

EL COMBUSTIBLE NUCLEAR

Proceso del Uranio desde la Mina a la Central Nuclear.

Colegio de Ingenieros Industriales de Barcelona



Germán G^a-Calderón

Director de Aprovisionamiento de Uranio

20 Noviembre, 2012



INDICE

- 1. El Ciclo del Combustible Nuclear**
- 2. Las Reservas de Uranio**
- 3. Efecto de Fukushima en la demanda**
- 4. El cambio de Paradigma**

1. El Ciclo del Combustible Nuclear

ENUSA Industrias Avanzadas, S.A.

**Fecha de constitución:
1972**



**Sociedad Estatal de
Participaciones Industriales**
(MINISTERIO DE ECONOMÍA Y
HACIENDA)

(60%)




(40%)


Ciemat

**Centro de Investigaciones Energéticas,
Medioambientales y Tecnológicas**
(MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN)

VENTAS: 300 M€



875 EMPLEADOS

ENUSA Industrias Avanzadas, S.A.

ACTIVIDADES



APROVISIONAMIENTO DE URANIO ENRIQUECIDO

INGENIERÍA Y FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLE

PROYECTOS MEDIOAMBIENTALES

DIVERSIFICACION

GESTIÓN DEL APROVISIONAMIENTO DE URANIO

ENUSA SE ENCARGA DE CONTRATAR:

- ✓ CONCENTRADOS
- ✓ CONVERSION
- ✓ ENRIQUECIMIENTO y
- ✓ Servicios Relacionados (Transporte, Seguros, . . .)

PARA EL SUMINISTRO DE URANIO ENRIQUECIDO A TODOS LOS
REACTORES NUCLEARES ESPAÑOLES

**ENUSA ES EL “POOL DE COMPRAS”
DE LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS ESPAÑOLAS**

FÁBRICA DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES (Salamanca)

PUESTA EN MARCHA: 1985

PRODUCTOS:

- * PASTILLAS UO_2+Gd
- * BARRAS COMBUSTIBLES
- * ELEMENTOS COMBUSTIBLES
- * PEQUEÑOS COMPONENTES (tapones)

LÍNEAS DE FABRICACIÓN:

- * 3 PARA COMBUSTIBLE PWR/BWR
- * 1 PARA BARRAS DE GADOLINIO

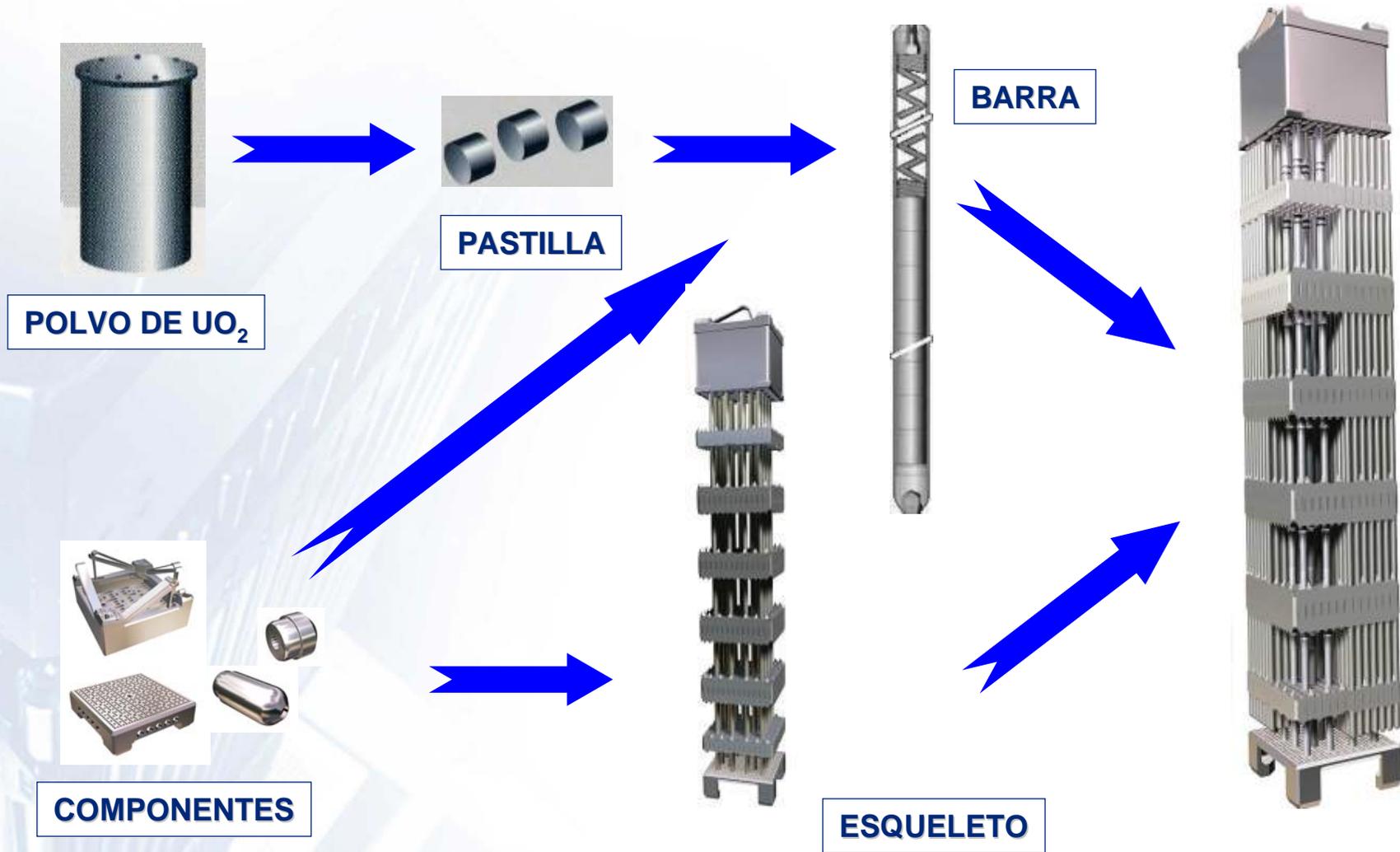
ENRIQUECIMIENTO AUTORIZADO: < 5 w/o U-235

CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN: 400 MTU/AÑO (*)

