

**CIENTÍFICOS POR EL MEDIO AMBIENTE**

Madrid, 13 de marzo de 2006

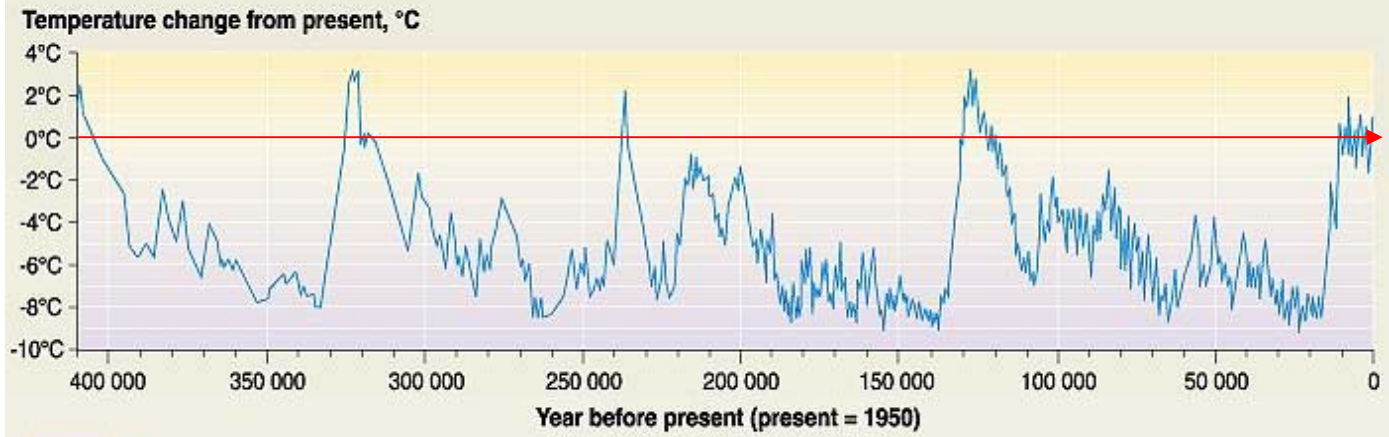
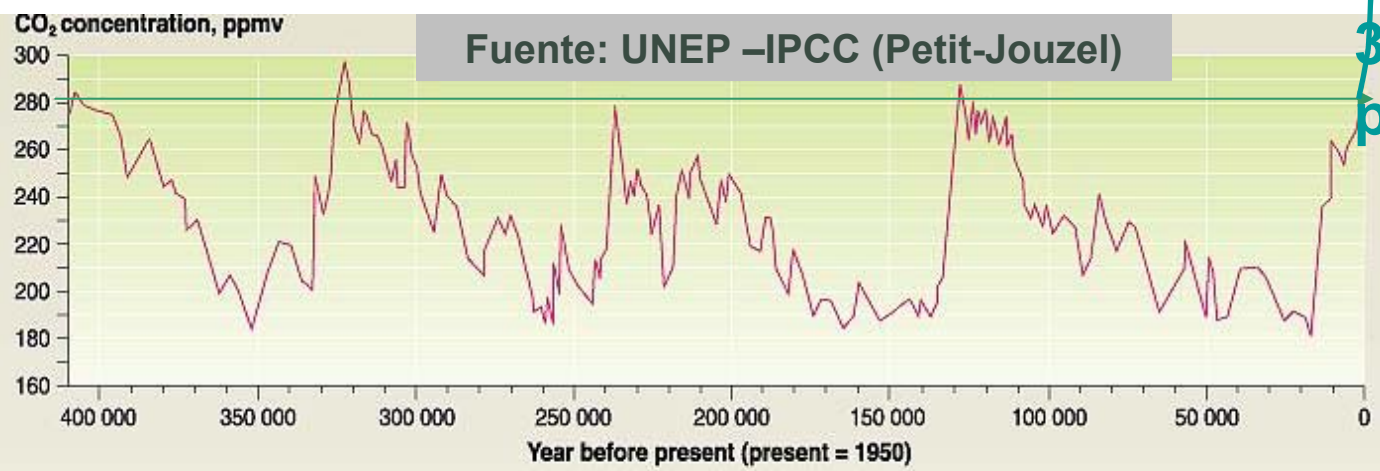
**DEBATE: ENERGÍA NUCLEAR vs ENERGÍA SOLAR**

