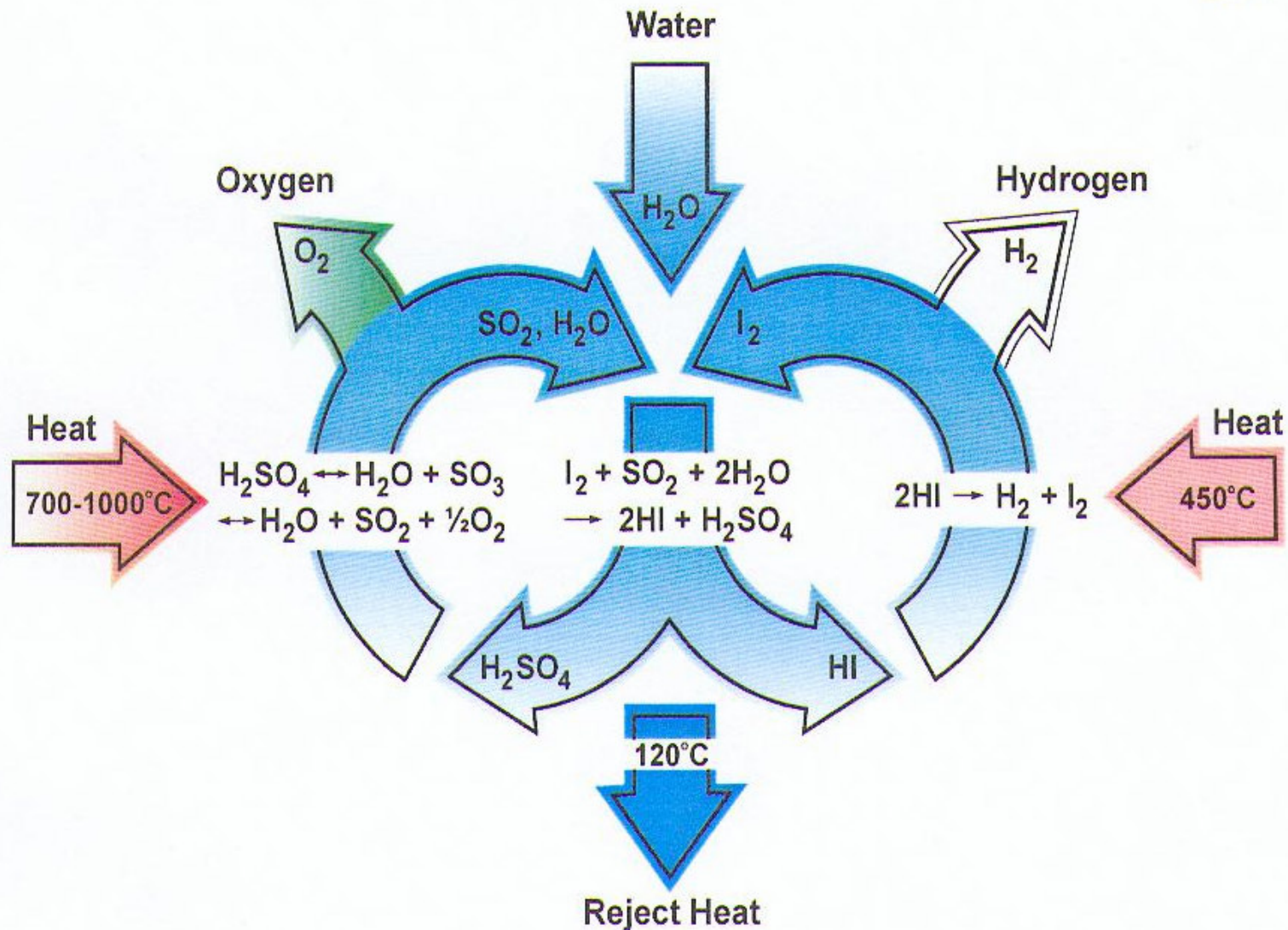


Olkiluoto en 2010



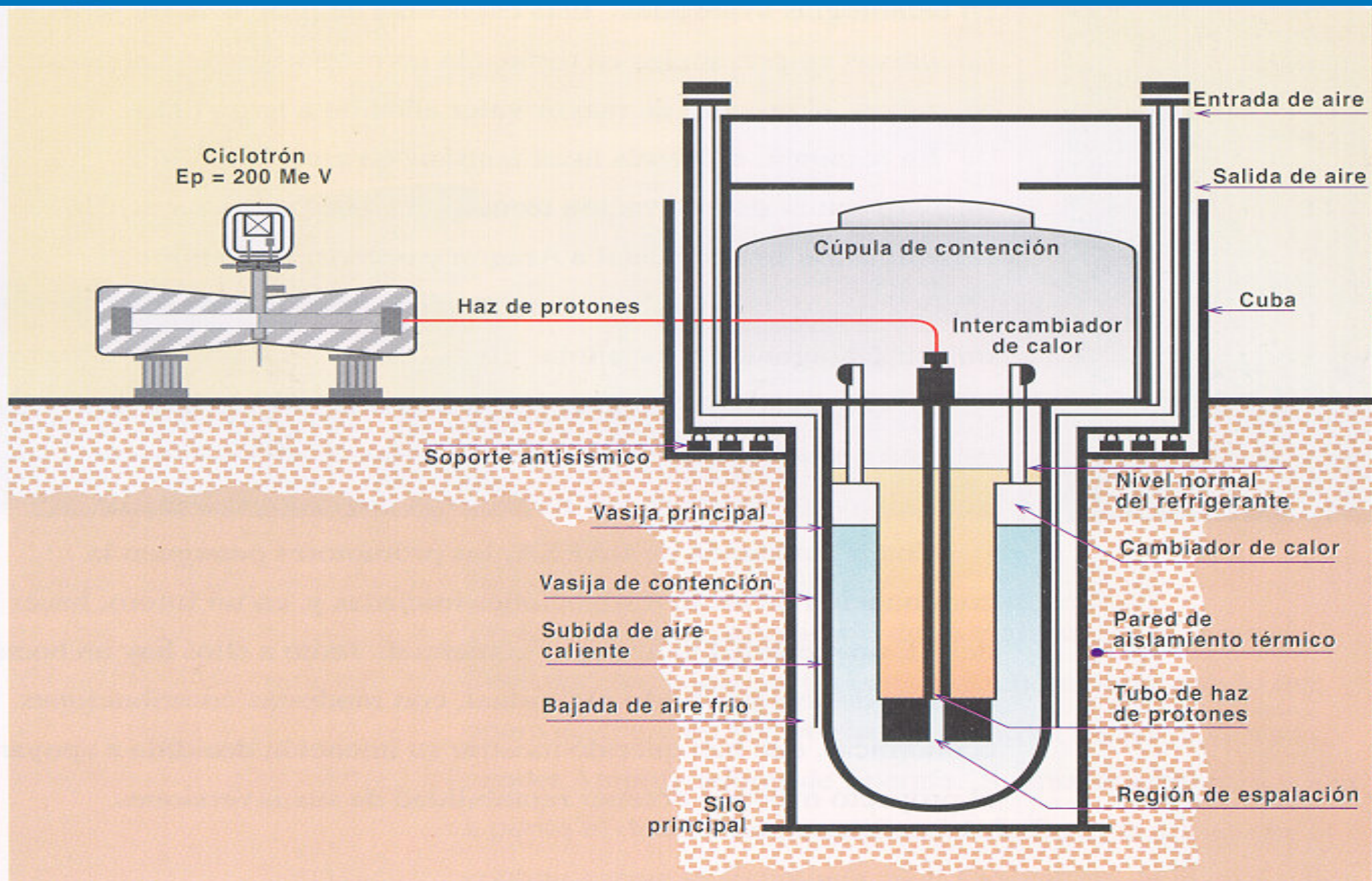