(*) En el 2010 se tendrá la licencia para 500 tU/año



FABRICACIÓN



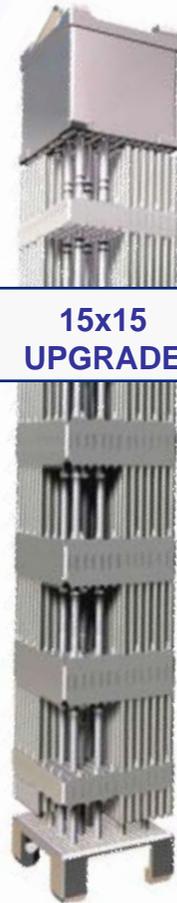
PRODUCTOS



GE14



GNF2



**15x15
UPGRADE**

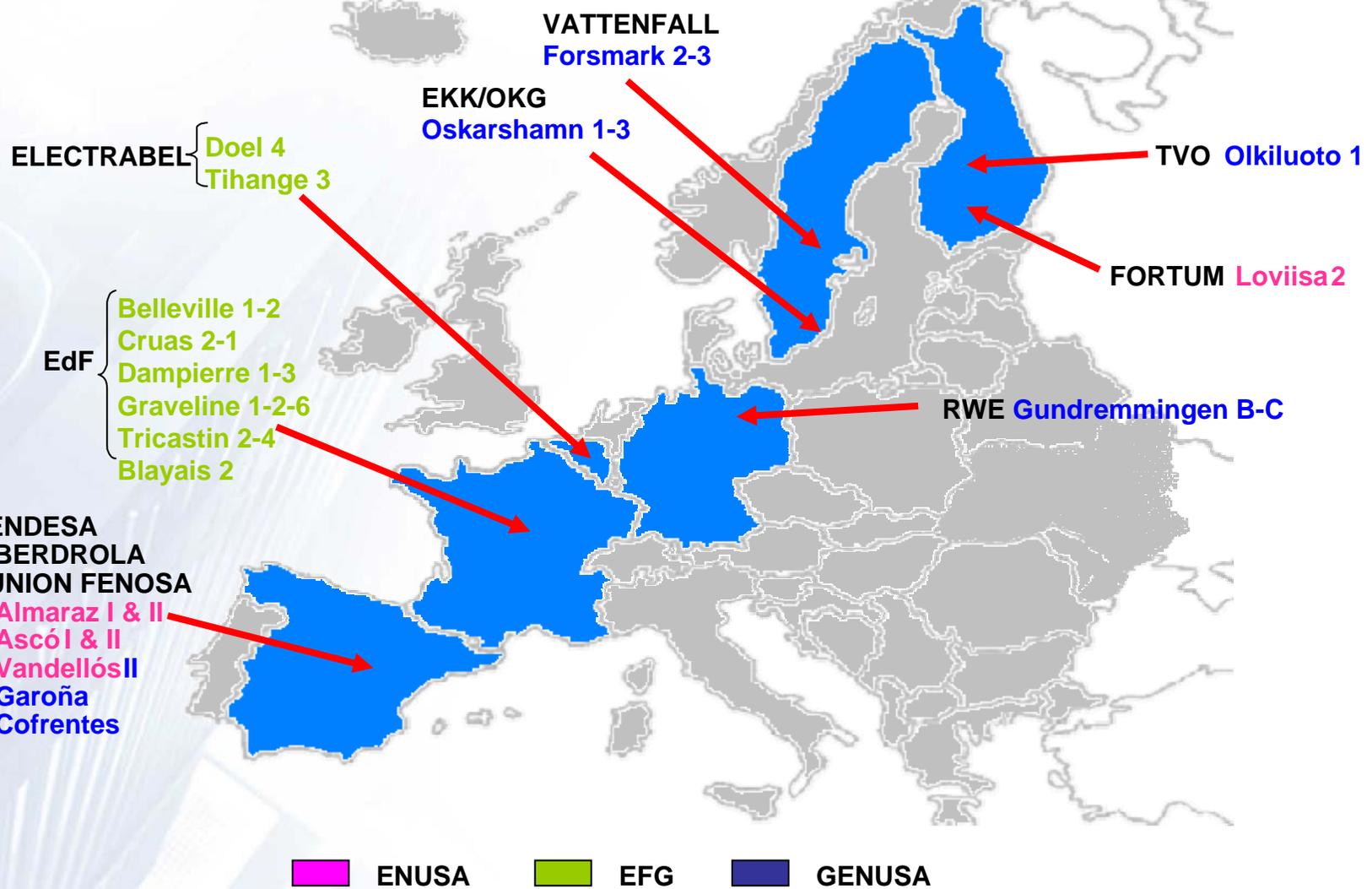


**17x17 MAEF-
XL/XLR**

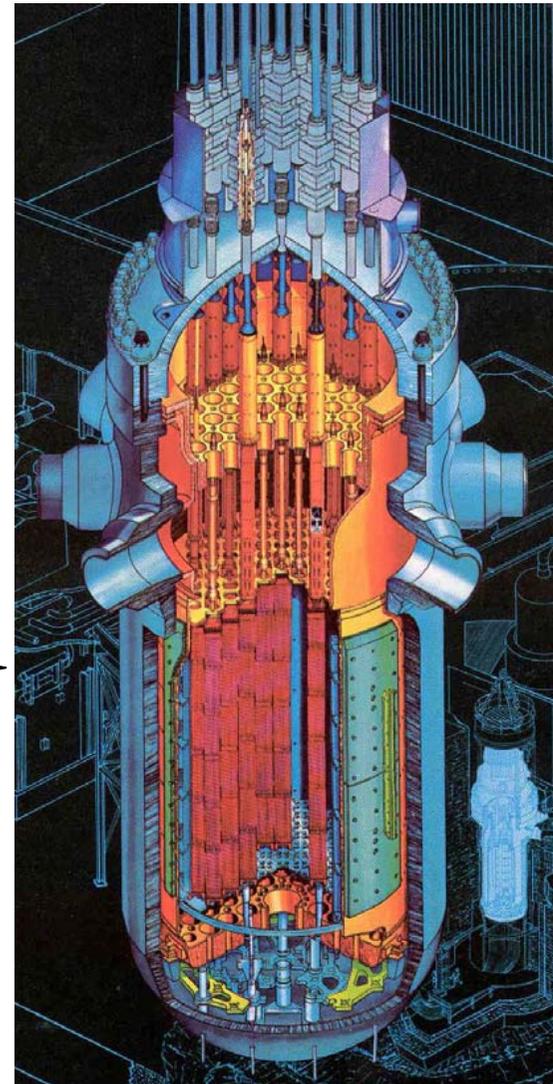
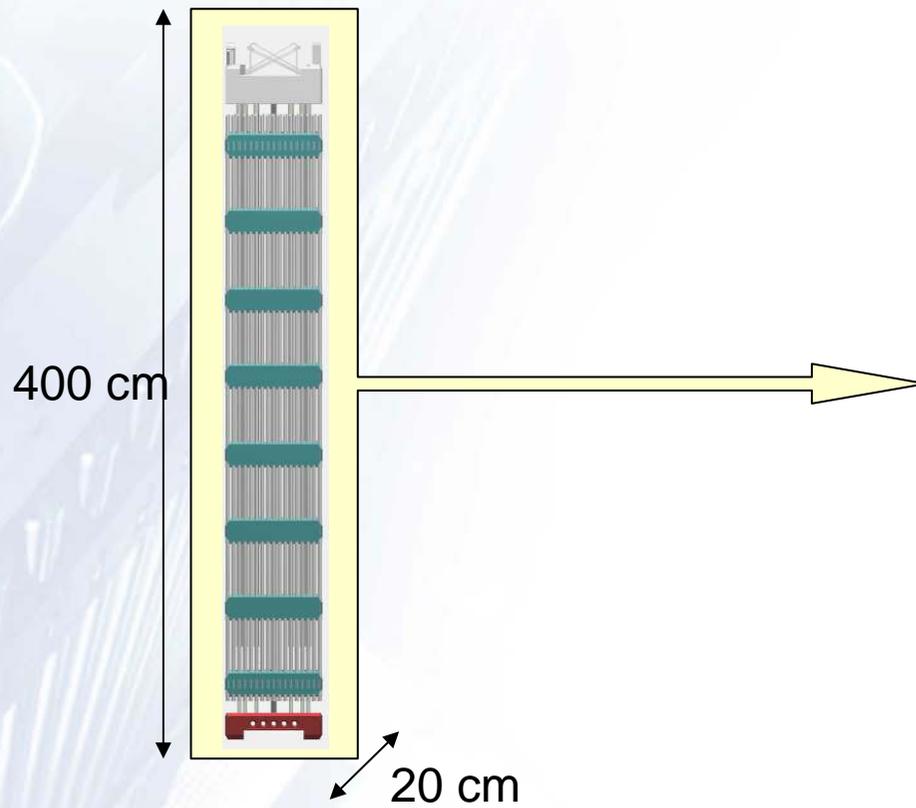


**VVE
R440**

CARTERA DE CLIENTES DE COMBUSTIBLE



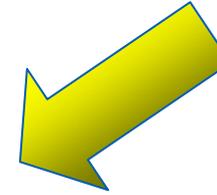
COMBUSTIBLE NUCLEAR



COMBUSTIBLE NUCLEAR



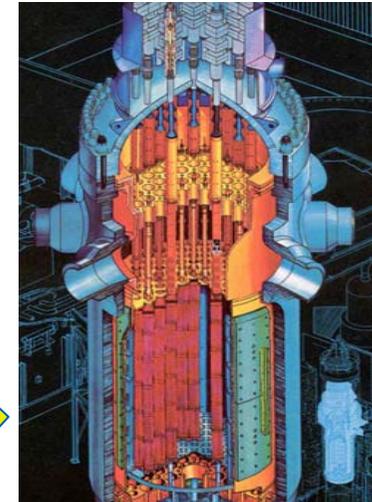
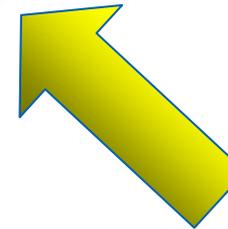
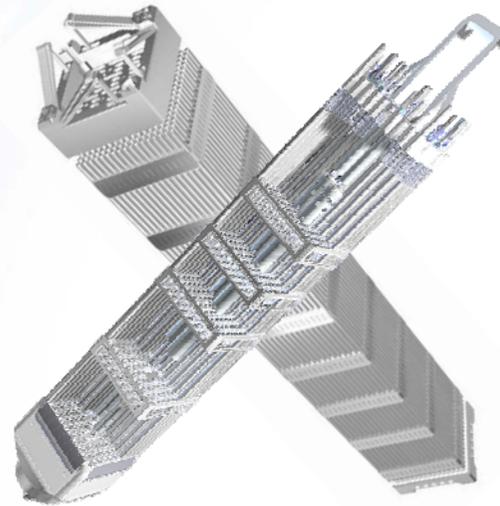
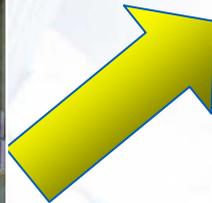
URANIO



TECNOLOGÍA

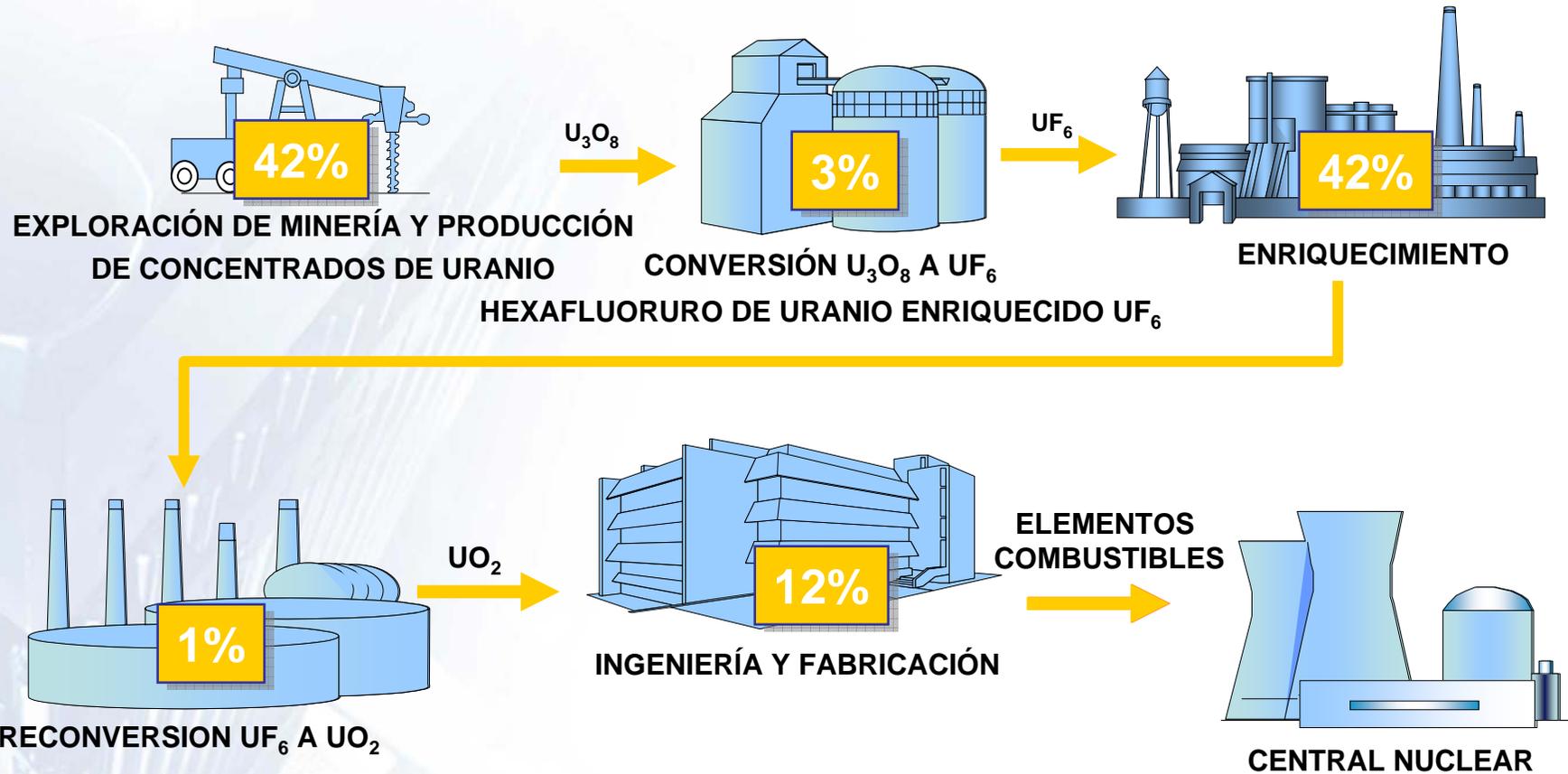


FABRICACIÓN



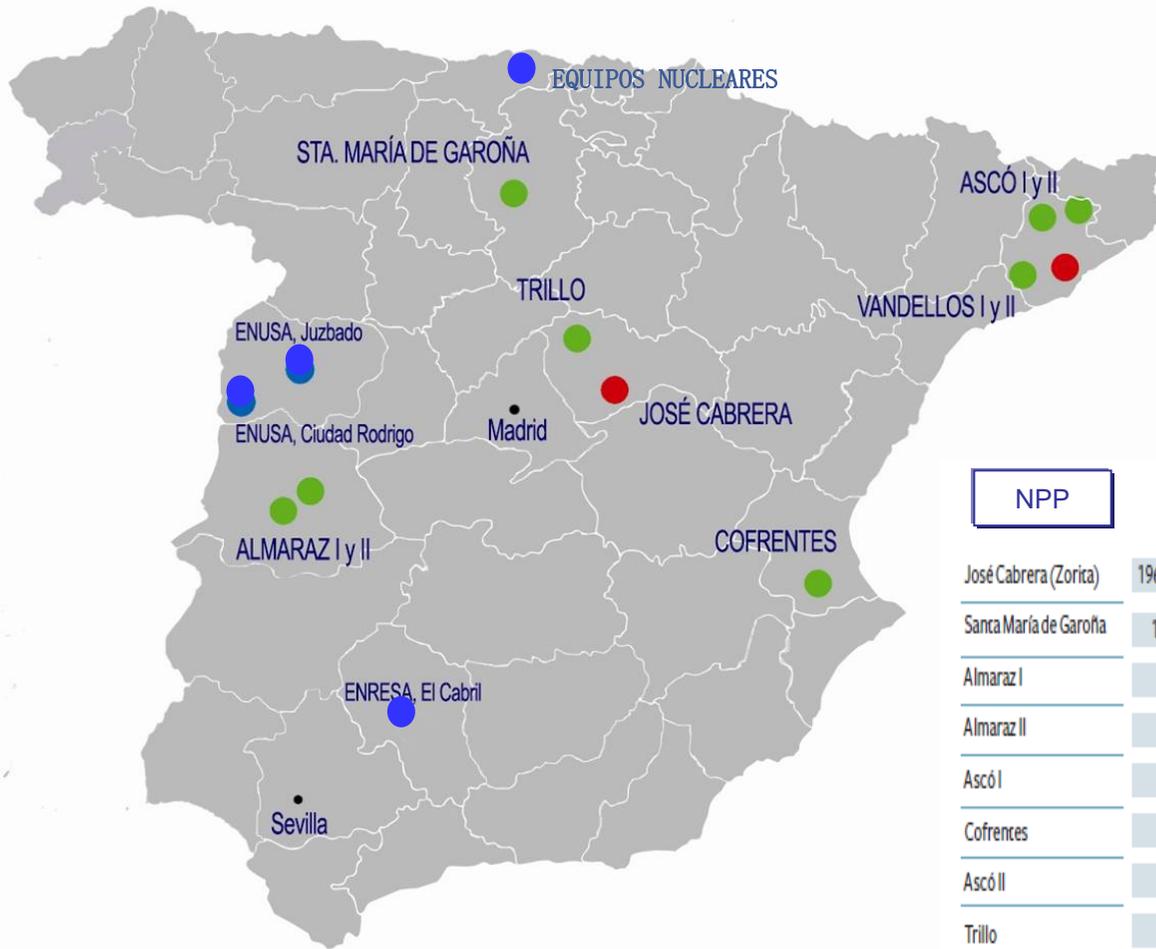
OPERACION

PRIMERA PARTE DEL CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR

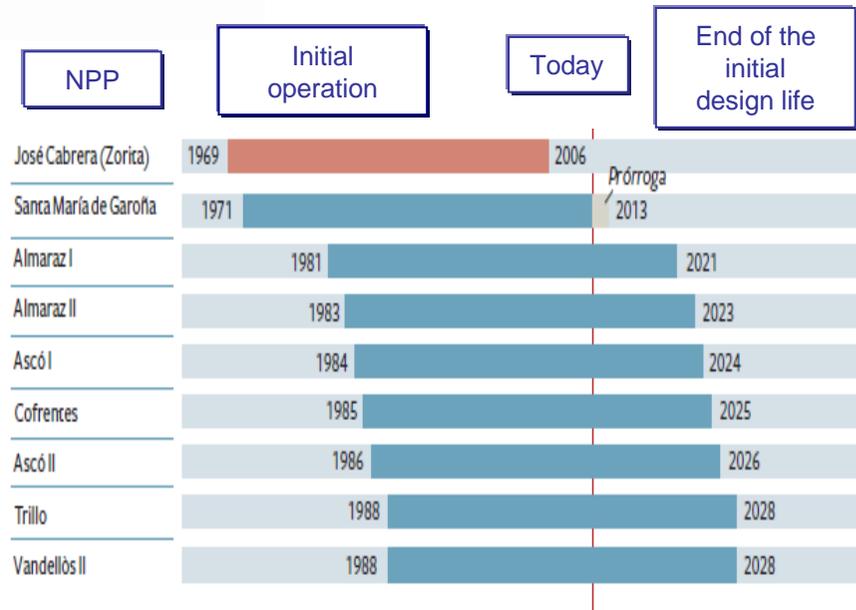


Se indica el % de coste de cada etapa del Ciclo sobre el valor final del Elemento Combustible