**LA PERSPECTIVA  
DE LAS  
CENTRALES NUCLEARES**

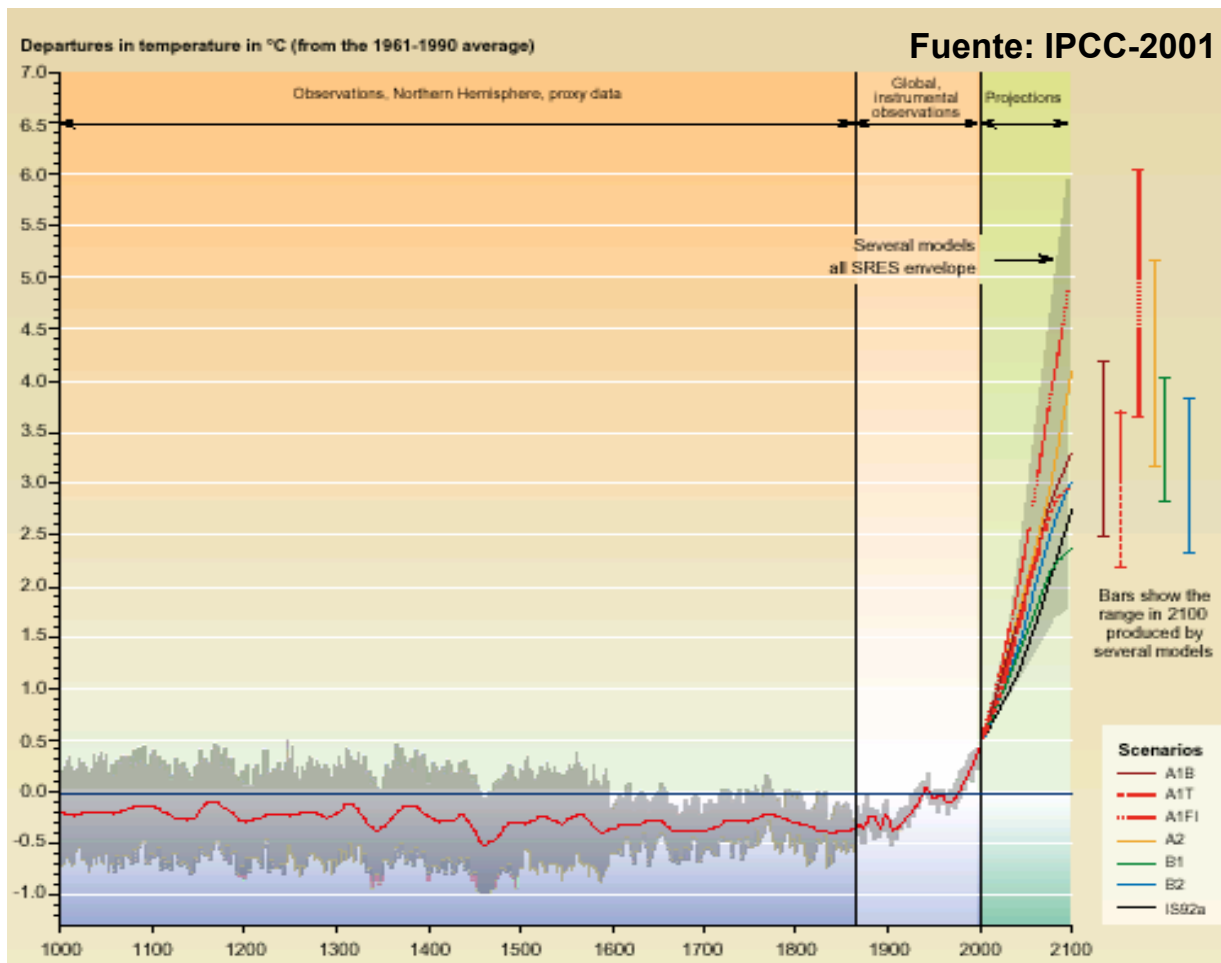
**Eduardo González Gómez**

Presidente

# El clima del pasado: Concentraciones de CO<sub>2</sub> y cambios de temperatura desde hace 400.000 años

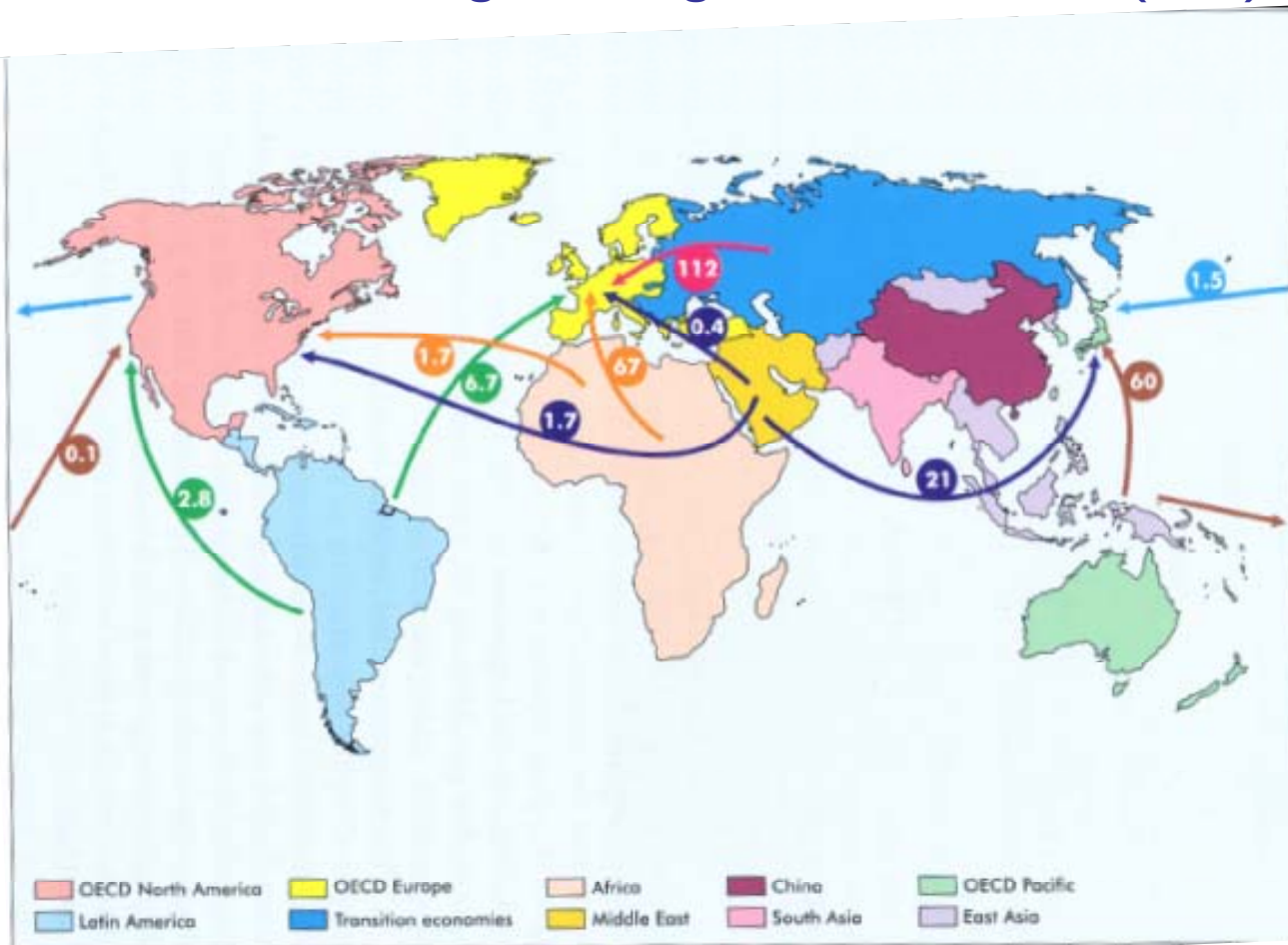


# 1000 años de evolución de la temperatura y tendencias hasta 2100



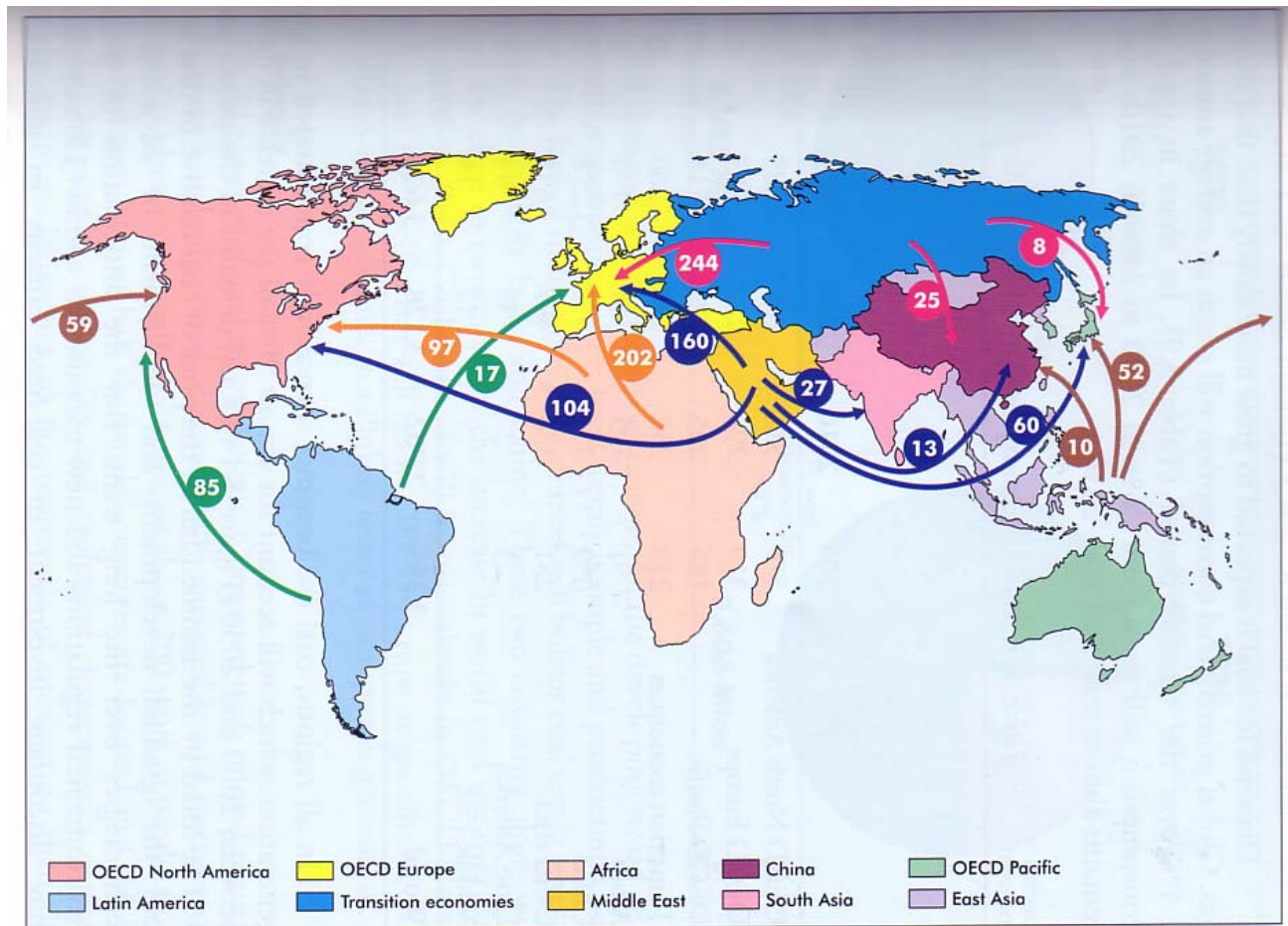
## Fuentes de energía (I)

### Comercio interregional de gas natural en 2000 (bcm)



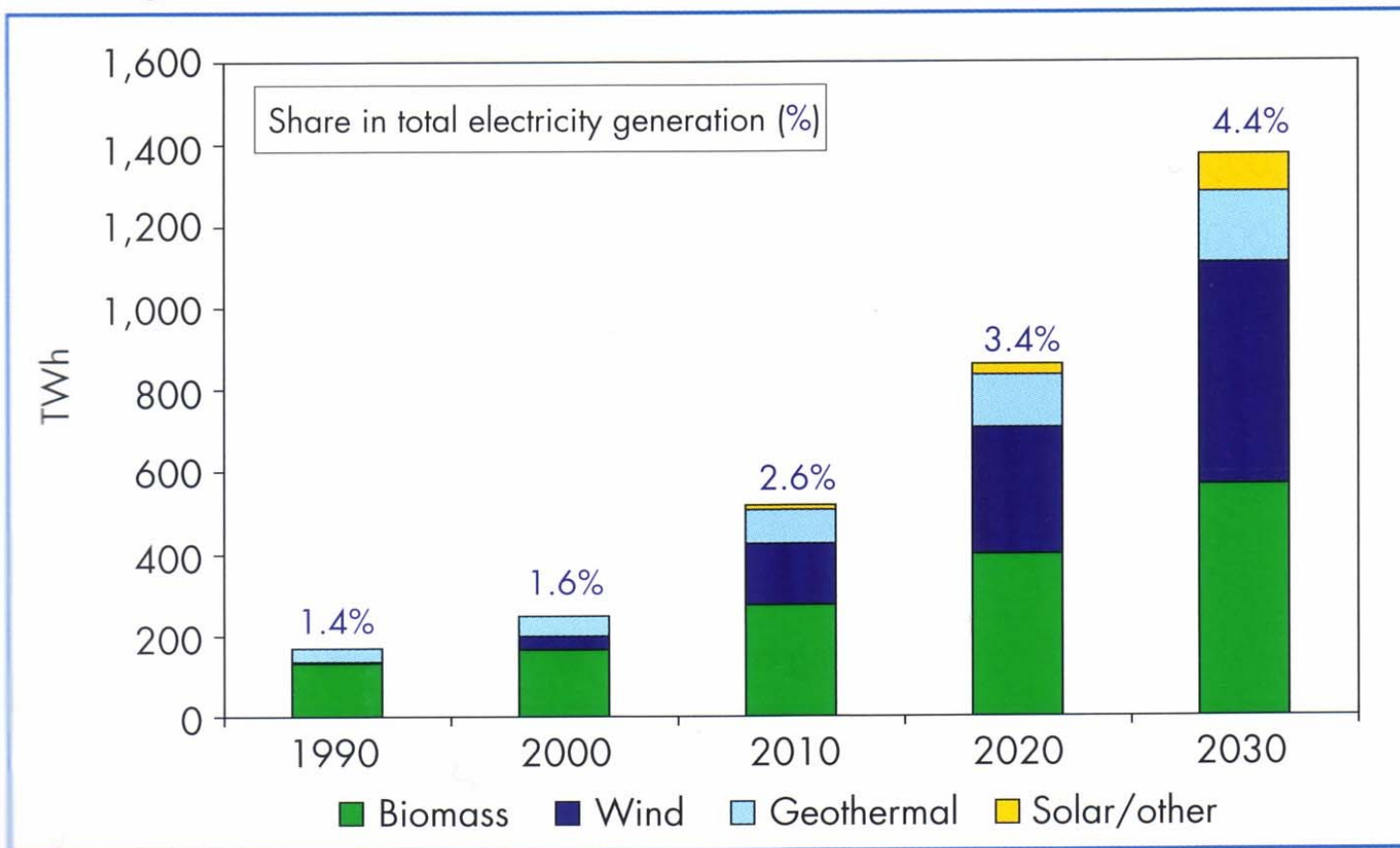
## Fuentes de energía (2)

### Comercio interregional de gas natural en 2030 (bcm)



Fuente: International Energy Agency – World Energy Outlook 2004

## Contribución de la energía solar en el futuro



## **Desarrollo Sostenible y Energía Eléctrica**

### **Dimensión Tecnológica**

- Capacidades tecnológicas – transmisión del conocimiento
- Programas de I + D + I
- Calidad de la energía producida
  - garantía de potencia
  - estabilidad de las redes
- Experiencia operativa acumulada
- Potencia específica del combustible
- Recursos naturales intermitentes

## **Desarrollo Sostenible y Energía Eléctrica**

### **Dimensión Socioeconómica**

- Mejora de la calidad de vida
- Contribución a la satisfacción de la demanda
- Garantía de suministro – geopolítica internacional
- Incremento de la competitividad
- Mix energético equilibrado
- Precio de los combustibles en los mercados internacionales
- Internalización de los costes medioambientales
- Opinión pública

## **Desarrollo Sostenible y Energía**

### **Dimensión Medioambiental**

- Agotamiento de los recursos naturales escasos y limitados
- Utilización de los recursos naturales en otras aplicaciones
- Emisiones gases contaminantes
- Concentración atmosférica límite
- Cumplimiento Protocolo de Kioto
- Gestión de otro tipo de residuos
- impacto visual y sobre el terreno

## Caracterización de las distintas fuentes

	Seguridad de suministro	Competitividad en precio	Estabilidad de precio	Impacto en emisiones
Eólica				
Hidráulica				
Fuel-gas				
CCGT				
Carbón				
Nuclear				

## Situación actual

- Necesidad de desarrollar fuentes autóctonas
- Necesidad de reducir emisiones de CO<sub>2</sub>
- Necesidad de asegurar el suministro de electricidad a precios competitivos