Producción de Hidrógeno

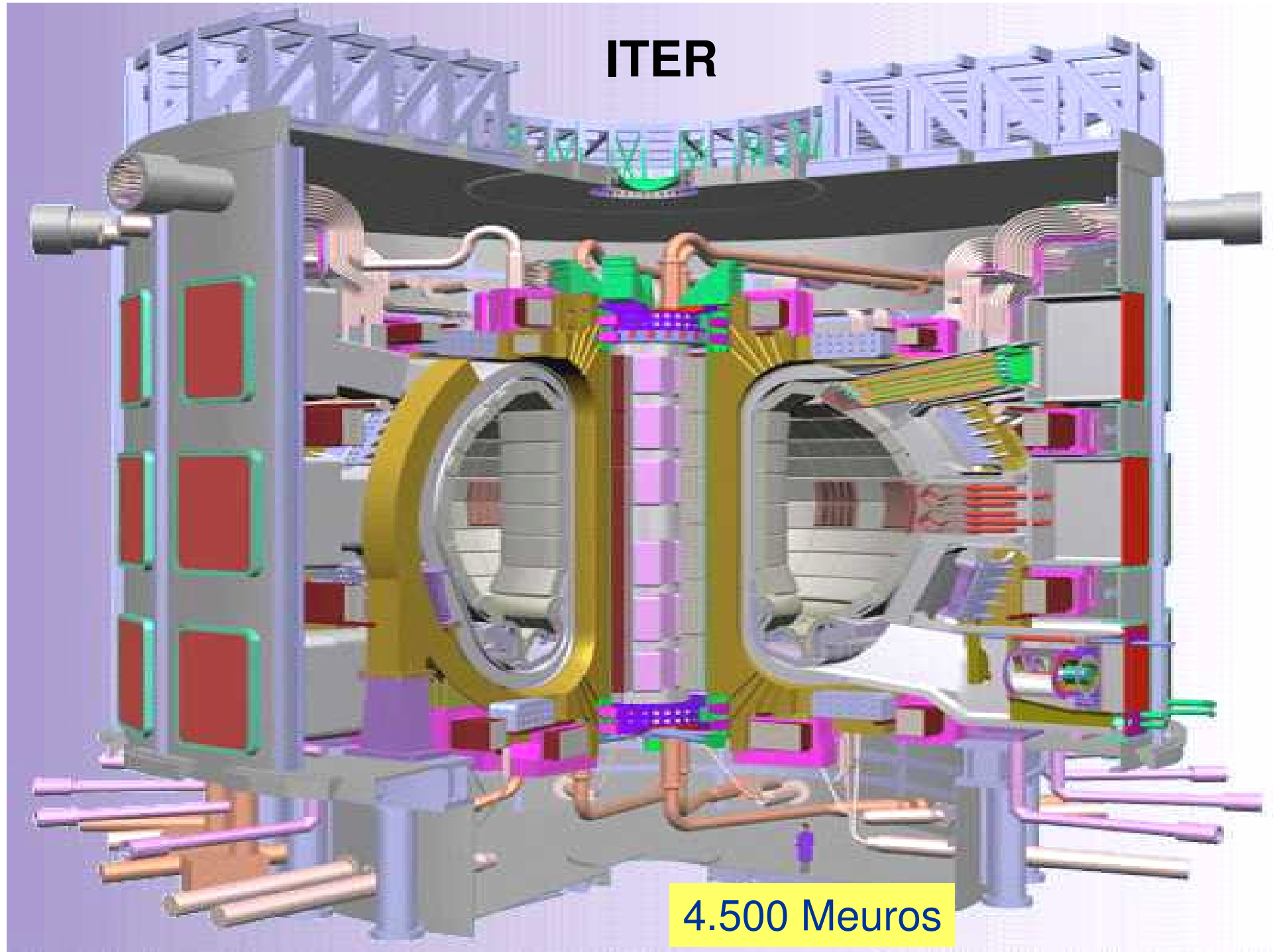