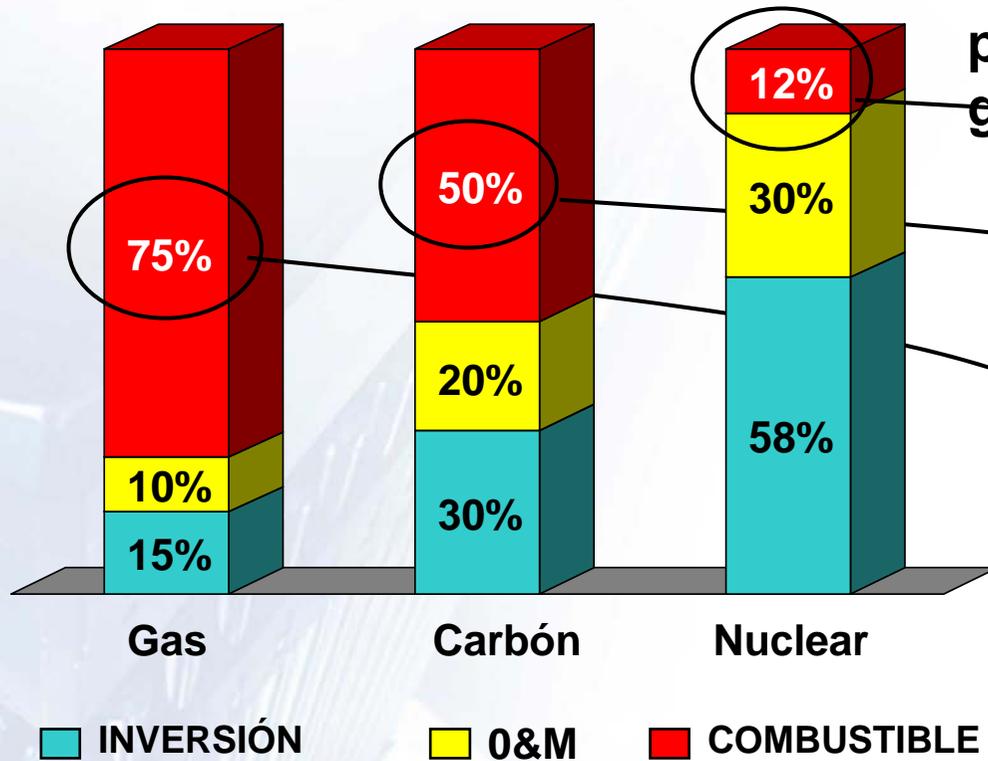
INSTALACIONES NUCLEARES EN ESPAÑA



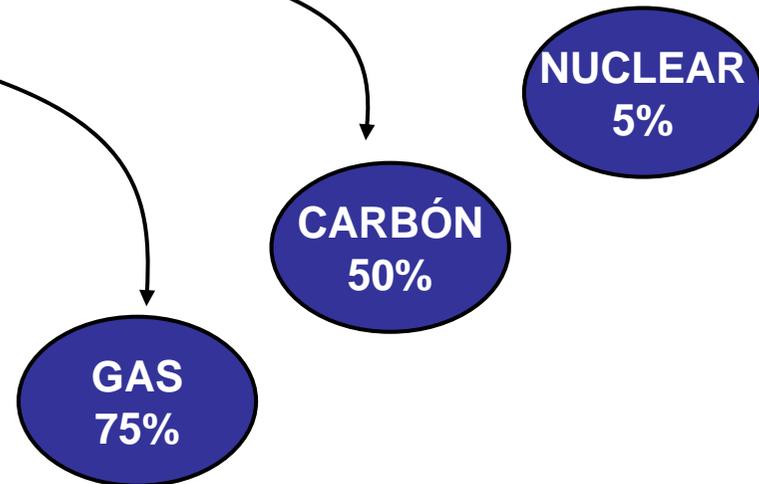
- NPPs in operation
- NPPs under decommissioning
- Other



COSTES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA



Si el precio de las materias primas se duplica el coste de generación se incrementa en :



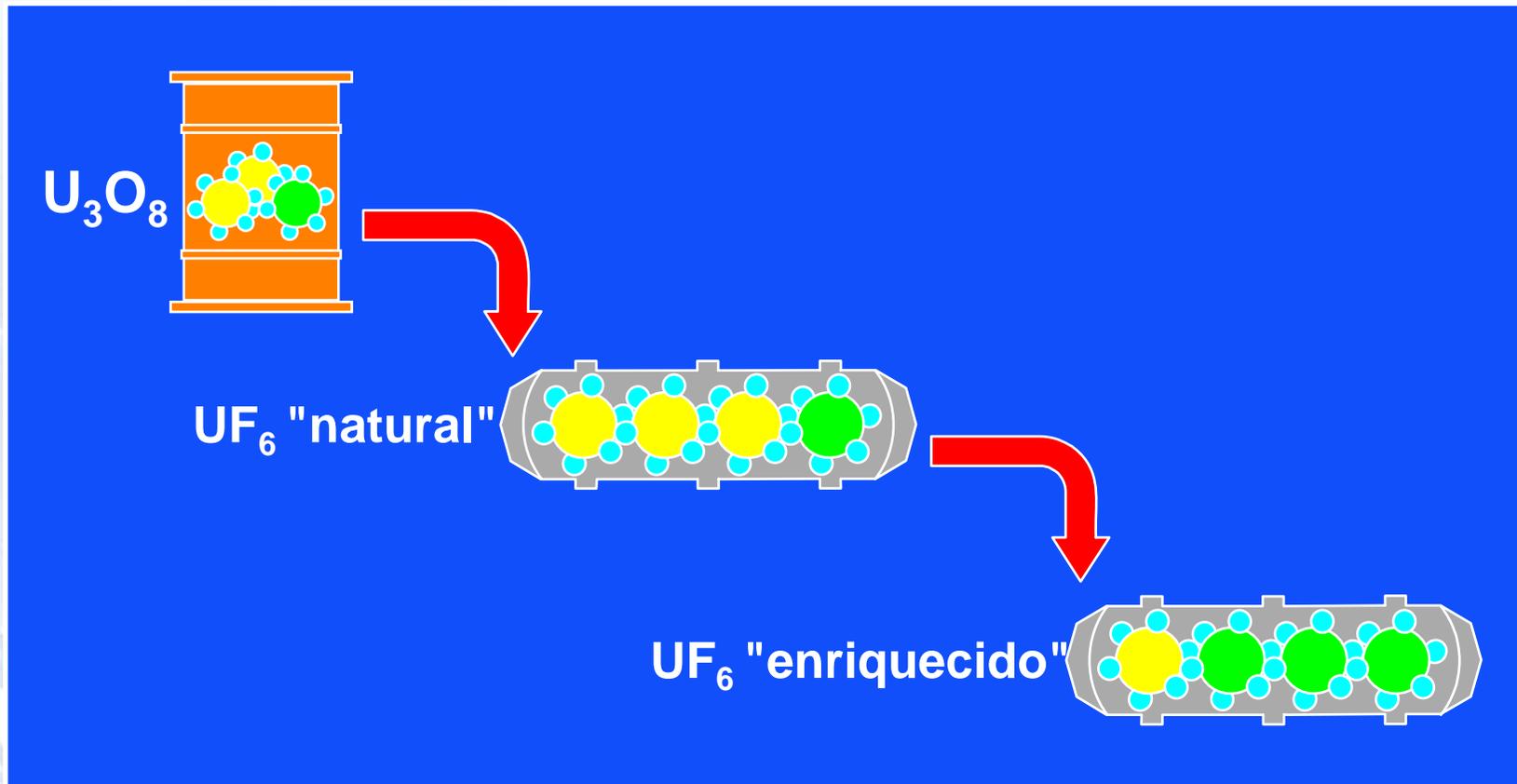
El combustible nuclear garantiza un coste de generación estable y predecible.