- Impulsar renovables y ahorro y eficiencia
- Utilizar todas las fuentes, **también la nuclear**

## Sistema Eléctrico en España 2005 (avance)

**Producción**

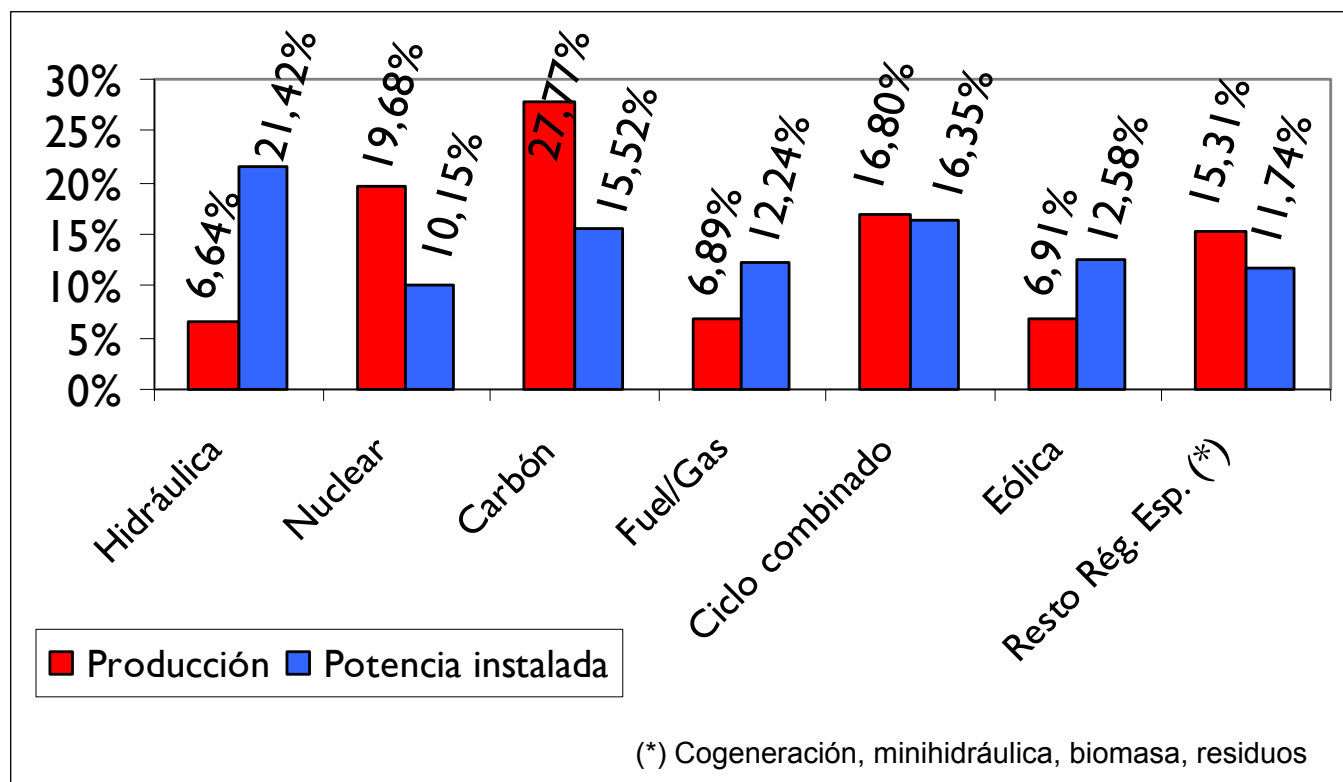
Total: 292.736 GWh

Nuclear: 57.539 GWh

**Potencia**

Total: 77.758 MW

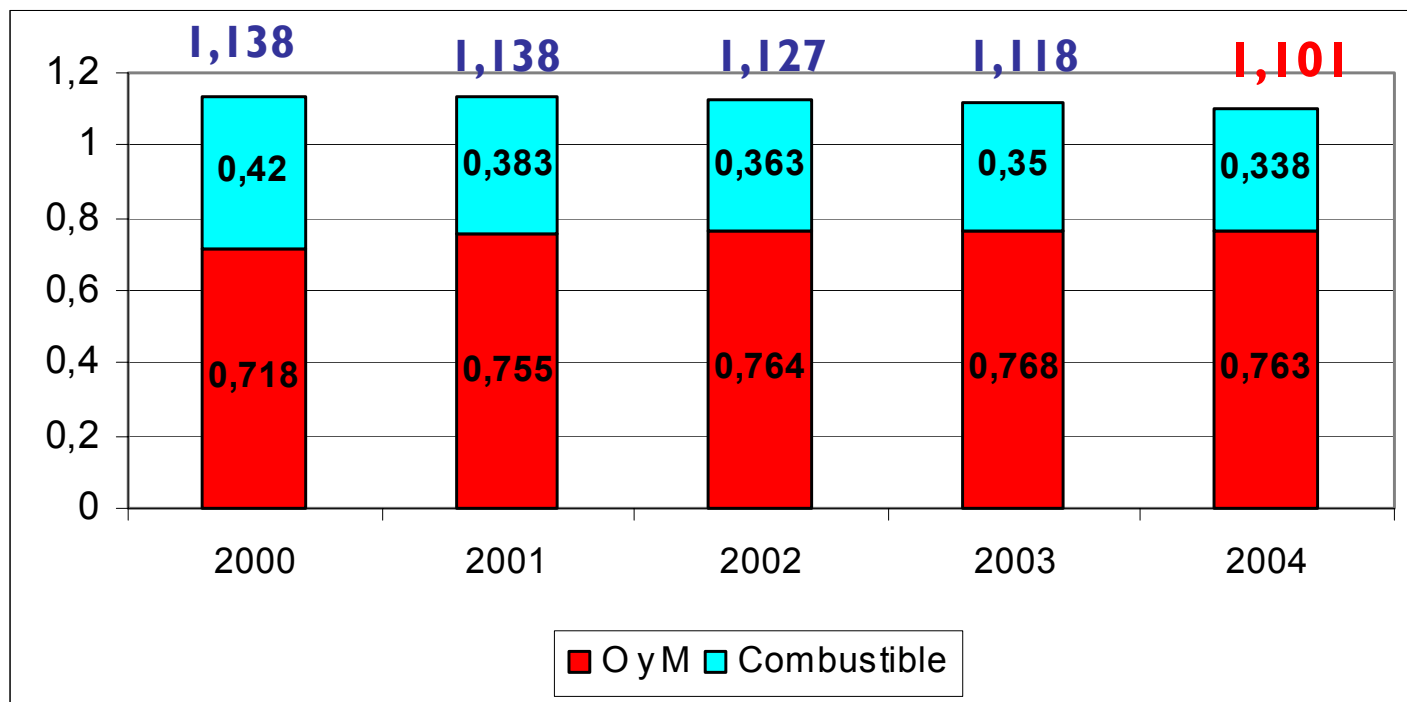
Nuclear: 7.876 MW



Fuente: UNESA – Avance Estadístico de la Industria Eléctrica 2005

REE – El Sistema Eléctrico Español – Avance del informe 2005

## Coste de Producción de las CC. NN. EE.



Fuente: UNESA. Datos en céntimos de euro / kWh neto (constantes 2004)

- Inversión recurrente anual: 20 M€ / año / 1000 MW
- Coste segunda parte ciclo combustible: 0,2 c€ / kWh producido

**≈ 15 €/MWh estable a largo plazo**

## La producción de las CC. NN. EE. supone (I)

- **En la Unión Europea:**
  - 33% de la electricidad consumida, equivalente a
  - 4 M barriles/día (dos veces la producción anual de Kuwait)
  - 50.000 M€/año a 73.000 M€/año (35 €/bl a 50 €/bl)
- **En España:**
  - 20% de la electricidad consumida, equivalente a
  - 100 M barriles / año
  - **3.500 M€/año a 5.000 M€/año** (35 €/bl a 50 €/bl)

## La producción de las CC. NN. EE. supone (2)

- Evitar la emisión de **50 Mt CO<sub>2</sub>** cada año
  - Con un precio de 20 € / t CO<sub>2</sub>: **1000 M€ / año**
- **Compromisos del Protocolo de Kioto**
  - Año 1990: 285,69 Mt CO<sub>2</sub>    Periodo 2008-2012: +15%
  - Según PNA: +24% en periodo 2008-2012
    - +15%: 42,85 Mt CO<sub>2</sub> (PK)
    - +2%: 5,71 Mt CO<sub>2</sub> (sumideros)
    - +7%: 19,98 Mt CO<sub>2</sub> (compra derechos)
- Con un precio de 20 € / t CO<sub>2</sub>: 400 M€ / año

## La Industria Nuclear Española (I)

### Capacidades

- Suministro de equipos: 60 a 85% nacional
- Empresa de grandes componentes:
  - **ENSA:**
    - Vasijas de reactor
    - Generadores de Vapor
    - Presionadores
    - Racks piscinas combustible gastado
    - Contenedores de combustible
- Empresa de combustible:
  - **ENUSA:**
    - PWR
    - BWR
    - Barras de gadolinio
    - Alemania
    - Bélgica
    - Finlandia
    - Francia
    - Suecia