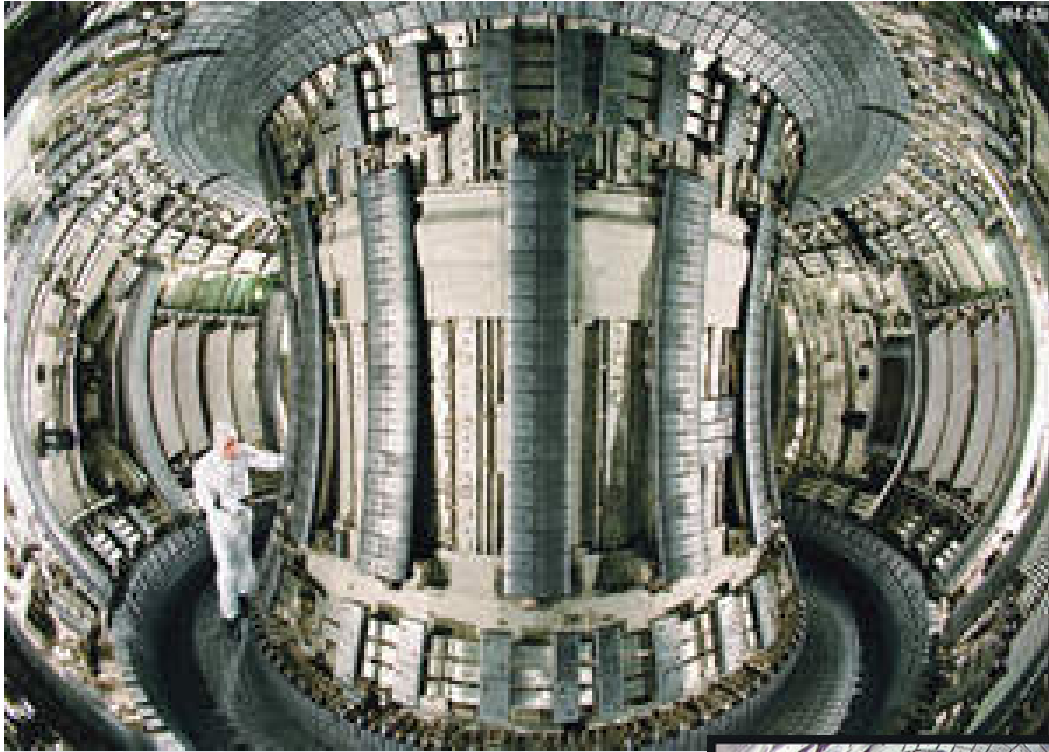
Sistema para eliminar residuos radiactivos