APROVISIONAMIENTO DE URANIO ENRIQUECIDO

CONCENTRADOS

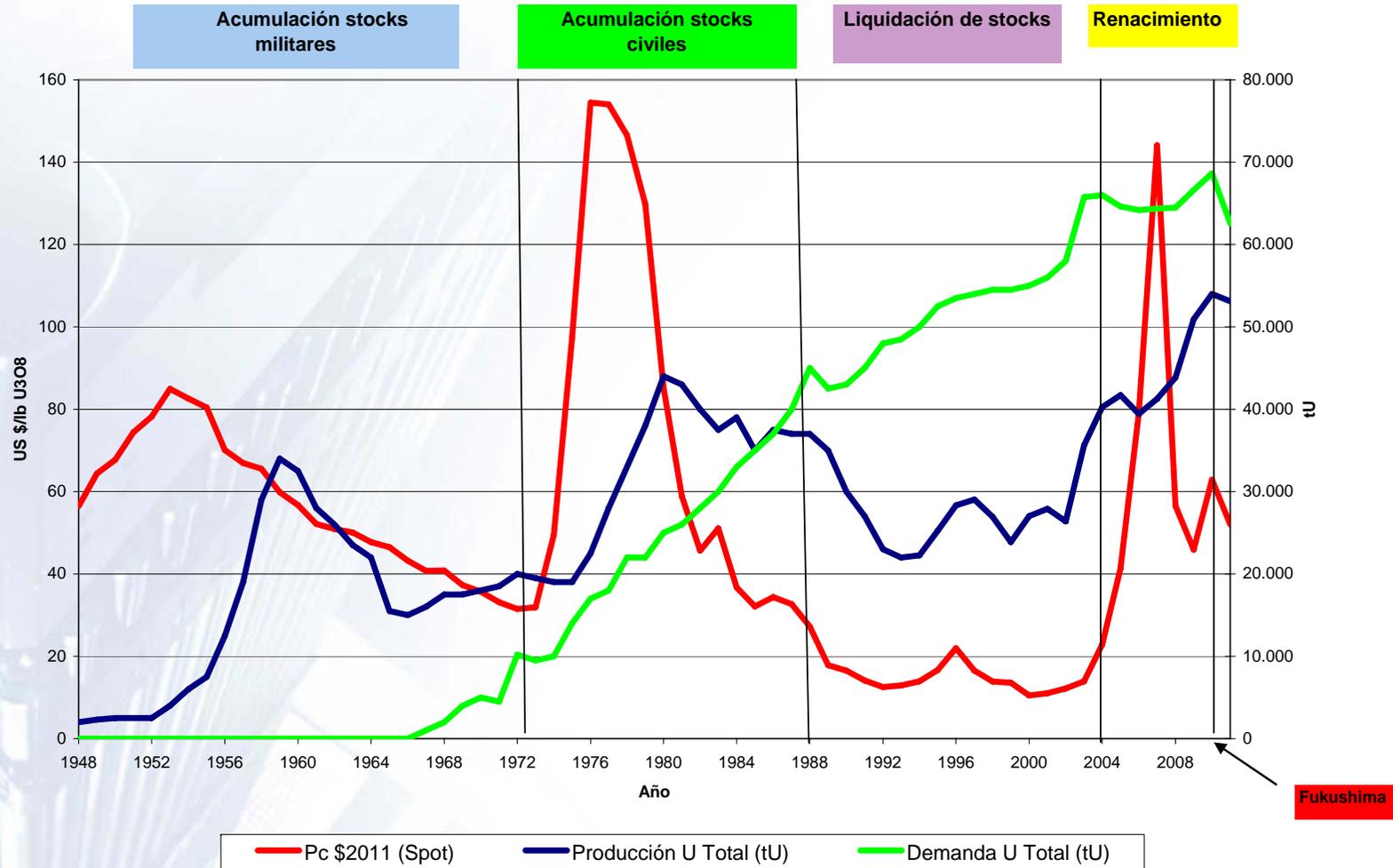
CONVERSIÓN

ENRIQUECIMIENTO

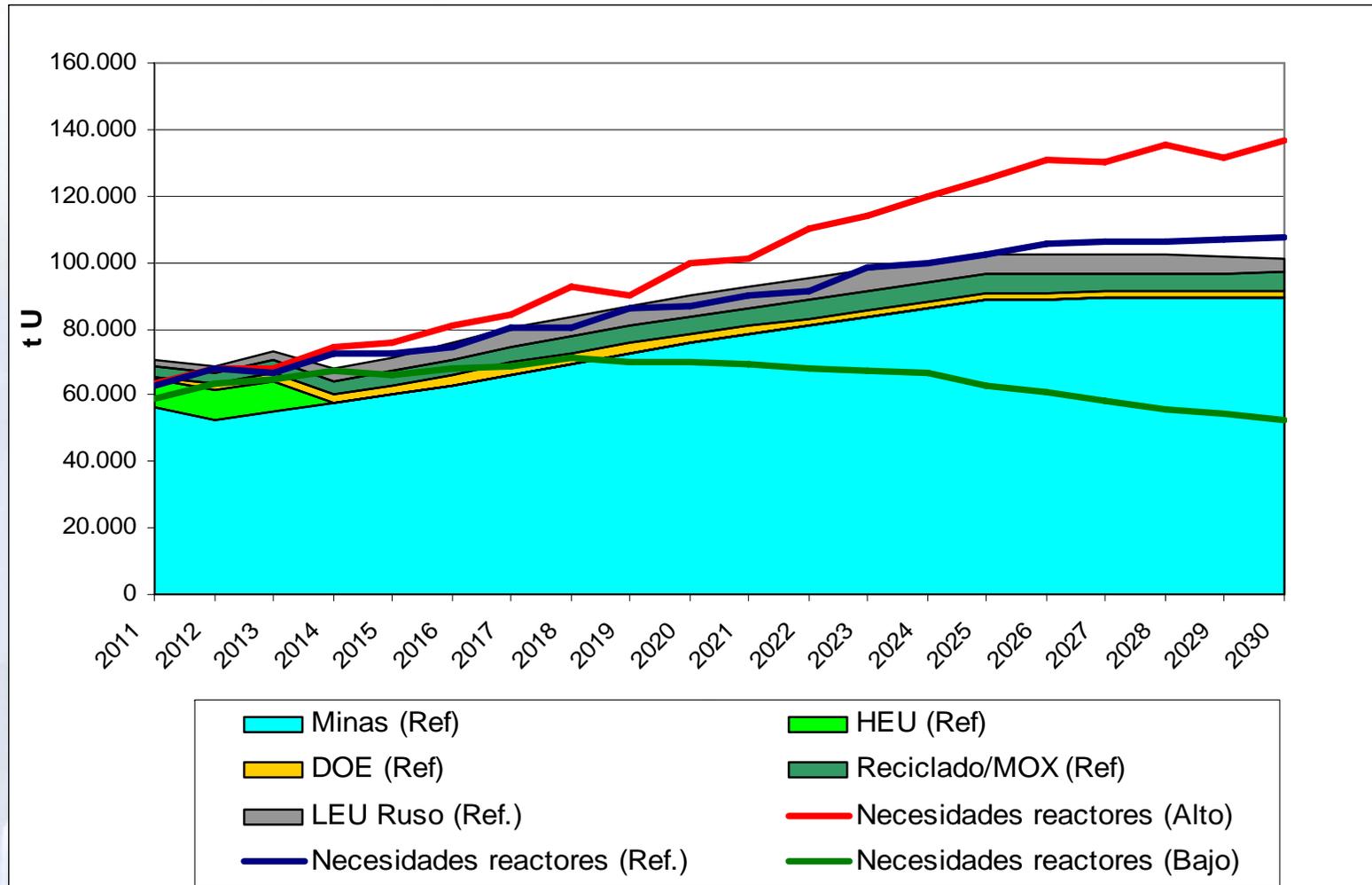


ETAPAS DEL MERCADO

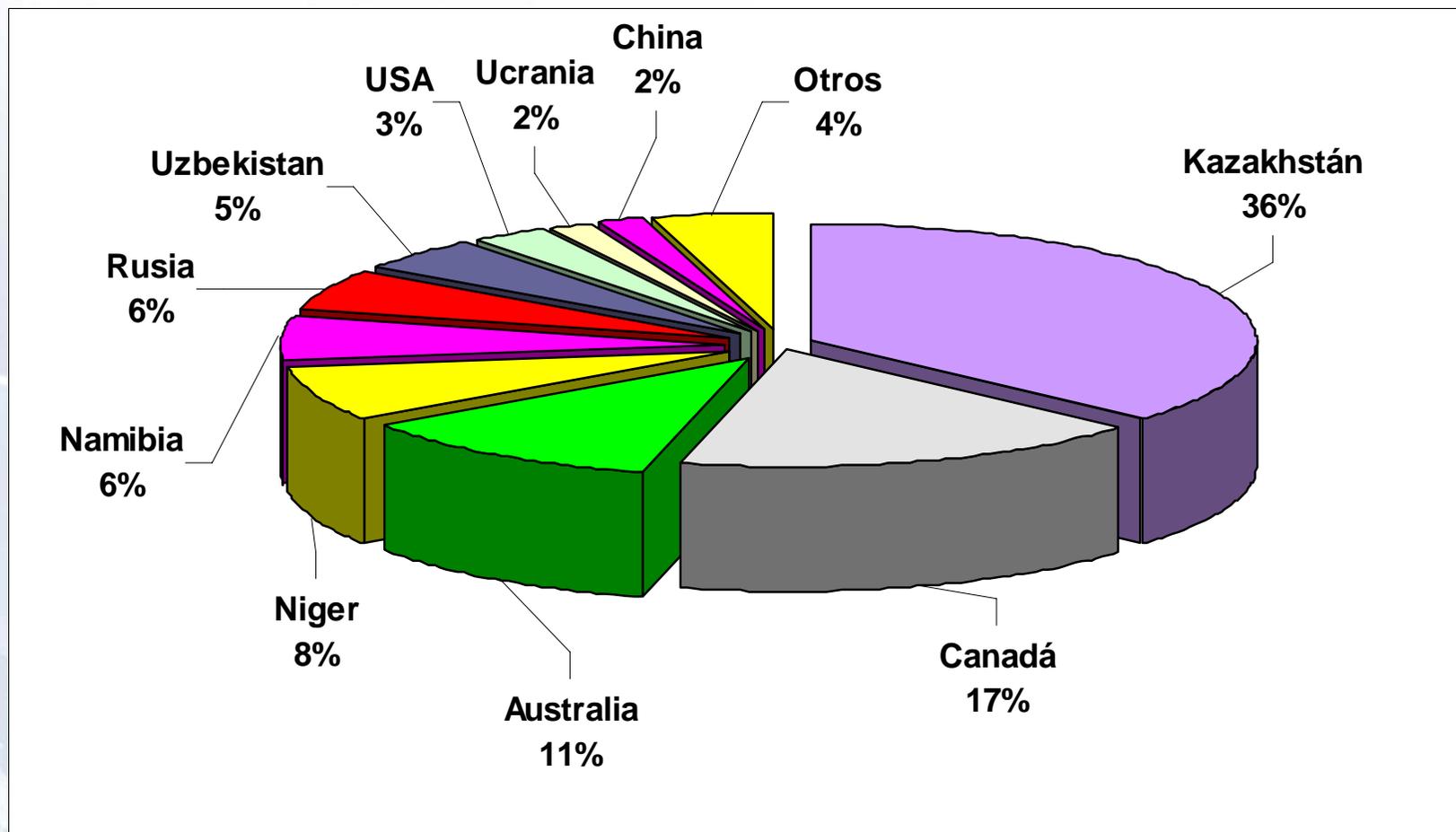
Precios Históricos del Concentrado (US \$ 2011) vs. Producción-Demanda (tU)