## La Industria Nuclear Española (2)

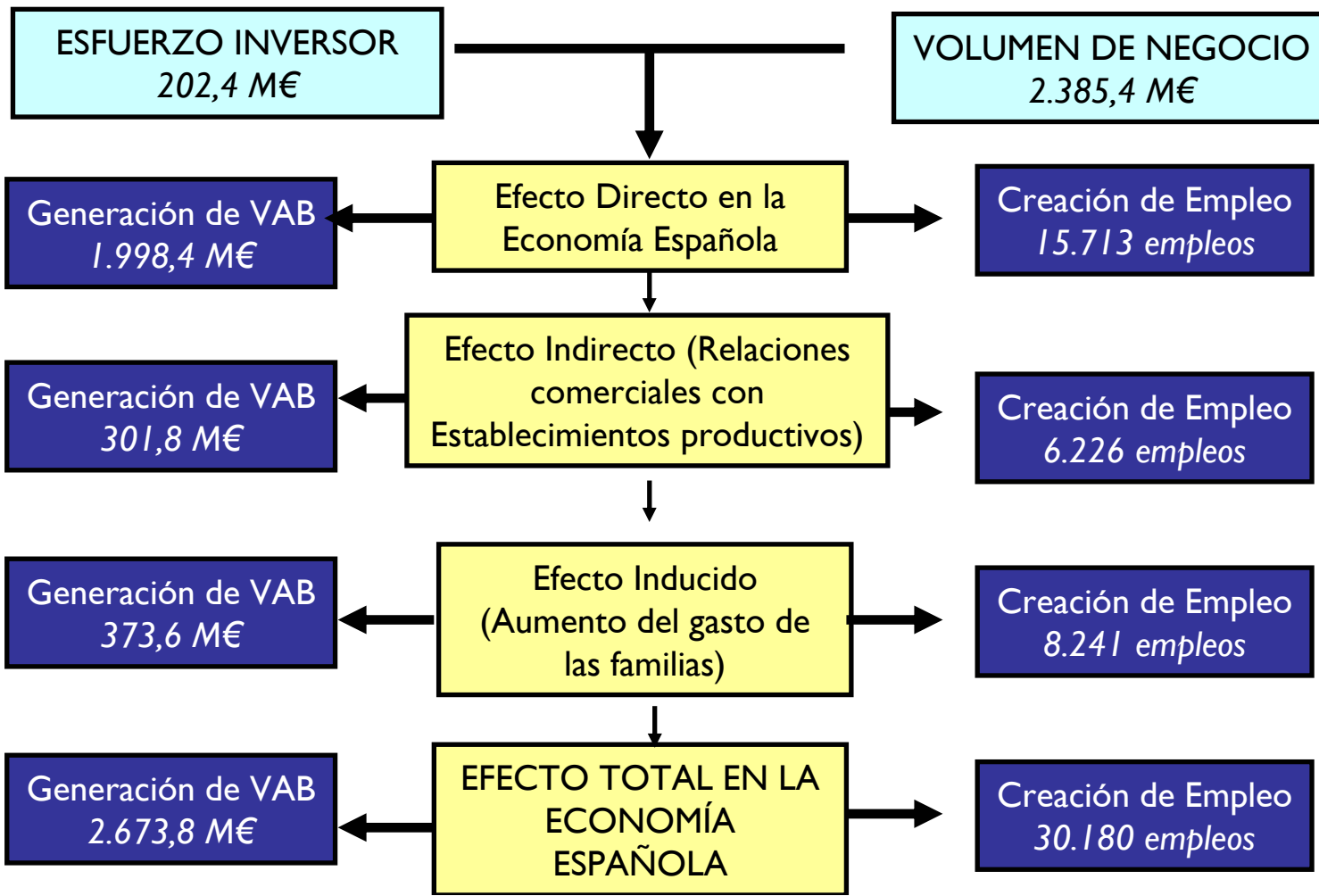
### Capacidades

- Otras empresas:
  - **Tecnatom:**
    - Formación y Simuladores
    - Inspección en servicio
    - Ensayos no destructivos
  - **Inabensa:**
    - Equipos eléctricos
    - Salas de control
    - Instrumentación
  - **Empresarios Agrupados**
  - **Iberinco**
  - **Initec**
  - **Soluziona**
- Central de Lungmen:  $\approx$  60 millones de euros (GEE-Taiwan)

## La Industria Nuclear Española (3)

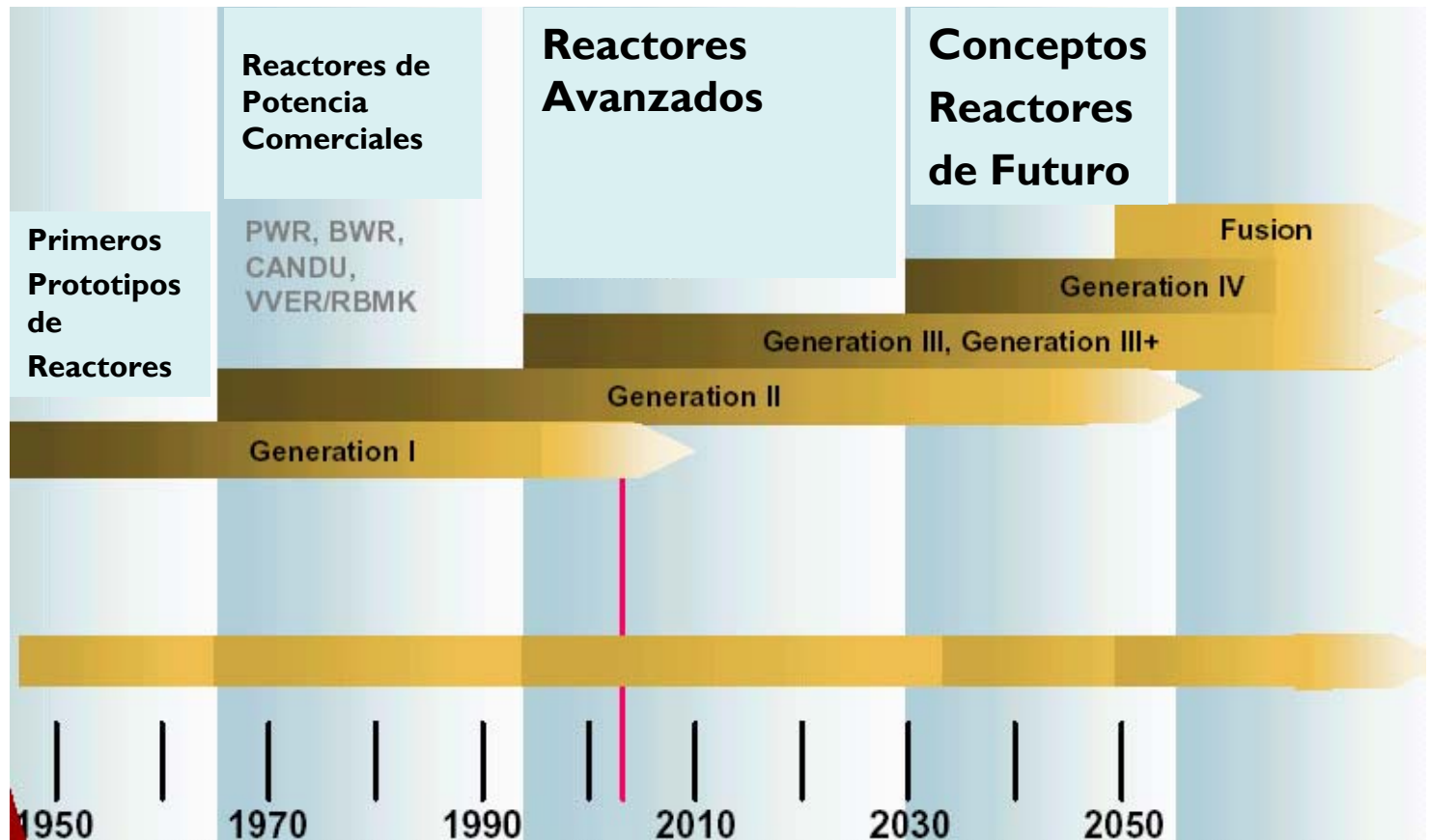
### Aportación al sistema socioeconómico

 Científicos por el medio ambiente



## Evolución de la Energía Nuclear

Científicos por el medio ambiente



## Centrales Nucleares del Futuro (I)

- **TERCERA GENERACIÓN - Centrales Nucleares Avanzadas**
  - Simplicidad: reducción de sistemas y construcción por módulos
  - Conceptos Evolutivos y Conceptos Pasivos
  - Programa Europeo EUR (European Utilities Requirements)
    - EPR de Framatome ANP (evolutivo de agua a presión)
    - EPP de BNFL - W (pasivo de agua a presión)
    - BWR90 de BNFL - W (pasivo de agua en ebullición)
    - ABWR de GE (avanzado de agua en ebullición)
    - SWR1000 de Framatome ANP (avanzado de agua en ebullición)
  - Diseños licenciados por la NRC en USA
    - System 80+ BNFL - W (evolutivo de agua a presión)
    - ABWR de GE (evolutivo de agua en ebullición)
    - AP-600 de BNFL - W (pasivo de agua a presión)
    - AP-1000 de BNFL - W (pasivo de agua a presión)

## Centrales Nucleares del Futuro (2)

### • **GENERACIÓN IV**

– Programa para el desarrollo y demostración de uno o más nuevos sistemas nucleares, utilizables comercialmente hacia 2030, y que ofrecen ventajas en los campos de sostenibilidad, economía, seguridad y fiabilidad, no proliferación y protección física

– Sistemas

- SFR - Reactor rápido refrigerado por sodio
- LFR - Reactor rápido refrigerado por aleación de plomo
- GFR - Reactor rápido refrigerado por gas
- VHTR - Reactor de muy alta temperatura
- SCWR - Reactor supercrítico refrigerado por agua
- MSR - Reactor de sales fundidas

### • **Programa INPRO del OIEA**

– International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles

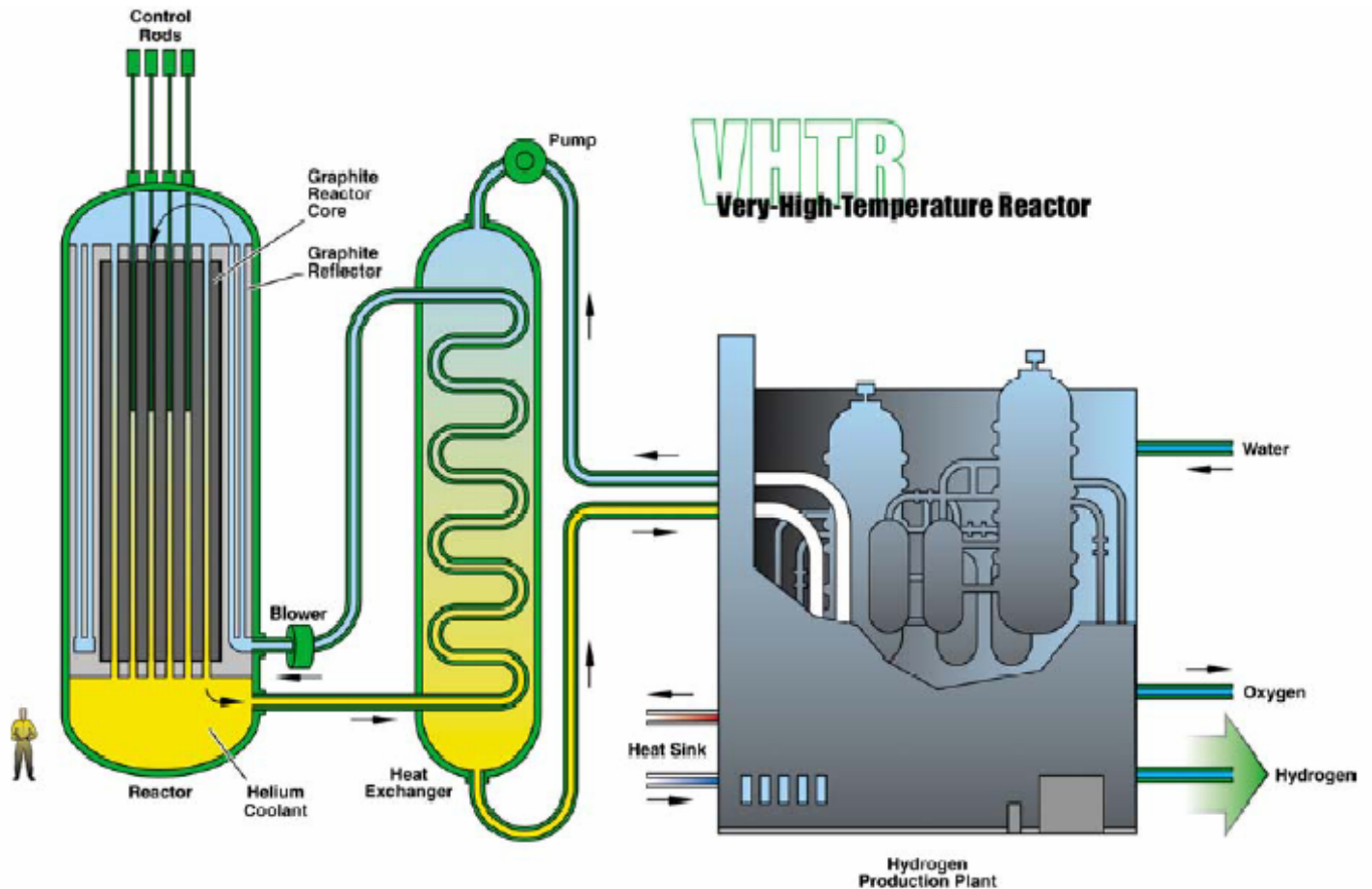
– El objetivo principal es la utilización segura, sostenible, económica y no proliferante de la tecnología nuclear para satisfacer las necesidades energéticas globales en el siglo XXI