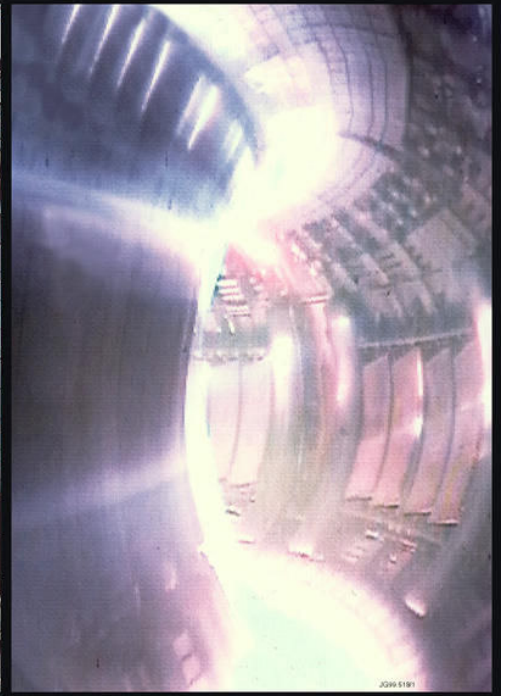
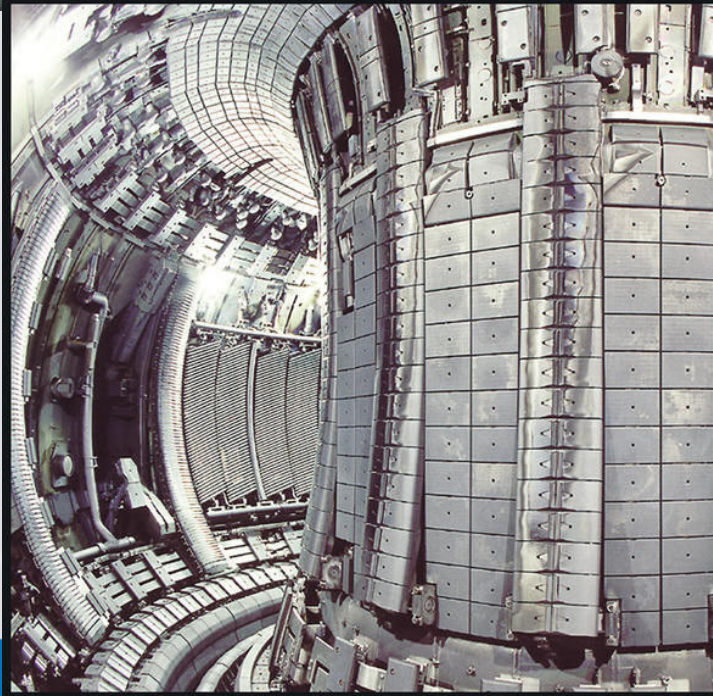
ITER