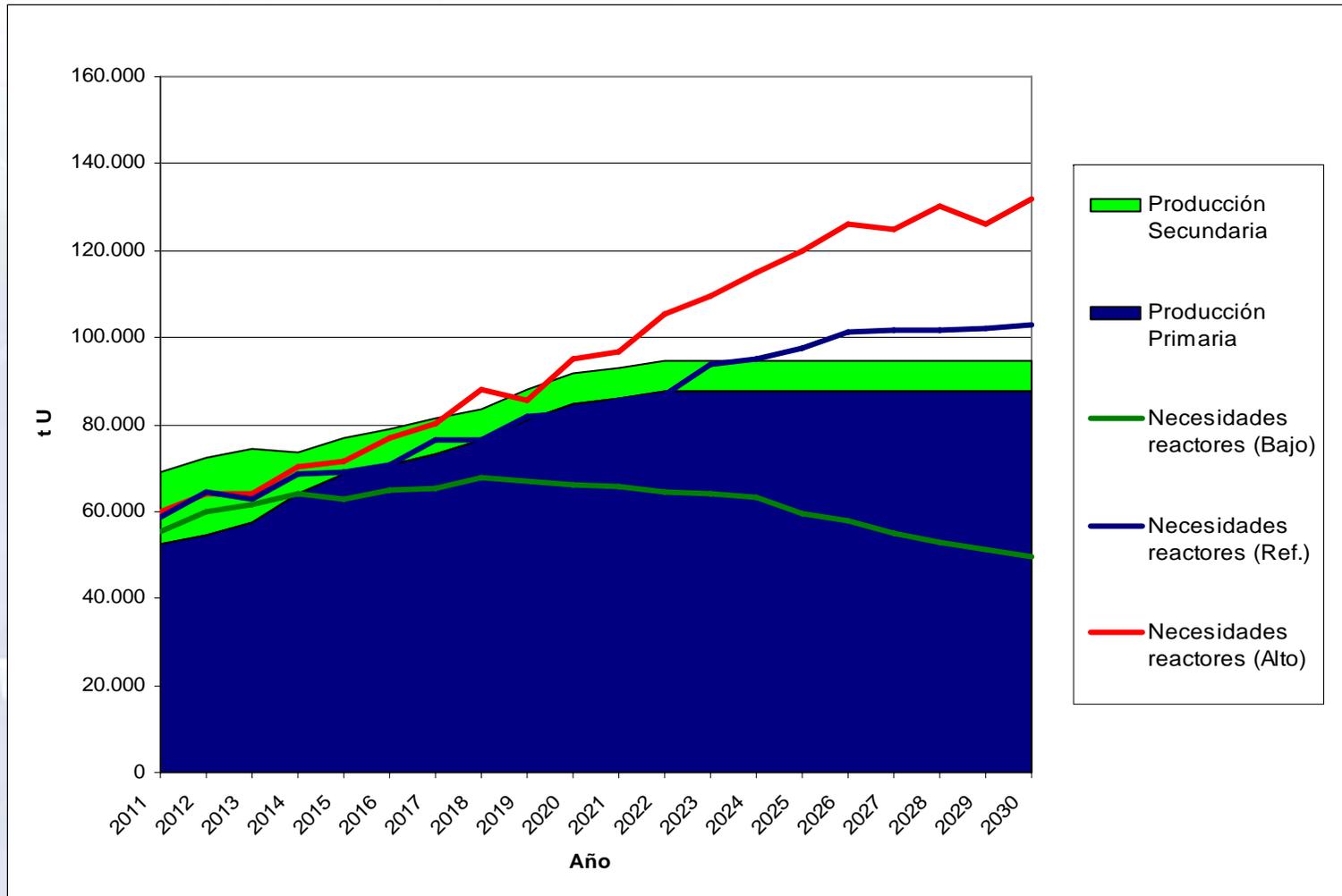
OFERTA/DEMANDA URANIO 2011-2030



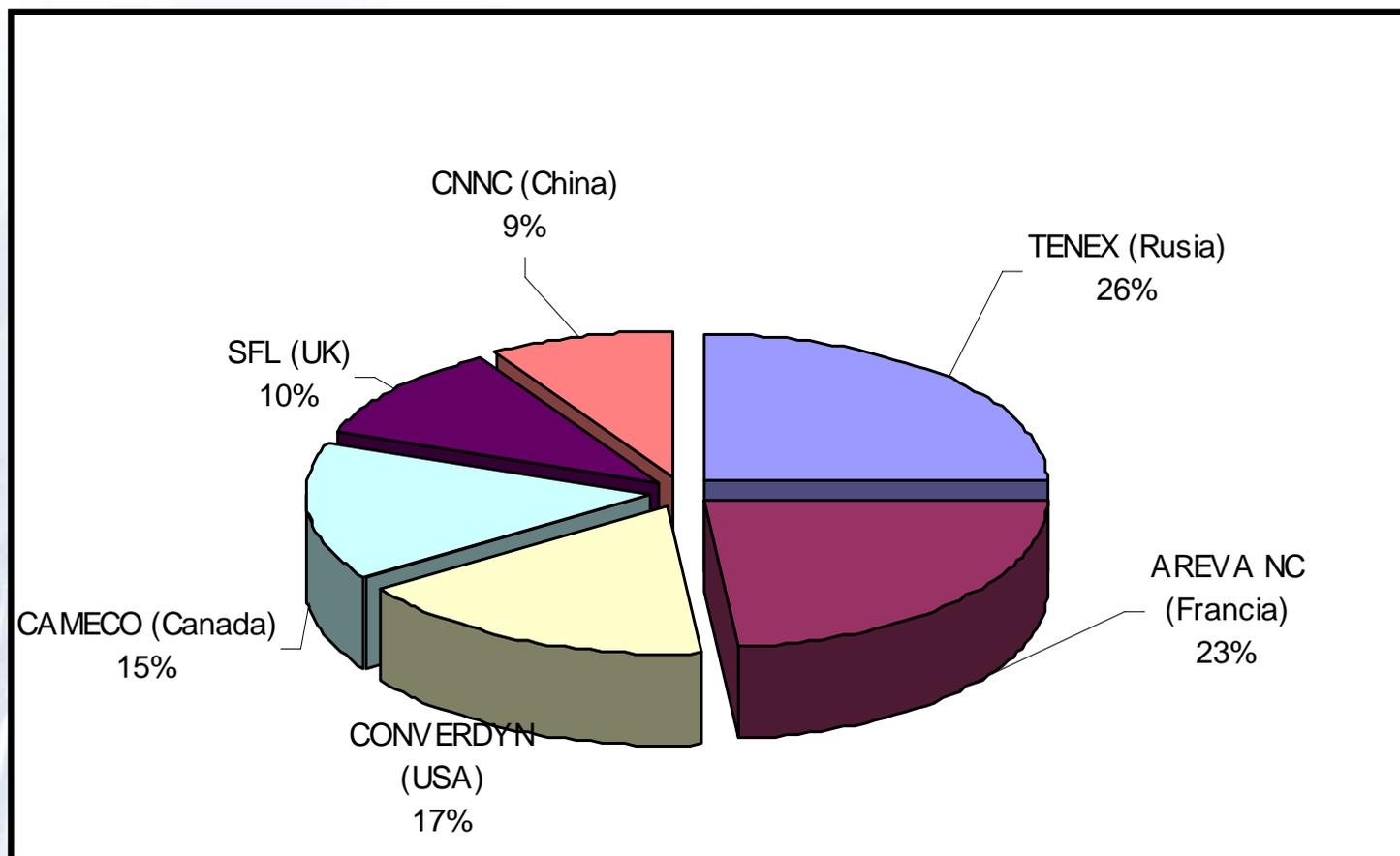
PRINCIPALES PAISES PRODUCTORES DE U (2011)



OFERTA/DEMANDA CONVERSIÓN 2011-2030



PRODUCCIÓN DE CONVERSIÓN (2011)



ENRIQUECIMIENTO DE URANIO

ISÓTOPOS DEL URANIO

	<i>Concentración relativa en nº de átomos</i>	<i>Peso atómico</i>	<i>Concentración relativa en peso</i>
²³⁸ U	99,2745%	238,051	99,2836%
²³⁵ U	0,7200%	235,044	0,7110%
²³⁴ U	0,0055%	234,041	0,0054%
	100,0000%	238,0291	100,0000%

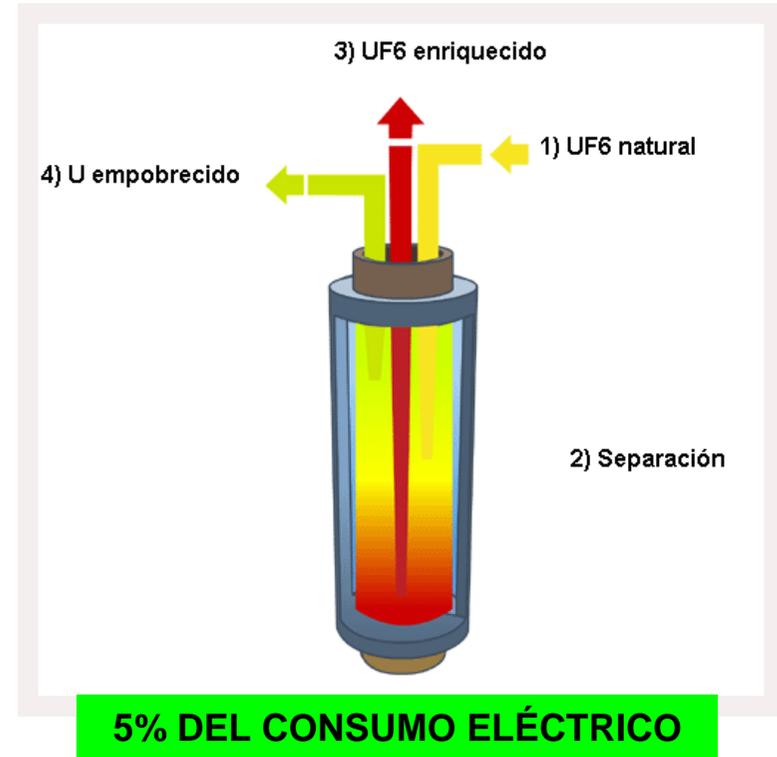
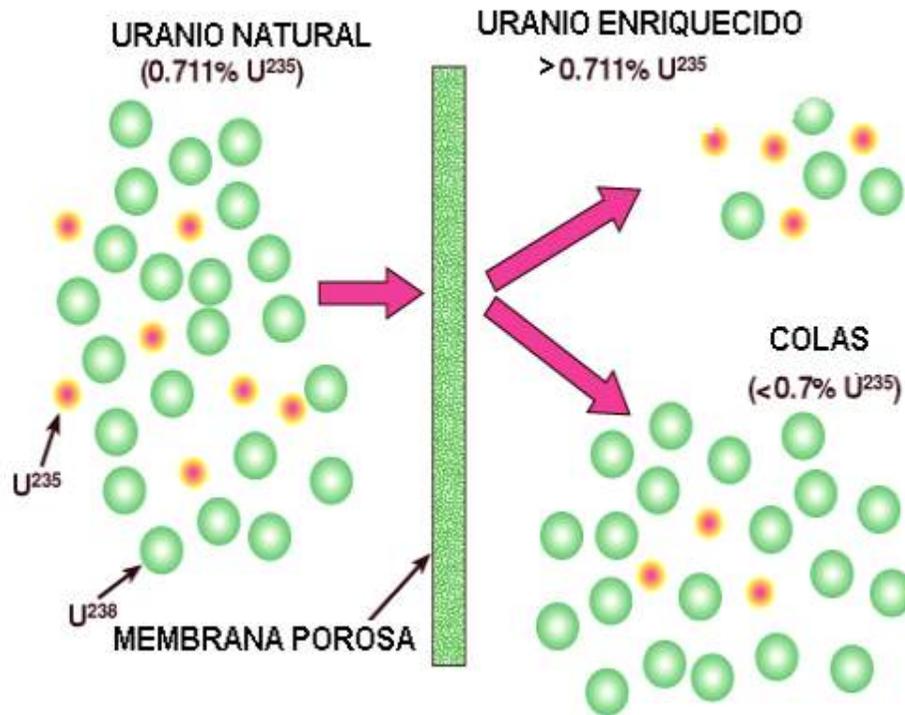
AUMENTO DE LA CONCENTRACION RELATIVA DEL ISÓTOPO U₂₃₅

(diferencia en peso entre el U₂₃₅ y el U₂₃₈ es de 1.2%)

MÉTODOS UTILIZADOS INDUSTRIALMENTE

CENTRIFUGACIÓN

PROCESO DE ENRIQUECIMIENTO POR DIFUSIÓN



LA DIFUSIÓN UNA TECNOLOGÍA DEL PASADO

ENRIQUECIMIENTO CON LASER ¿EL FUTURO?

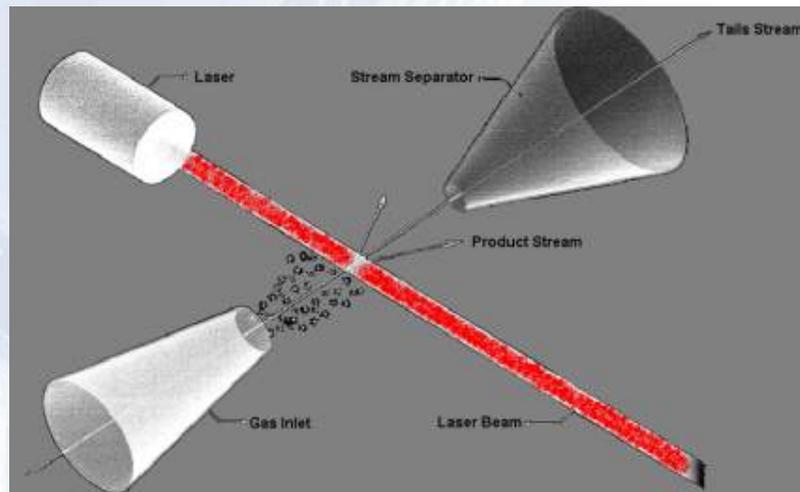
MLIS: "Molecular Laser Isotope Separation"

Abandonado en otros países (US DOE 1982, Reino Unido 1994, Francia/Sudáfrica 1997). Proceso LAP en China y el US CRISLA abandonado por el DOE al final de los 90.

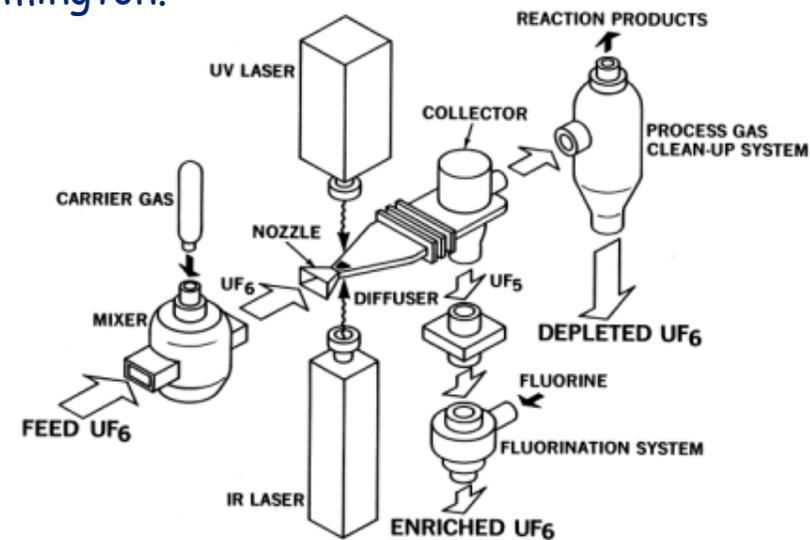
Tecnología Australiana SILEX estudiada por USEC en 1996 y abandonada en 2003