## Energía Nuclear y la economía del H<sub>2</sub> (I)

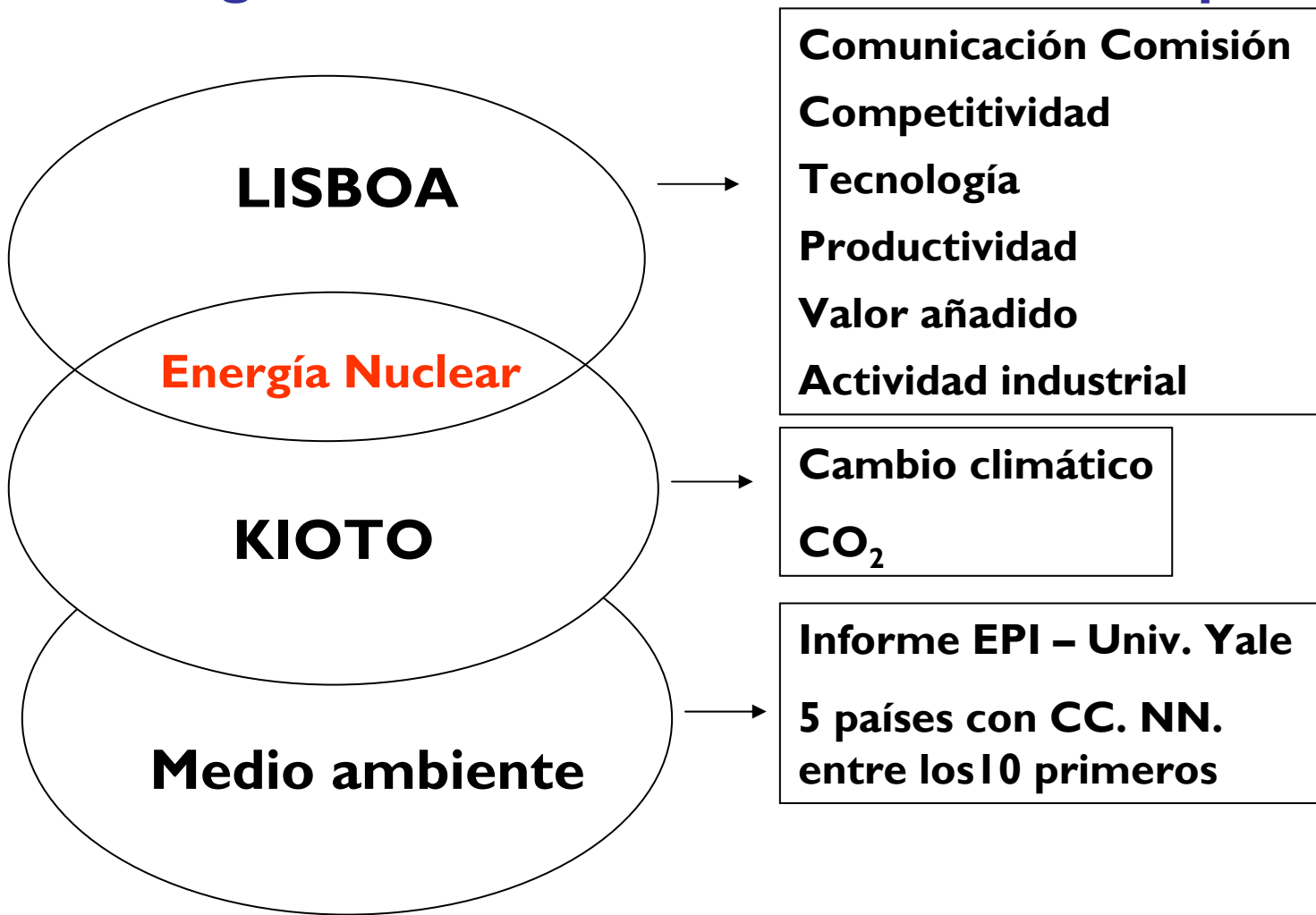
**El hidrógeno puede utilizarse como “portador” de energía, sin emitir gases contaminantes ni residuos tóxicos**

- **Utilización:** celdas o pilas de combustible
- **Obtención**
  - actualmente: reformado del gas natural
  - electrolisis del agua utilizando electricidad
  - craqueo del agua: proceso termoquímico a alta temperatura
- **Futuro en etapas progresivas**
  - inicialmente: uso en automoción con H<sub>2</sub> por reformado de GN
  - progresiva creación de infraestructuras de producción de H<sub>2</sub> por electrolisis
  - perfeccionamiento de infraestructuras de producción de H<sub>2</sub> por craqueo: reactores nucleares de alta temperatura

## Energía Nuclear y la economía del H<sub>2</sub> (II)



## Estrategias fundamentales de la Unión Europea



## ¿Qué están haciendo otros países?

- **EUROPA**

- Finlandia: construcción 5º reactor
- Francia: construcción reactor adicional
- Suiza: referéndum favorable
- Suecia: aumento de potencia y opinión pública favorable
- Reino Unido: reanálisis de la opción nuclear
- Rusia: programa 15 nuevos reactores en 10 años