4.500 Meuros

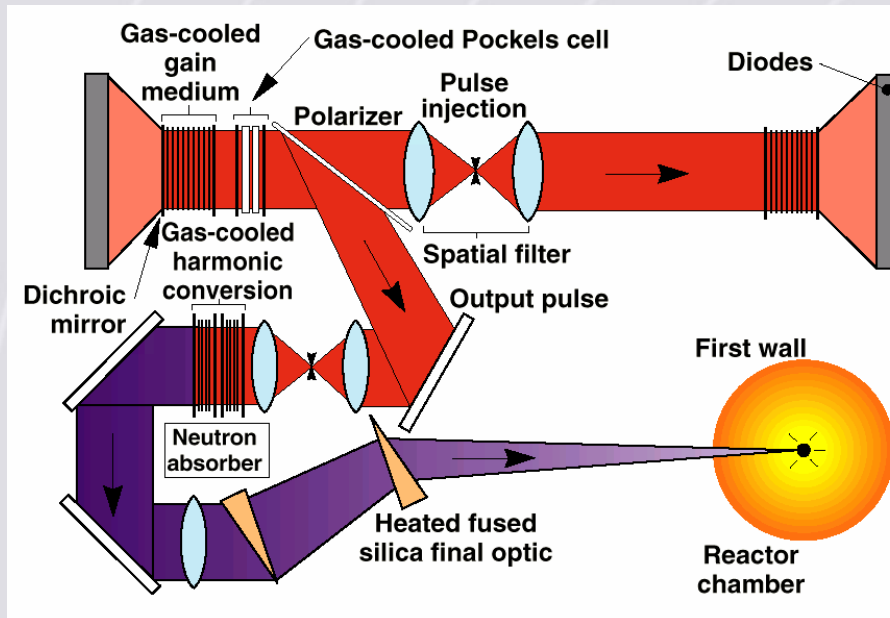


Anillo de una vasija

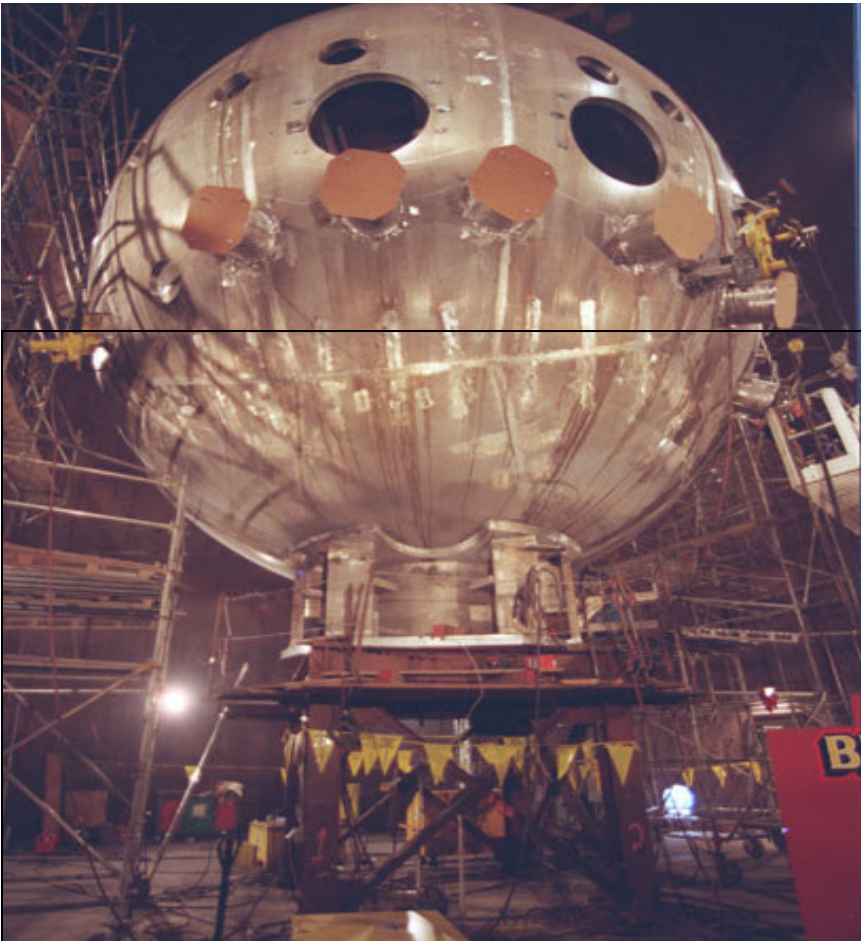




Sistema Láser



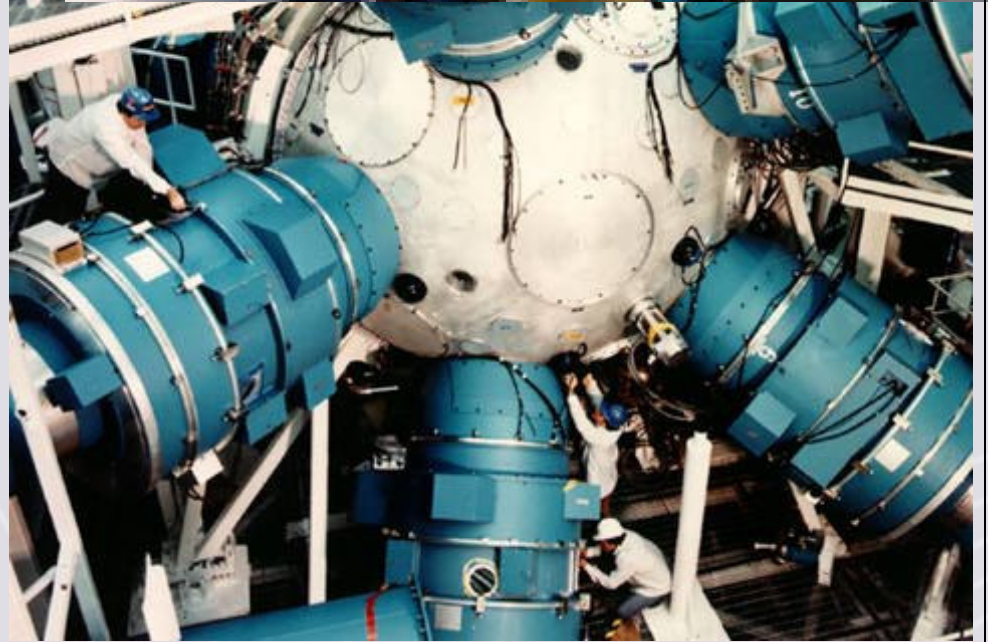


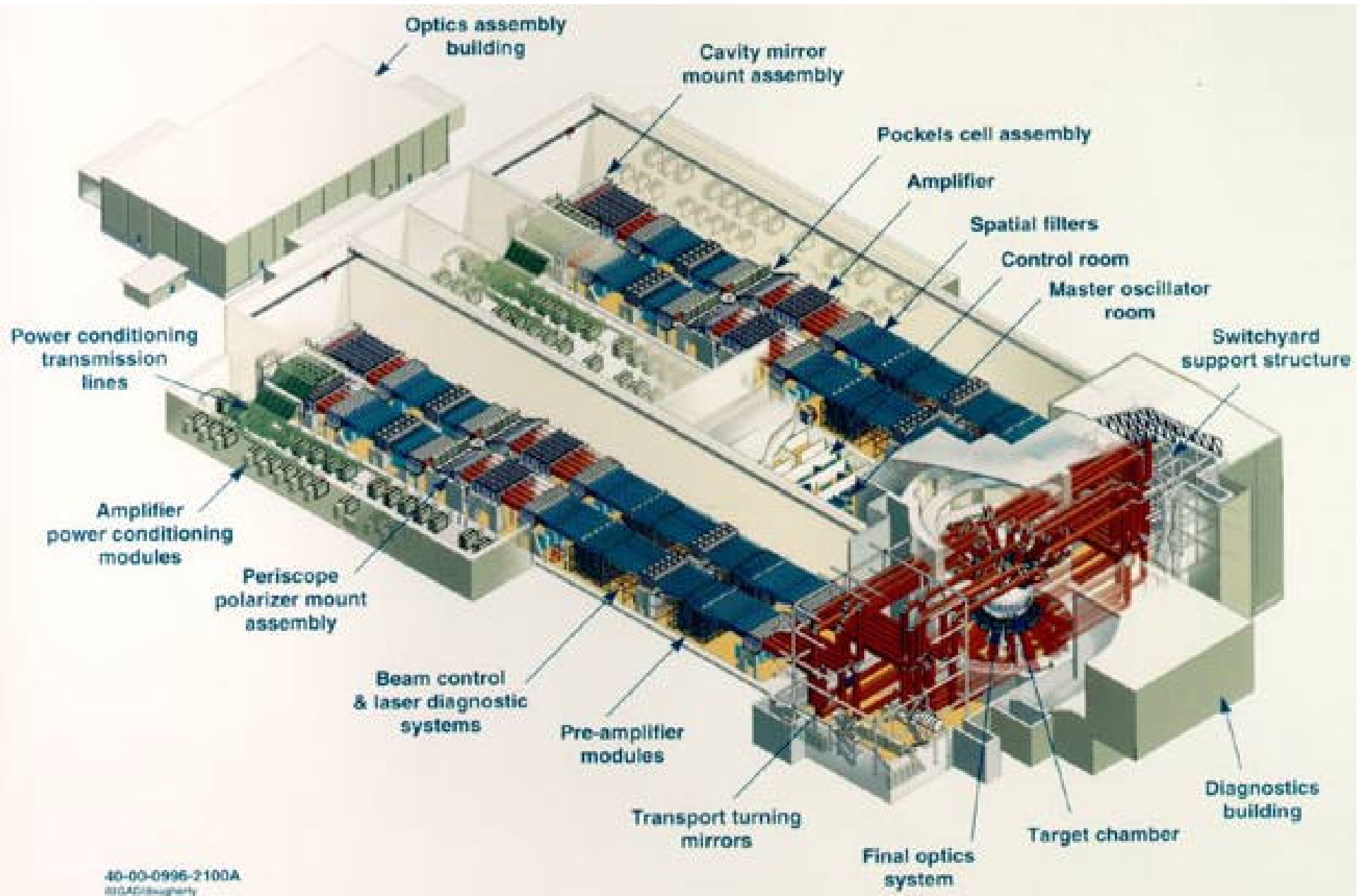


Proyecto NIF



**Proyecto
NOVA**





Proyecto National Ignition Facility (NIF)



Conclusiones

- Existe un gran reto energético mundial tanto desde el punto de vista económico, medioambiental y de seguridad de abastecimiento.
- El planteamiento energético debe hacerse desde la diversidad.
- En esta diversidad la energía nuclear y las renovables deben complementarse
- Se requiere una planificación a largo plazo y debe hacerse por consenso.
- La UE debe afrontar su economía desde la óptica de la competitividad, y en la energía debe ser menos dependiente, de acuerdo a la Agenda de Lisboa



Consideraciones en una toma de decisiones sobre energía nuclear SI o NO

- Crecimiento de la demanda
- Competitividad
- Seguridad de suministro
- Cumplimiento de condiciones medioambientales
- Aspectos sociales: *percepción del riesgo, proliferación protección física, residuos.*



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Muchas gracias por su asistencia y atención

Preguntas y comentarios