Acuerdo de SILEX con GE en 2006

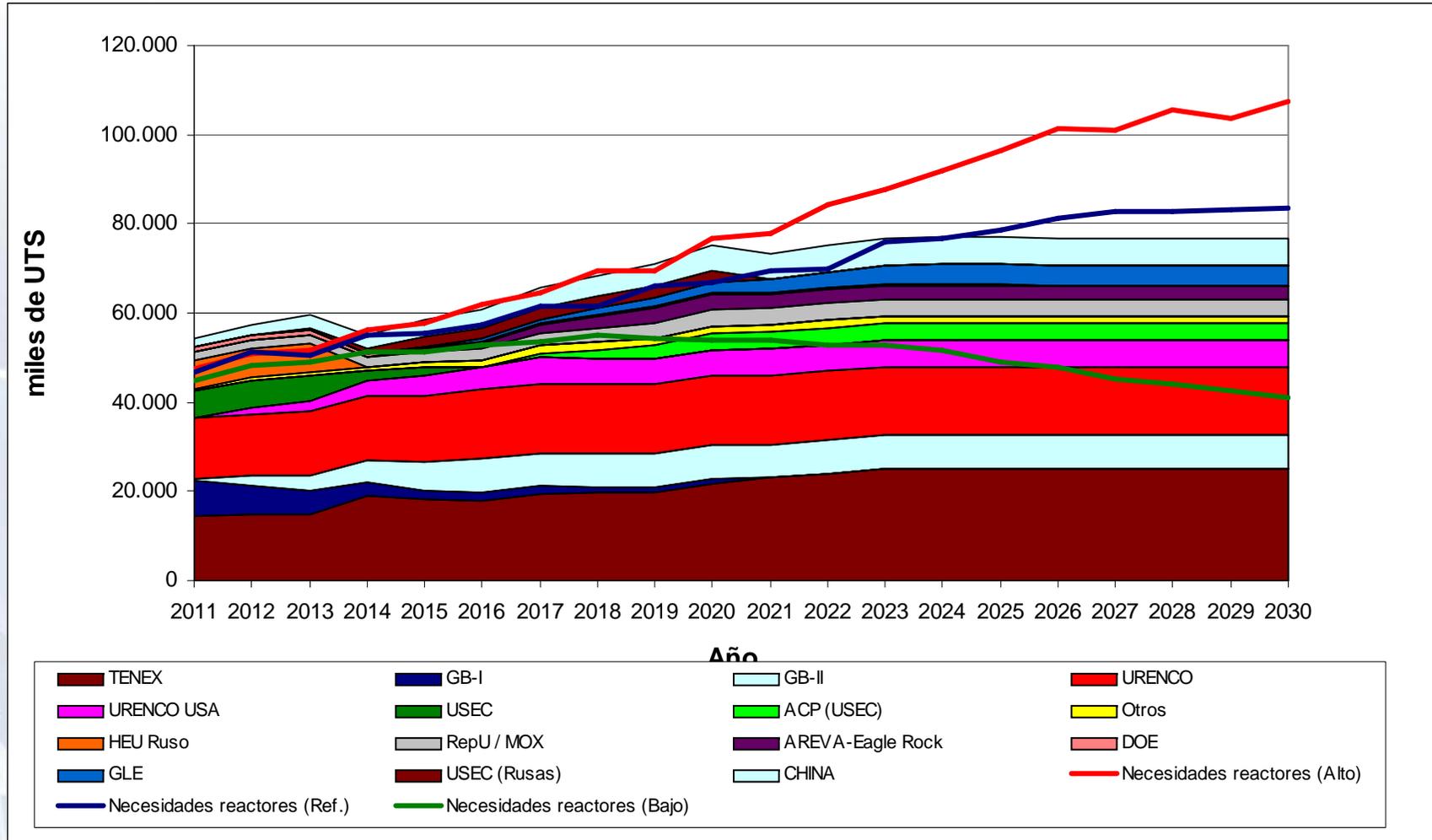
Planta Piloto en las instalaciones de GE en Wilmington.



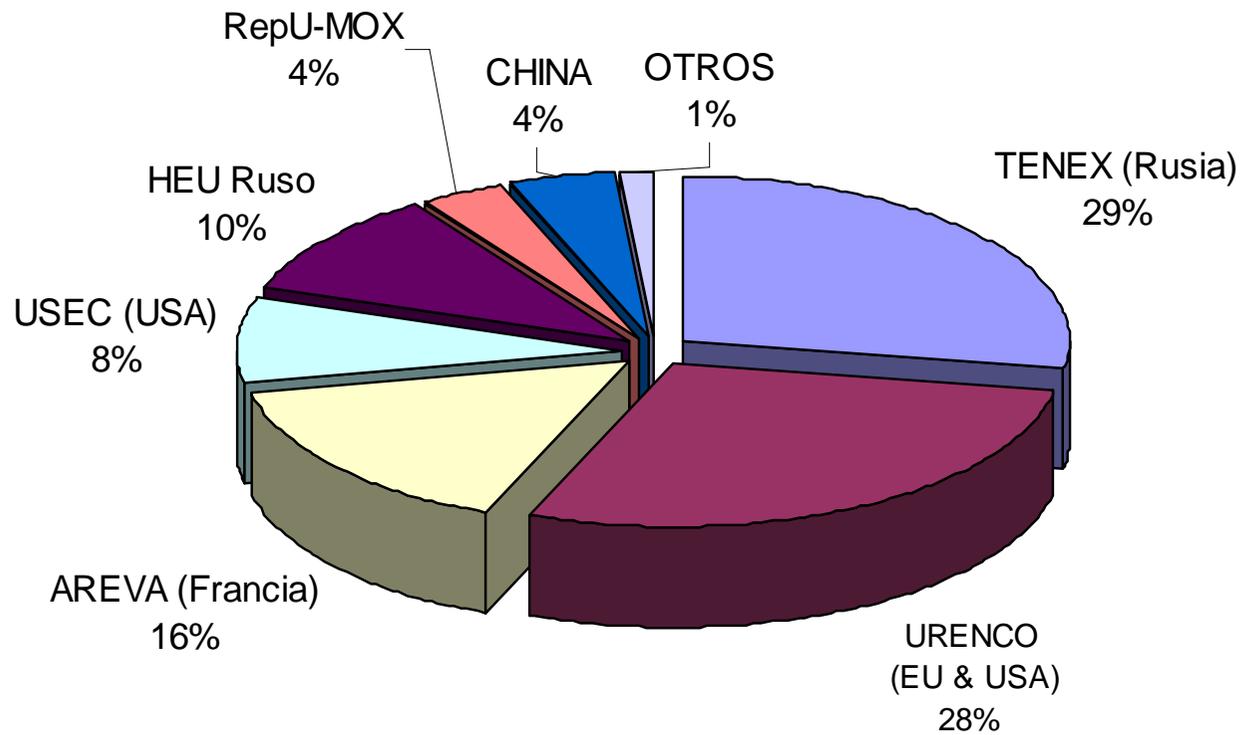
Ventaja: Usa UF₆ natural



OFERTA/DEMANDA ENRIQUECIMIENTO 2011-2030



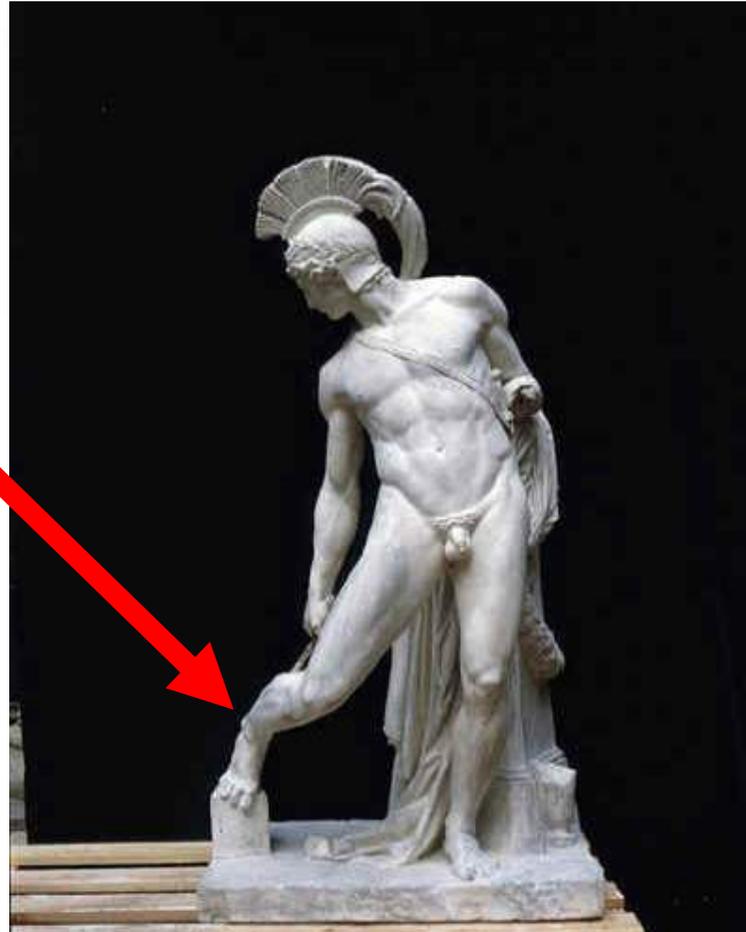
CAPACIDADES MUNDIALES ENRIQUECIMIENTO



2. Las Reservas de Uranio

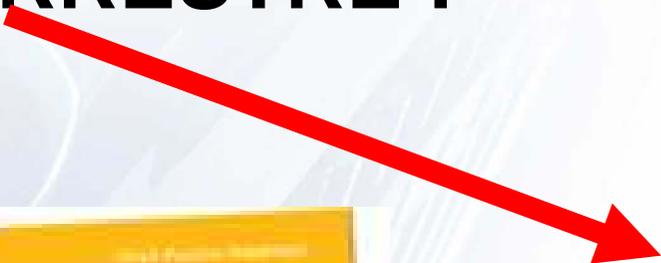
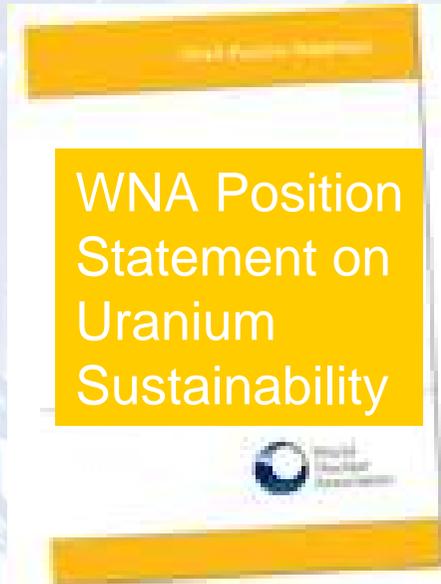
¿ QUÉ SE DICE ?

¡ NO HAY URANIO !



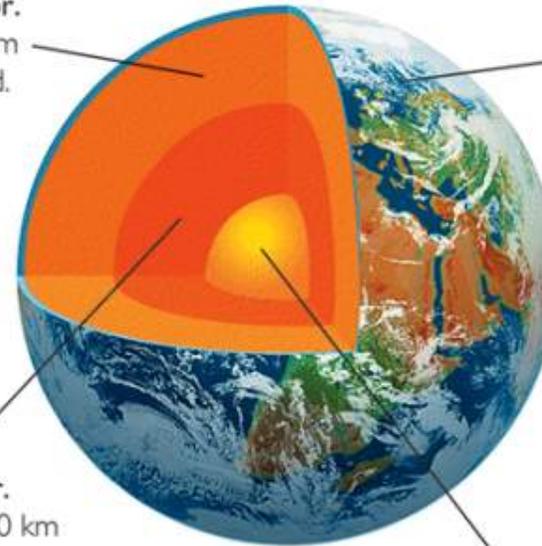
¿ QUÉ NO SE TIENE EN CUENTA ?

¡ LA INMENSIDAD DE LA CORTEZA TERRESTRE !



Manto superior.
De 70 a 700 km
de profundidad.

Manto inferior.
De 700 a 2.900 km
de profundidad.

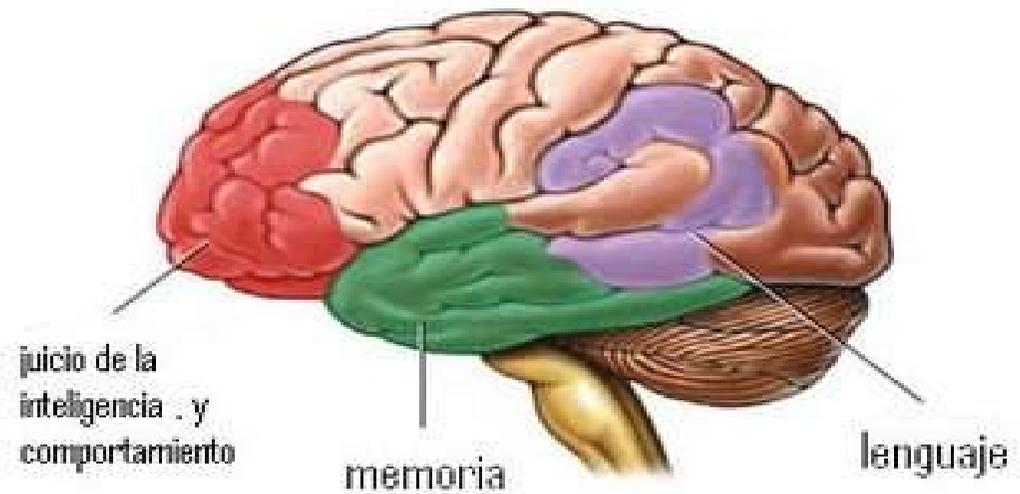


Corteza.
Con una
profundidad
de 20 a 70 km
bajo los
continentes,
y 10 km bajo
los océanos.