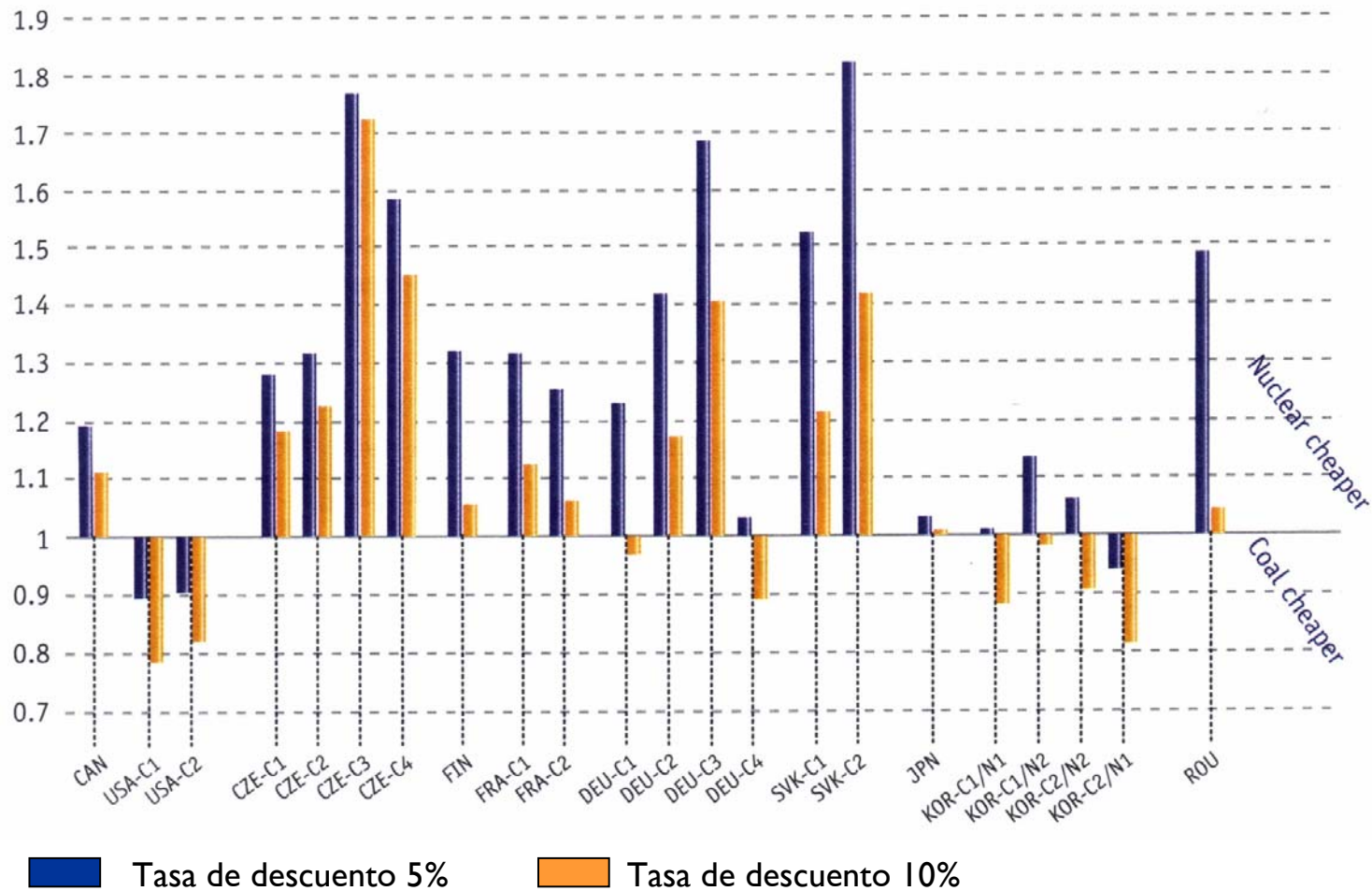
- **ASIA**

- China + India: 60 nuevos reactores en 15 años

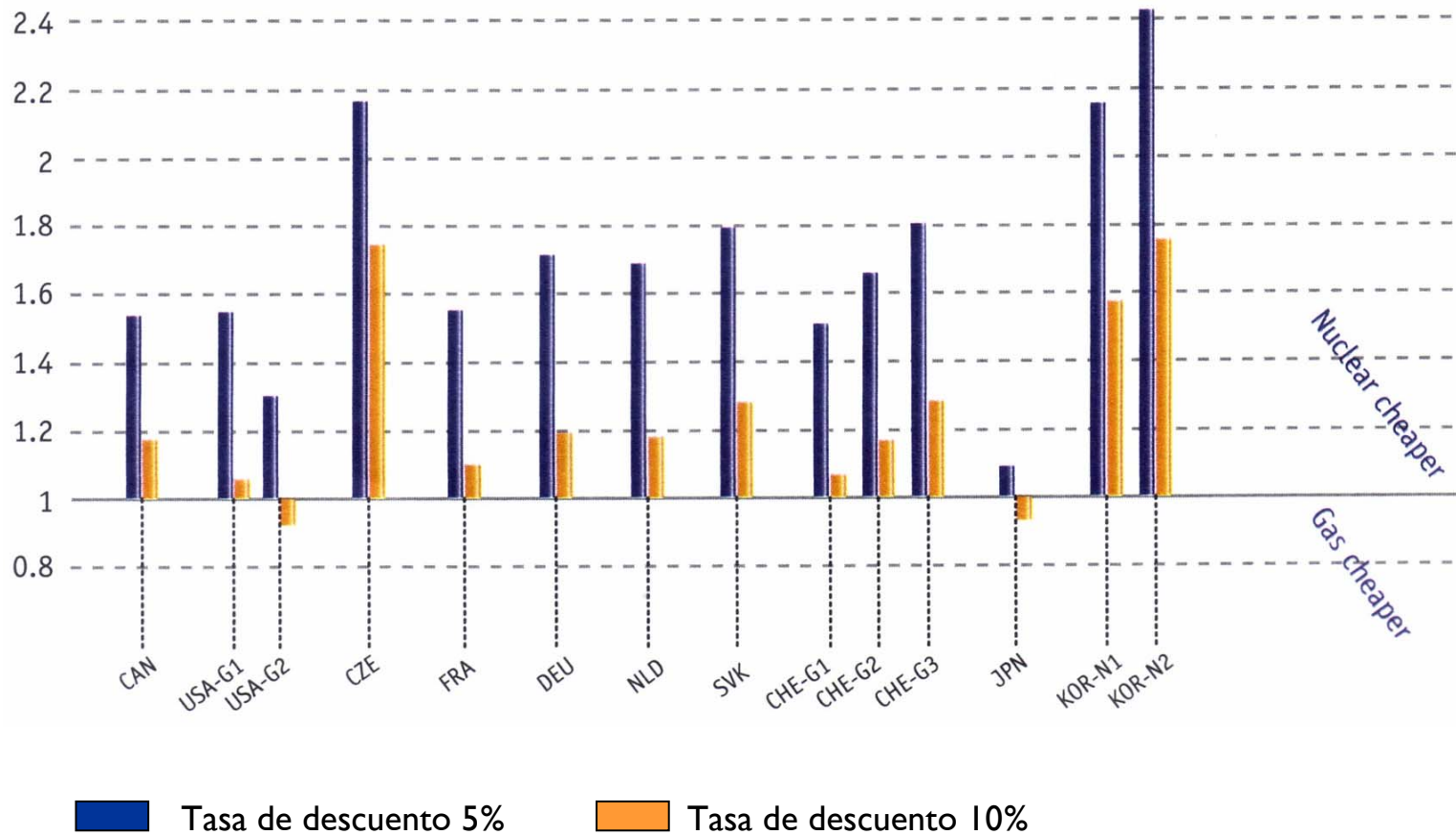
- **ESTADOS UNIDOS**

- Nueva ley de energía 2005
- Previsión 10 nuevos reactores en 2015

## Ratios de coste para CC. NN. y de Carbón



## Ratios de coste para CC. NN. y de Gas



## Estudios de costes internacionales

	MIT (1)	PIU (2)	Chicago (3)	RAE (4)	DGEMP (5)	Tarjanne (6)	OCDE (7)
<b>Coste de generación (p/kWh)</b>	3,9 - 4,0 (7)	3,0 - 4,0	3,1 - 3,6 (8)	2,26 - 2,44	2,0 (9)	1,7 (9)	1,3 - 1,9 1,8 - 3,0
<b>Tasas de retorno (%)</b>	11,5 (10)	8 & 15	12,5 (10)	7,5	8	5	5 10
<b>Coste de inversión /KW</b>	2000 \$ 1150 £	2000 \$ 1150 £	1500 \$ 865 £ (7)	2000 \$ 1150 £	1.413 € 990 £ (9)	1900 \$ 1330 £ (9)	1000 - 2000 \$ 610 - 1210 £
<b>Factor de carga</b>	85%	75 - 80 %	0,85	> 90 %	> 90 %	> 90 %	85%
<b>Plazo de amortización (años) (11)</b>	15	20	15	25 & 40	35 - 50	40	40
<b>Plazo de construcción (años)</b>	5	Sin definir	5 a 7	5	5	5	4 a 6

(1) Informe MIT: The future of nuclear power (año 2003)

(2) Informe del Performance and Innovation Unit (PIU) del Reino Unido: The economics of nuclear power (año 2002)

(3) Informe de la University of Chicago: The economic future of nuclear power (año 2004)

(4) Royal Academy of Engineering del Reino Unido: The cost of generating electricity (año 2004)

(5) General Directorate for Energy and Raw Materials of the French Ministry of the Economy, Finance and Industry (año 2003)

(6) Tarjanne. Lappeenranta University of Technology. Finlandia (año 2003)

(7) Informe OCDE: Projected costs of generating electricity (2005 updated) conversión 1 £ = 1,6503 \$ (año 2005)

(8) basado en 1 £ = 1,734 \$ (tasa de cambio usada en el informe del RAE)

(9) basado en 1 € = 0,7 £ (Bloomberg 10 de marzo de 2005)

(10) basado en coste de capital nivelado medio

(11) periodo de depreciación/amortización

## Estructura del coste de producción

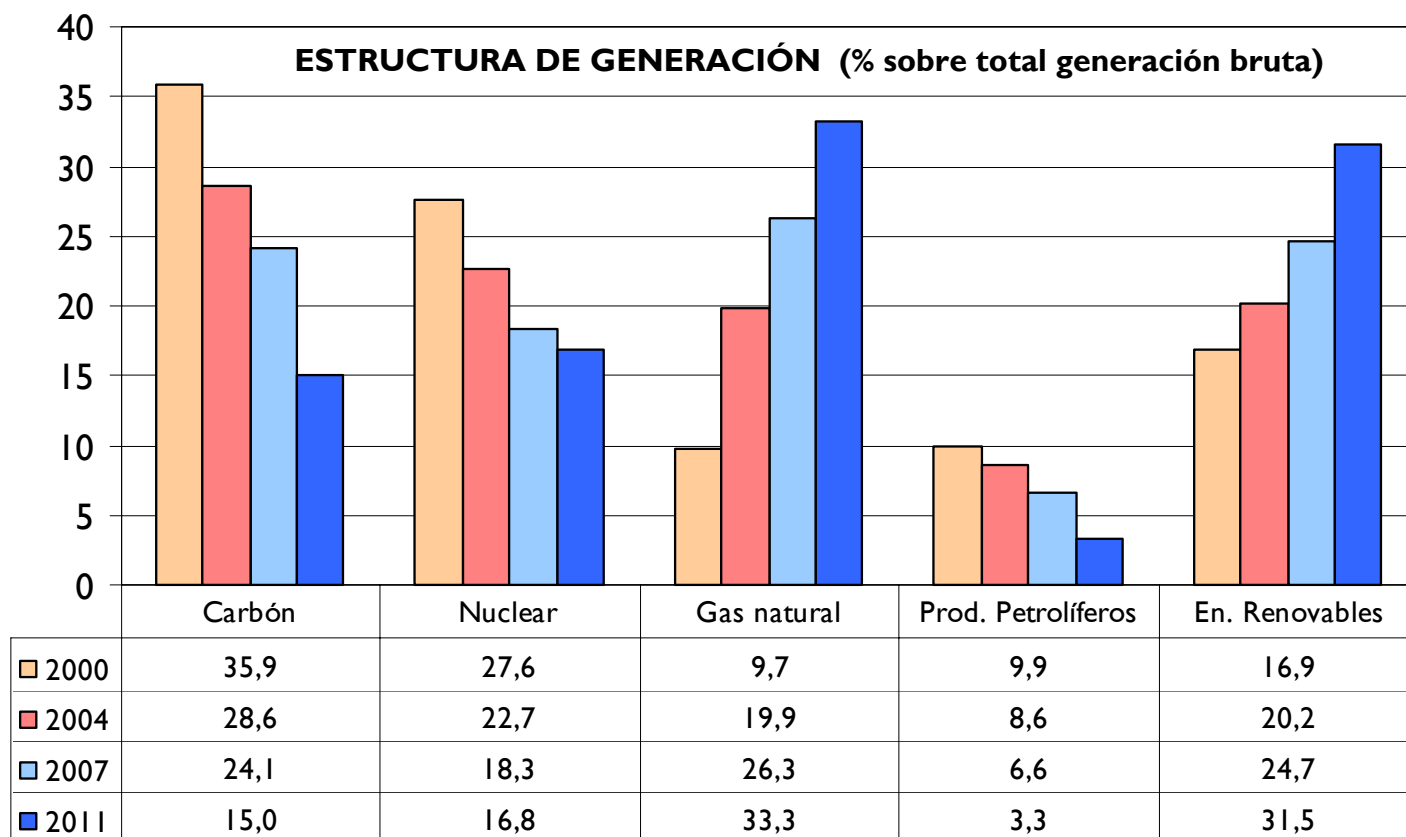
	<b>NUCLEAR</b>	<b>CARBÓN</b>	<b>GAS</b>
<b>Inversión</b>	55 - 75	25 - 35	10 -20
<b>O &amp; M</b>	10 - 20	15 - 25	~ 10
<b>Combustible</b>	15 - 25	40 - 60	70 - 80

Datos en porcentaje

Fuente: NEA/OCDE

## Situación en España ante el periodo 2011-2025 (I)

- Hasta el año 2011 el escenario está definido (Plan de Infraestructuras – octubre 2005)
- 2005 – 2011: población 47 millones de habitantes



## Situación en España ante el periodo 2011-2025 (2)

- Aumento de la demanda eléctrica: con incrementos de un 3% anual, se requieren 10.000 GWh anuales adicionales, que pueden ser cubiertos con
  - 1.300 MW nucleares funcionando 7.500 horas / año
  - ó 1.300 MW carbón funcionando 7.500 horas / año
  - ó 4.500 MW eólicos funcionando 2.000 horas / año
  - ó 2.000 MW ciclos combinados funcionando 5.000 horas / año
- Garantía de suministro: según el Libro Verde de la UE sobre abastecimiento energético, las importaciones totales de productos energéticos

	Actual	Año 2030
Unión Europea	50 %	70 %
España	80 %	?