Núcleo. De 2.900 a más de 6.000 km
de profundidad.

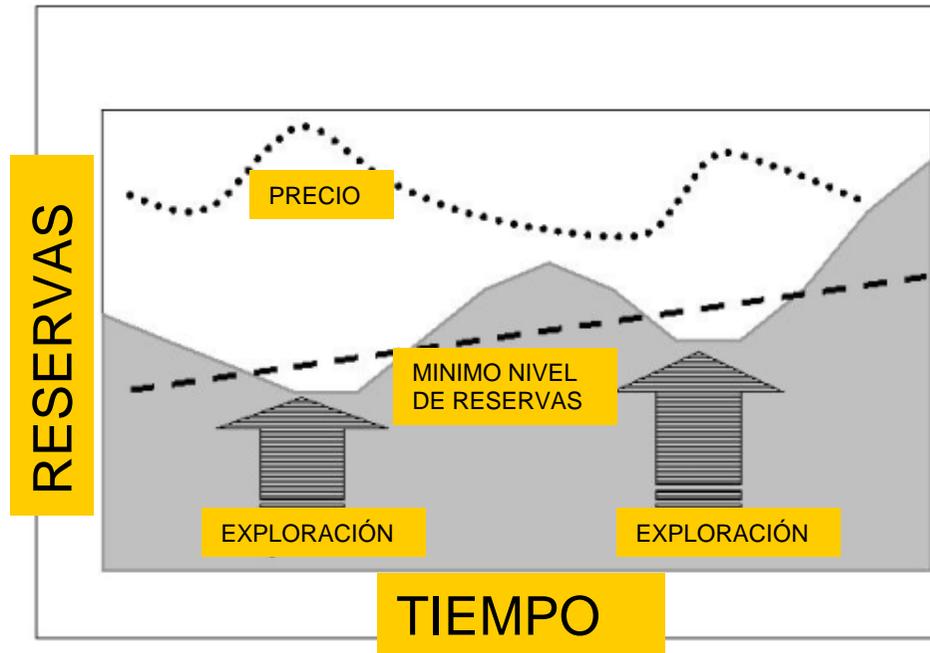
¿ QUÉ NO SE TIENE EN CUENTA ?

¡ LA FABULOSA CORTEZA CEREBRAL !



¿ QUÉ NO SE TIENE EN CUENTA ?

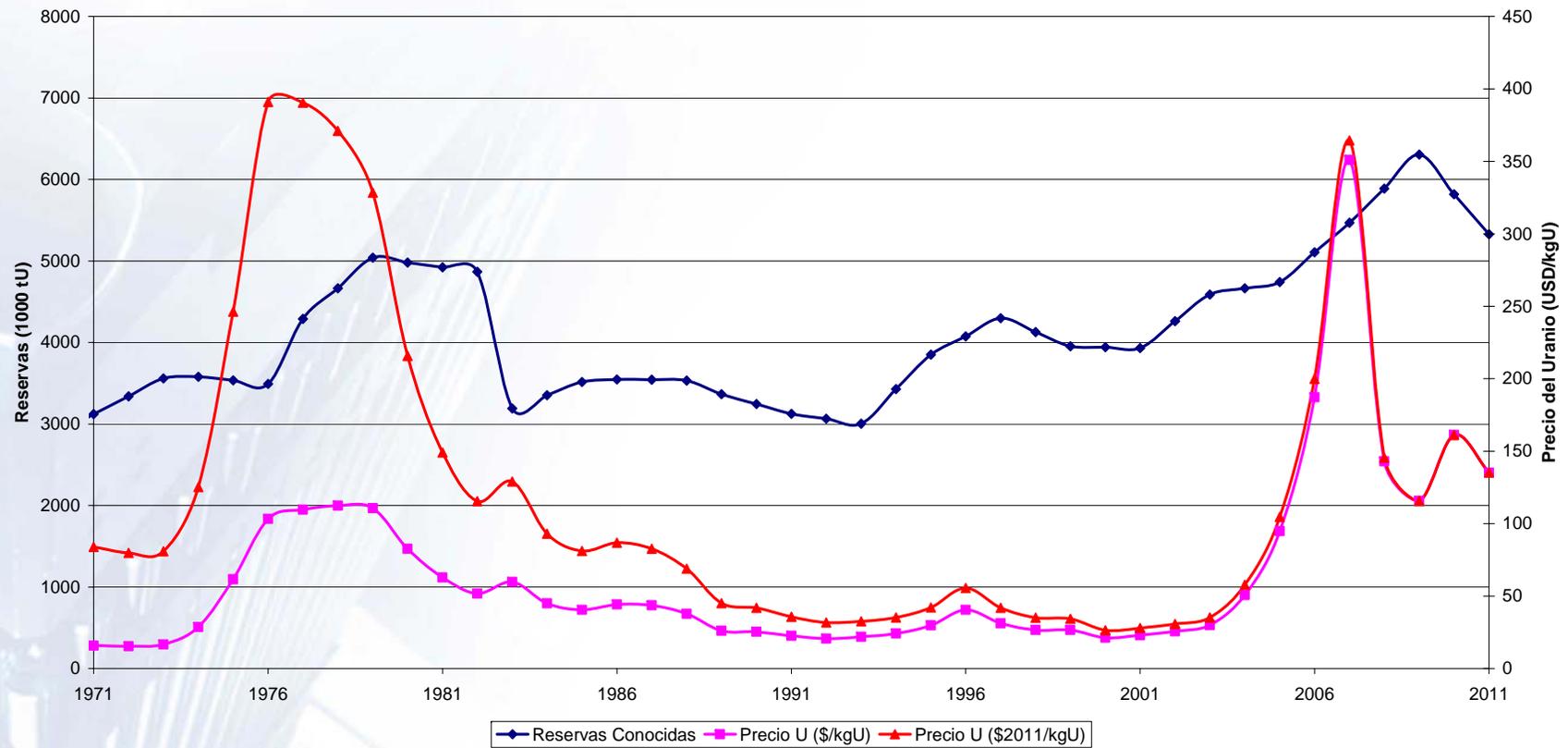
¡ EL COMPORTAMIENTO DEL MERCADO !



1980-1990

Cromo, cobre, níquel, estaño y tungsteno

RESERVAS CONOCIDAS MUNDIALES DE URANIO (Evolución Frente al Precio)



Fuente: FORTY YEARS OF URANIUM RESOURCES, PRODUCTION AND DEMAND IN PERSPECTIVE "THE RED BOOK RETROSPECTIVE"

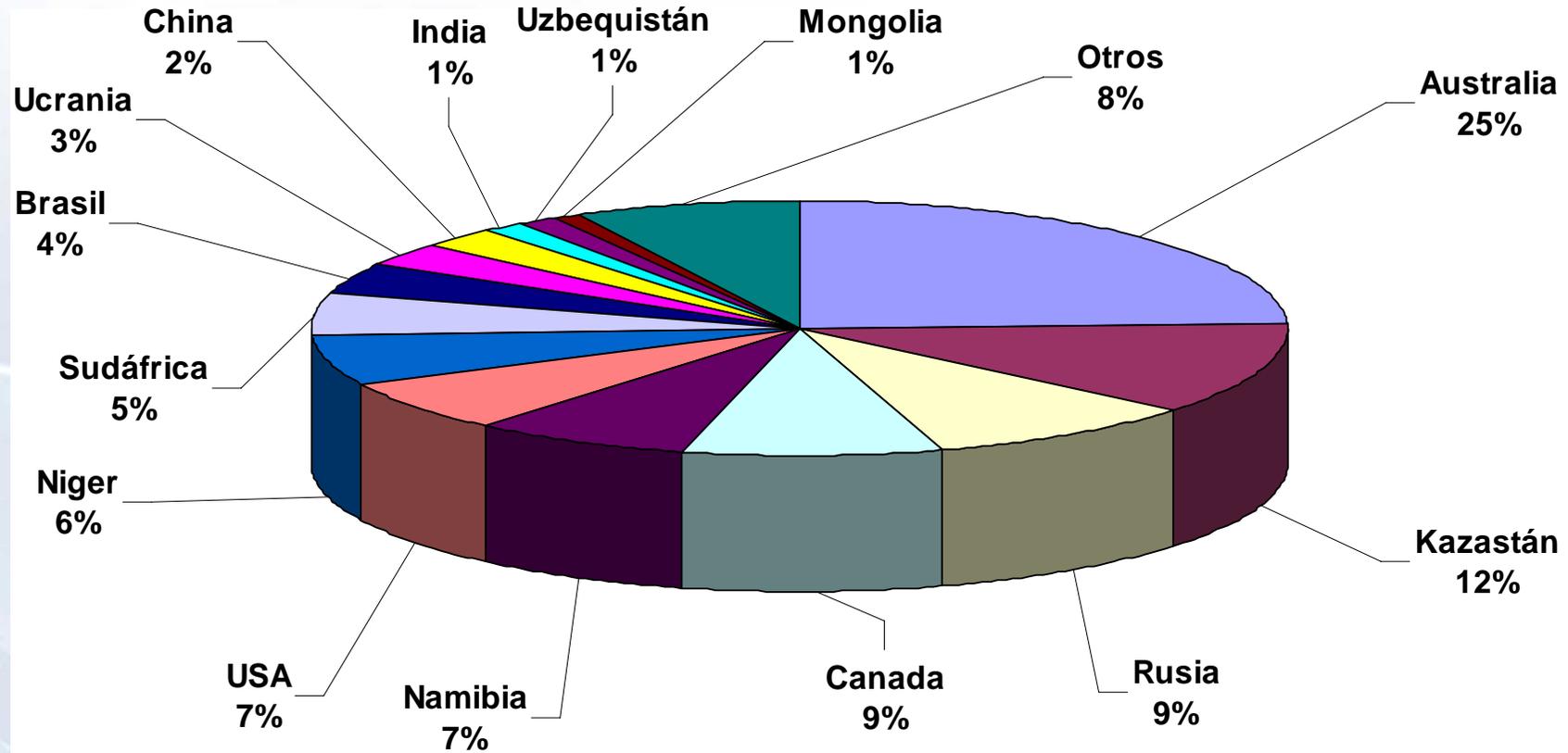
ESTIMACIÓN RESERVAS MUNDIALES DE URANIO (t U₃O₈)

RECUPERABLES A < 130\$ kgU (<50\$/lb U₃O₈)

			<u>AÑOS PRODUCCIÓN</u>
RESERVAS RAZONABLEMENTE ASEGURADAS (RAR)	→	3.455.500	53
RESERVAS ESTIMADAS ADICIONALES	→	1.871.700	29
TOTAL RESERVAS CONOCIDAS BARATAS	→	5.327.200	82
		Demanda actual (t U/año) =	65.180

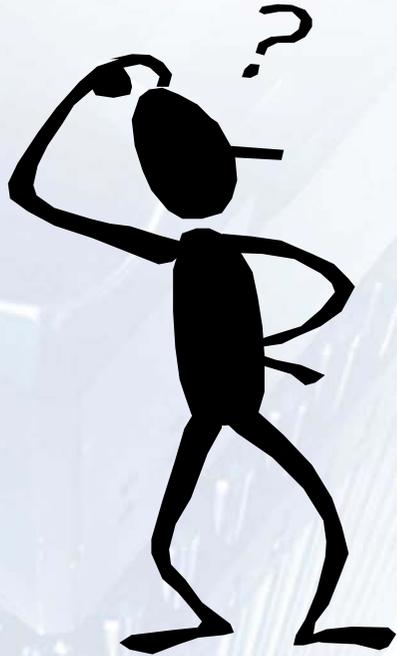
Ref.: Libro Rojo 2011

RESERVAS MUNDIALES DE URANIO



Fuente: NEA/IAEA Libro Rojo 2011; Reservas Conocidas Extraíbles a un precio inferior a 260 \$/KgU

¿ HAY SUFICIENTE URANIO ?



SI

“Juez mal informado fallo desacertado.”

Refrán Popular

Y AÚN MÁS ...