En España, el 50% de la producción de energía eléctrica se realiza con materias primas energéticas importadas

## Situación en España ante el periodo 2011-2025 (3)

- Problemática de costes
  - el coste de las energías renovables adicionales sería elevado
  - los combustibles fósiles estarán sujetos a un mercado de difícil predicción
  - la opción nuclear ayuda a la estabilidad de precios
- Problemática medioambiental: cambio climático y reducción de gases de efecto invernadero
  - el aumento de energía nuclear y de renovables ayuda a cumplir el Protocolo de Kioto
  - el aumento de combustibles fósiles dificulta su cumplimiento

## El sistema eléctrico en España (I)

### Déficit de tarifa

Precio medio del Pool 2005  $\approx 55$  € / kWh

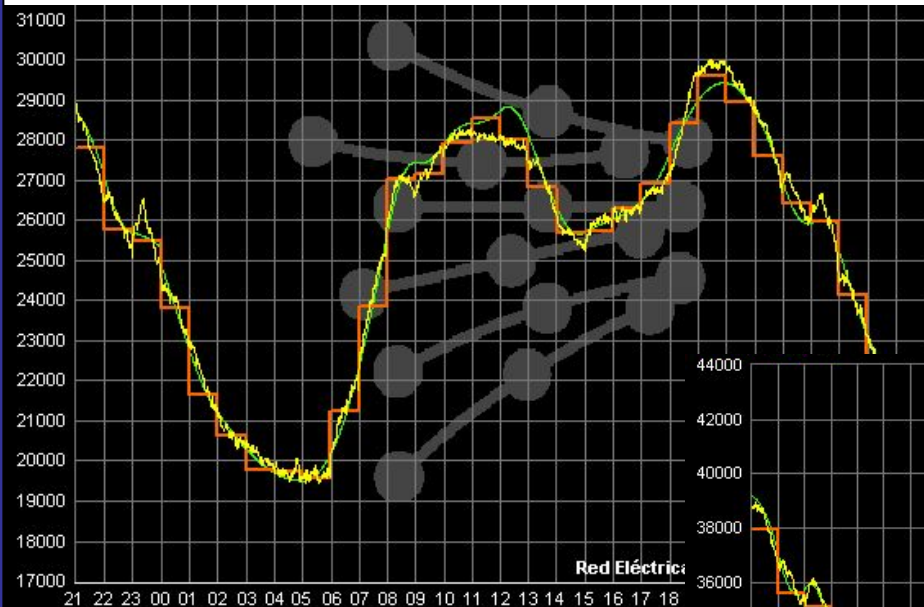
Precio medio del Pool 2004  $\approx 28$  € / kWh

- Incremento de la demanda
- Falta de agua
- Necesidad de combustibles caros

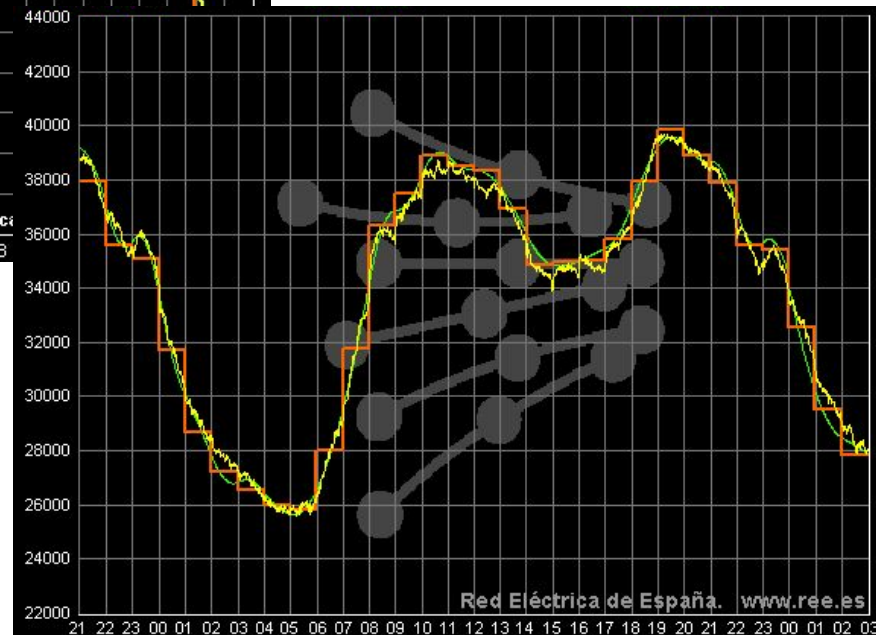
**DÉFICIT Año 2005  $\approx 3500$  M€**

**Este déficit es estructural si los precios de los combustibles fósiles se mantienen altos**

## El sistema eléctrico en España (2) Curva de carga diaria



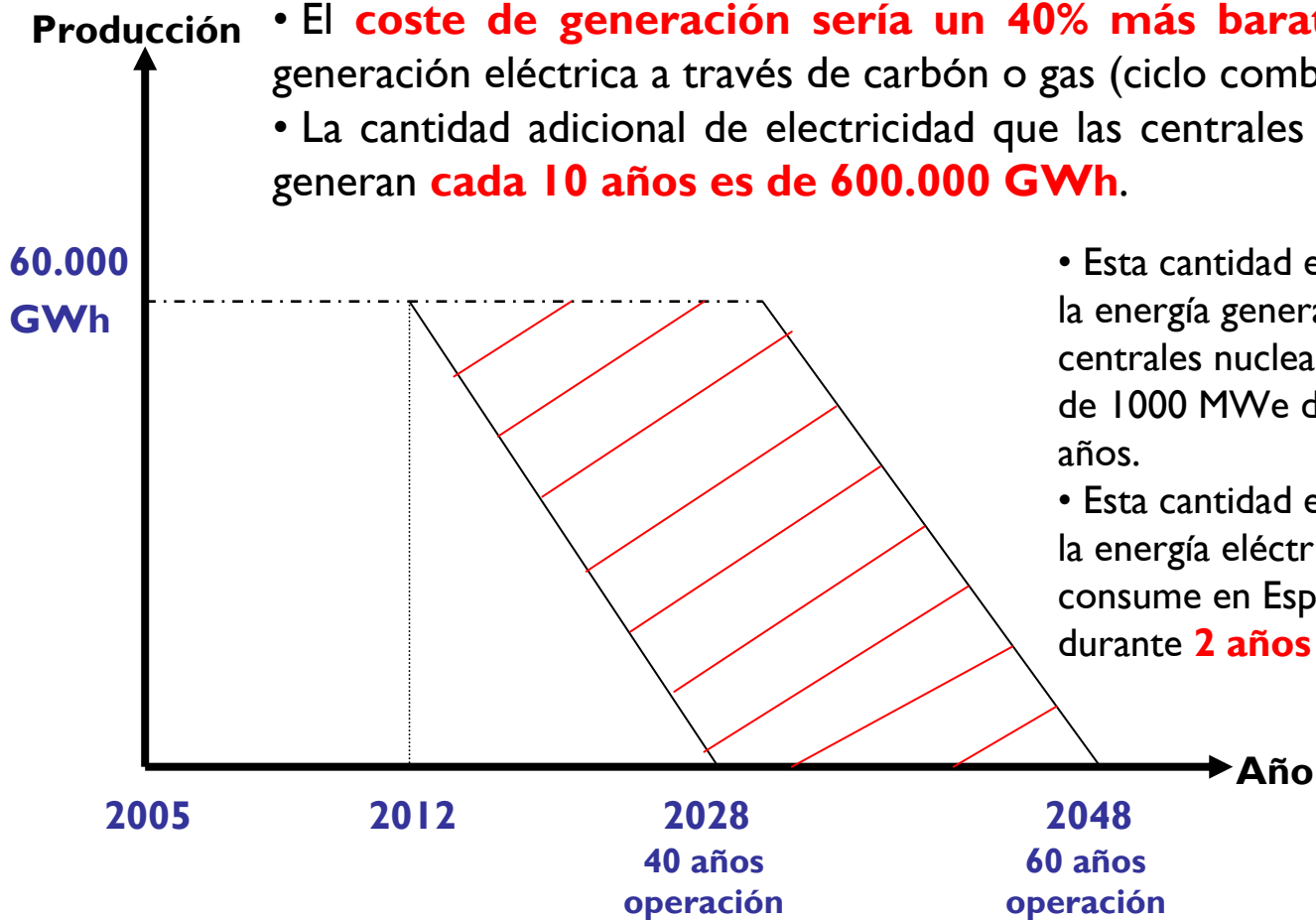
**Jueves 25/01/2001**



**Jueves 26/01/2006**

## Operación a largo plazo de las CC. NN. EE.

- La energía adicional generada por las nucleares españolas evitaría la **emisión de 50 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> / año**.
- El **coste de generación sería un 40% más barato** que la generación eléctrica a través de carbón o gas (ciclo combinado).
- La cantidad adicional de electricidad que las centrales nucleares generan **cada 10 años es de 600.000 GWh**.



- Esta cantidad equivale a la energía generada por 2 centrales nucleares nuevas de 1000 MWe durante 40 años.
- Esta cantidad equivale a la energía eléctrica que se consume en España durante **2 años y medio**.

## Condiciones de un posible escenario en España

- Incremento de la demanda eléctrica 3% anual
- Freno emisiones de CO<sub>2</sub>
- Energía eléctrica de base estable y barata ⇒ llevar la energía nuclear al 35% de la producción eléctrica anual



**Construir 15.000 MW nucleares entre 2008 y 2020,** lo que consigue 120.000 TWh anuales con un coste en el entorno de 40 €/MWh, evitando emisiones de CO<sub>2</sub>:

- 60 M t CO<sub>2</sub> frente a gas
- 120 M t CO<sub>2</sub> frente a carbón

## Escenario construcción 15.000 MW en España (I)

	<b>GAS</b>	<b>NUCLEAR</b>
Coste de Inversión (€ / kW)	450	2000
Participación nacional (Inv. Mat.) (%)	40 - 65	60 - 85
Coste (€ / kWh)	0,045	0,045
Combustible (% del coste kWh)	88	8

## Escenario construcción 15.000 MW en España (2)

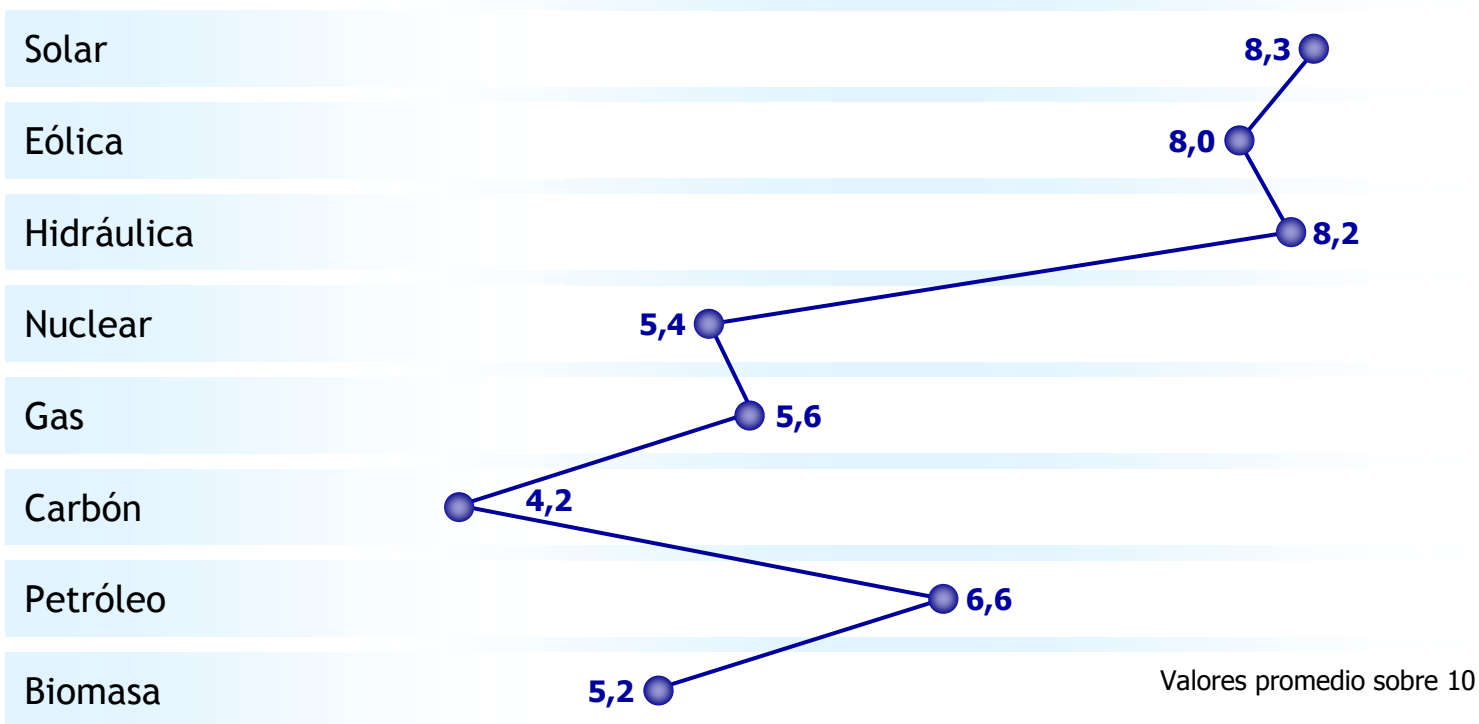
	<b>GAS</b>		<b>NUCLEAR</b>	
<b>Inversión inicial (M €)</b>	6750		30000	
<b>Participación nacional (M €)</b>	3037 - 4387		18000 - 25500	
Ingeniería y servicios (M €)	(5%)	337	(8,5%)	2550
Bienes de equipo (M €)	(16%)	1080	(36%)	10800
Construcción (M €)	(24%)	1620	(32%)	9600
Otros costes (M €)	(10%)	675	(10%)	3000
<b>Pagos al sector exterior</b>				
Inversión inicial (M €)	(45%)	3037	(13,5%)	4050
Combustible – 7500 h/año (M€/año)	4500		256	
<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> (Mt / año)</b>	60		-	

## Escenario construcción 15.000 MW en España (3)

- Apoyo al desarrollo industrial
  - consolidación bienes de equipo
  - producción otros sectores industriales
- Tecnologías avanzadas: materiales, instrumentación y control, simulación
- Soportar programas de I+D+i
- Consolidación capital humano
  - alta cualificación
  - 50.000 – 80.000 personas
- Enlazar con tecnologías de futuro – Generación IV – ITER
- Participación en mercados internacionales

## La opinión pública (I)

**“¿Dígame que importancia cree Ud. que tienen actualmente las fuentes de energía que le voy a decir en la producción de electricidad en España?”**



Base: Todos (300 casos)

## La opinión pública (2)

“¿Qué se debe hacer con las centrales nucleares?”

Cerrar todas las centrales  
y optar por otro tipo de energía

44

**Alargar** la vida, aplazando la  
decisión sobre las mismas hasta  
disponer de información  
sobre su viabilidad y seguridad

36

**Mantener** las centrales actuales  
hasta que se agote su vida útil,  
y no abrir nuevas centrales

15

**Construir** nuevas centrales,  
para cuando se agote  
la vida útil de las actuales

3

54

No contesta

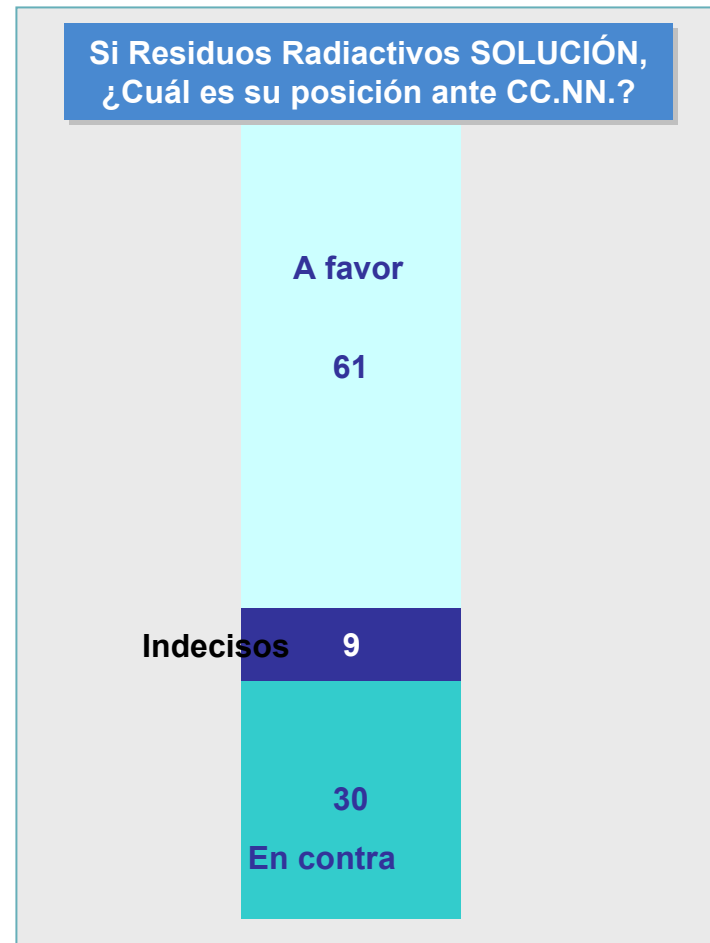
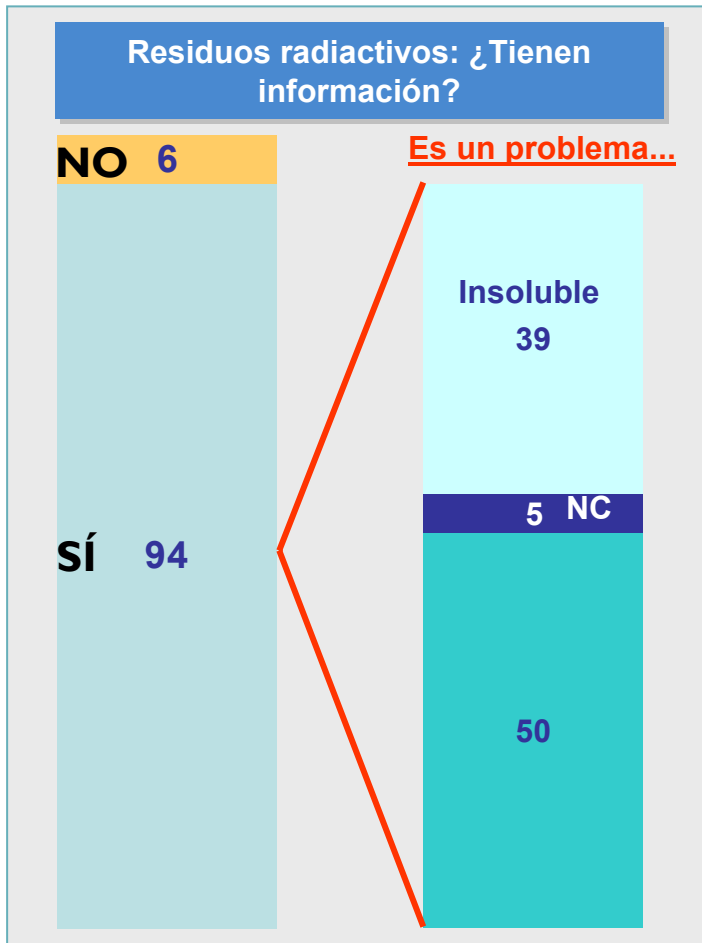
2

0%

25%

50%

## La opinión pública (3)



Fuente: Estudio Sociológico - Foro Nuclear - Diciembre 2004

## Conclusiones Generales (I)

- El futuro energético está sujeto a grandes incertidumbres
  - Incremento del consumo
  - Emisiones de CO<sub>2</sub>
  - Precio de los combustibles fósiles
  - Dificultad en la garantía del suministro
- La dependencia energética española amenaza nuestra economía y estabilidad
- España necesita fuentes que ayuden a abordar estos retos
- Necesidad del desarrollo tecnológico - I+D
  - Sumideros de CO<sub>2</sub>
  - Energías renovables
  - Energía Nuclear
  - Economía del hidrógeno

## Conclusiones Generales (2)

- Abordar los retos energéticos requiere una planificación a largo plazo por su impacto en el modelo económico y social
- Todas las energías son necesarias para abordar una problemática compleja y sujeta a grandes incertidumbres

## Conclusiones Específicas (I)

- La energía nuclear es una tecnología fiable, segura y respetuosa con el medio ambiente, que está disponible
- Es intensiva en capital y se basa en el conocimiento y la tecnología
- El coste del kWh nuclear es estable a largo plazo. No emite CO<sub>2</sub>
- La energía nuclear apoya la competitividad de la economía española
- Las centrales nucleares deben mantenerse en operación siempre que mantengan los niveles de seguridad
- Es necesario mantener las capacidades en esta tecnología avanzada que nos permite estar presentes a nivel mundial

## Conclusiones Específicas (2)

- El desarrollo de un programa de construcción de centrales nucleares en España impulsaría la actividad económica en construcción, bienes de equipo y servicios
- La opinión pública española, crítica con la opción nuclear, necesita evolucionar para que la utilización continuada de la energía nuclear sea posible
  - abordar problemática de residuos
  - participación de agentes sociales
  - puesta al día de la legislación
- Es necesario un posicionamiento de los agentes económicos, sociales y políticos si queremos afrontar estos retos
- La economía española necesitará construir nuevas centrales nucleares (15.000 MW en los próximos 15 años)