EN LOS FOSFATOS



EN EL AGUA DEL MAR

Y ADEMÁS TORIO



SEGURIDAD DEL SUMINISTRO A LARGO PLAZO

- ↪ Reservas conocidas para 82 años al ritmo actual de consumo
- ↪ El mercado y los avances tecnológicos permitirán aumentarlo
- ↪ Reprocesado como fuente de combustible

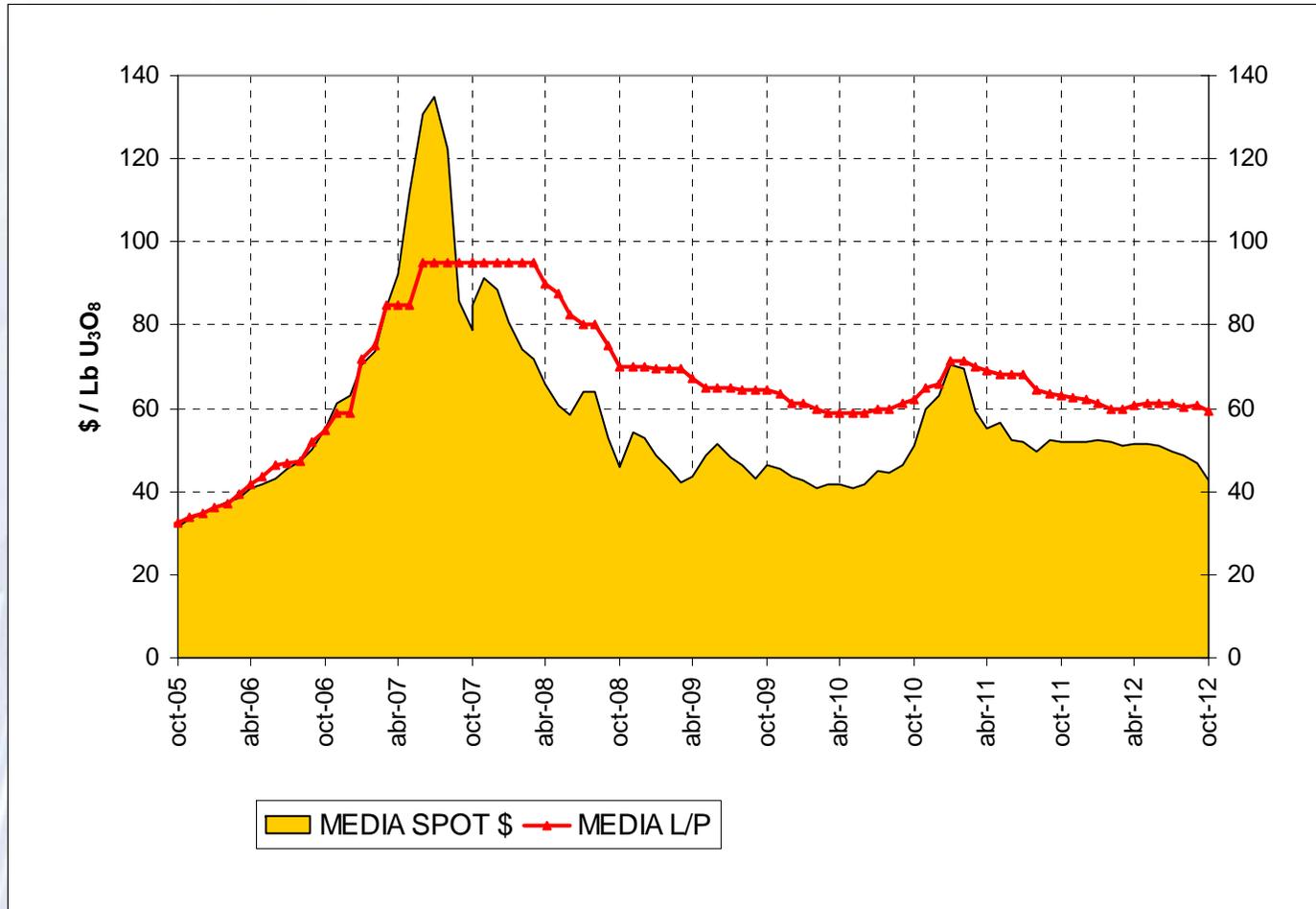
**LA ENERGÍA NUCLEAR TENDRÁ
GARANTIZADO EL SUMINISTRO DE
COMBUSTIBLE EN EL LARGO PLAZO**

3. Efecto de Fukushima en la demanda

Previsión de Necesidades de U Pre y Post Fukushima

<i>Millones de lb U₃O₈</i>	Total 2010-2020 (Previsión 3T-2011)	Total 2010-2020 (Previsión 3T-2012)	Diferencia	% disminución
China	295	224	-71	24
Japón	226	110	-116	51
Resto del Mundo (escenario base)	2.180	2.099	-81	4

Evolución Precios U3O8

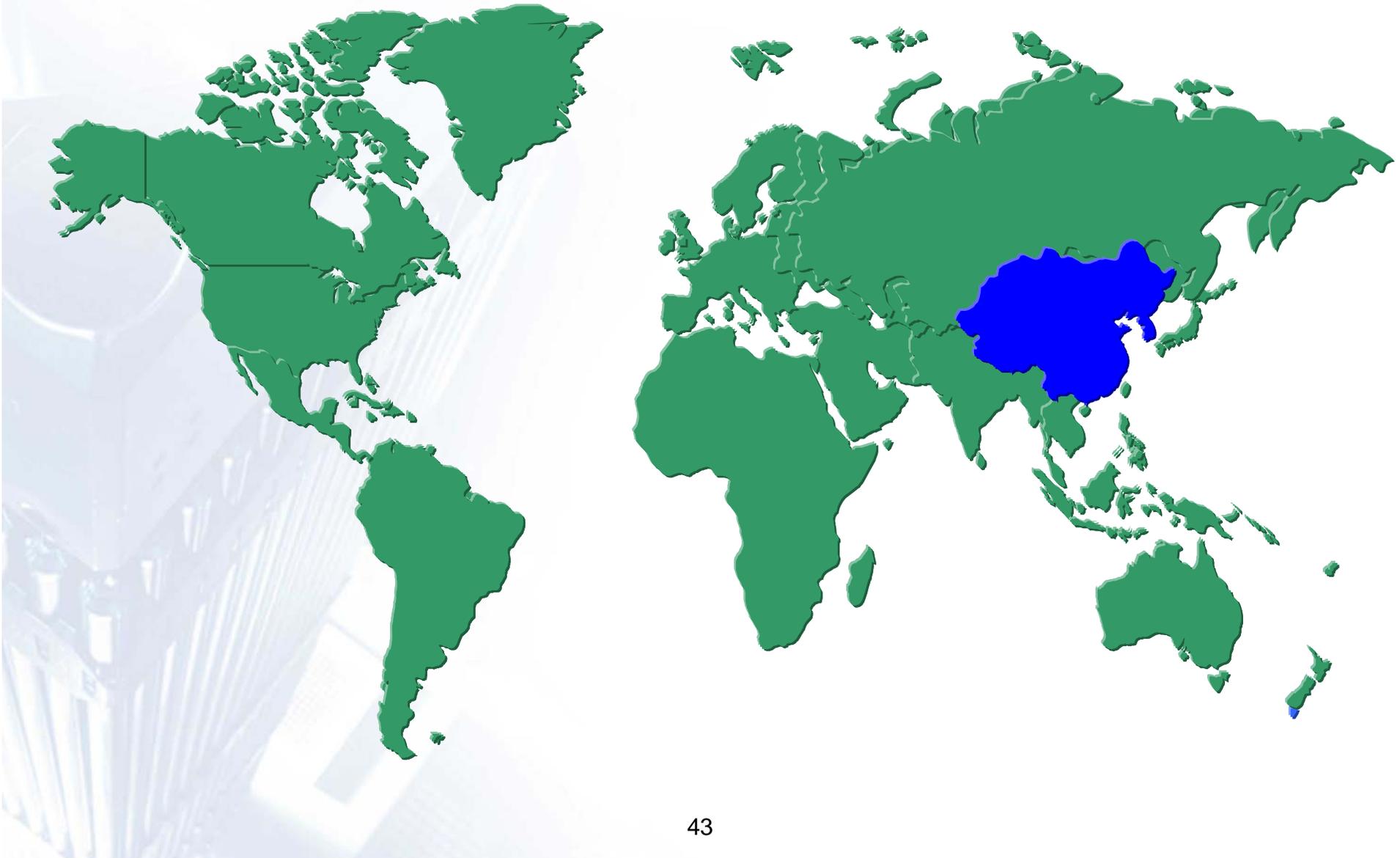


Evolución precio uranio prevista vs real post-Fukushima



4. El cambio de Paradigma

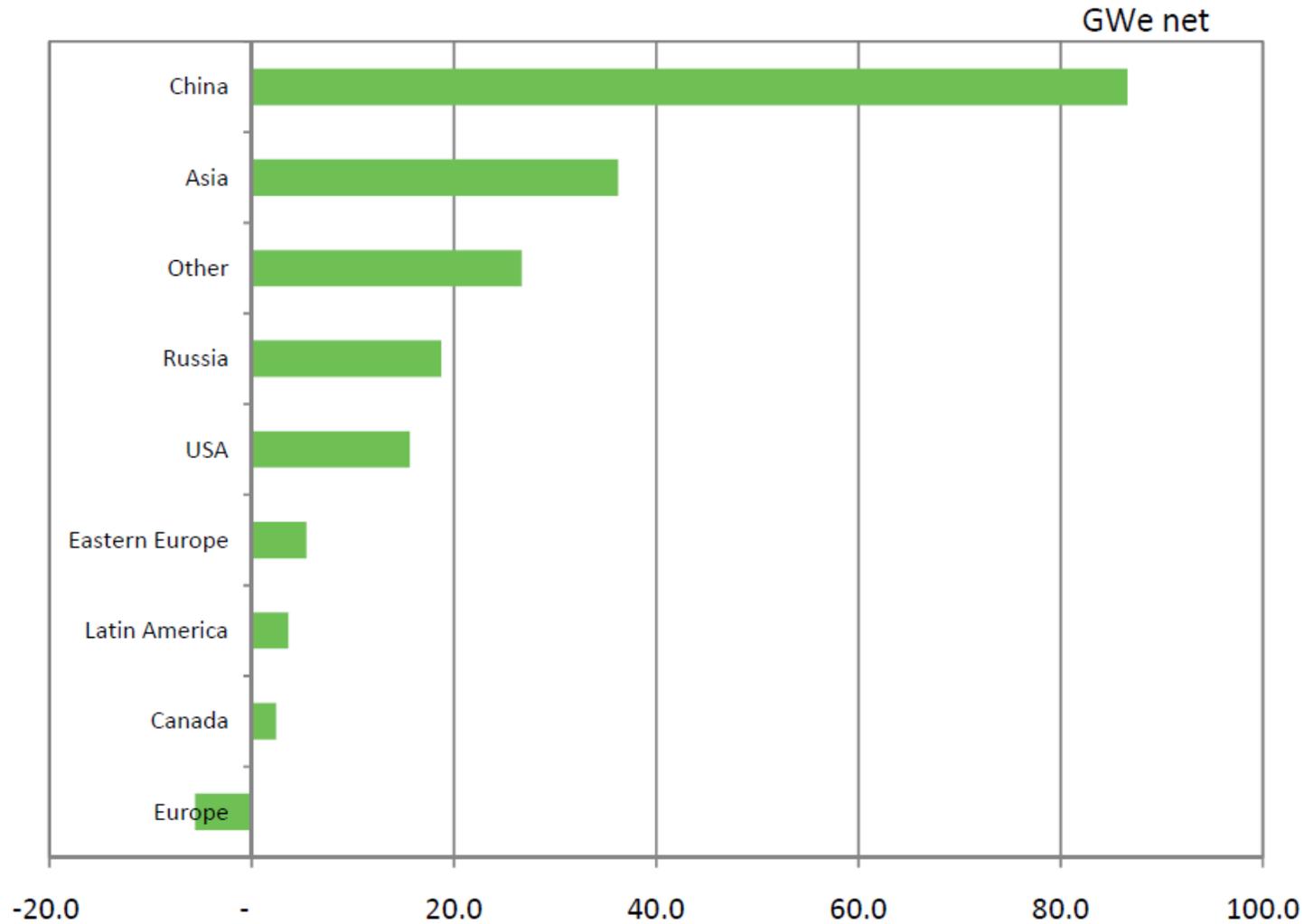
EL MUNDO (SIGLOS XVII a XX)



EL MUNDO (SIGLO XXI)



Incremento de la Capacidad Mundial de Generación Nuclear hasta el 2025 (GWe)



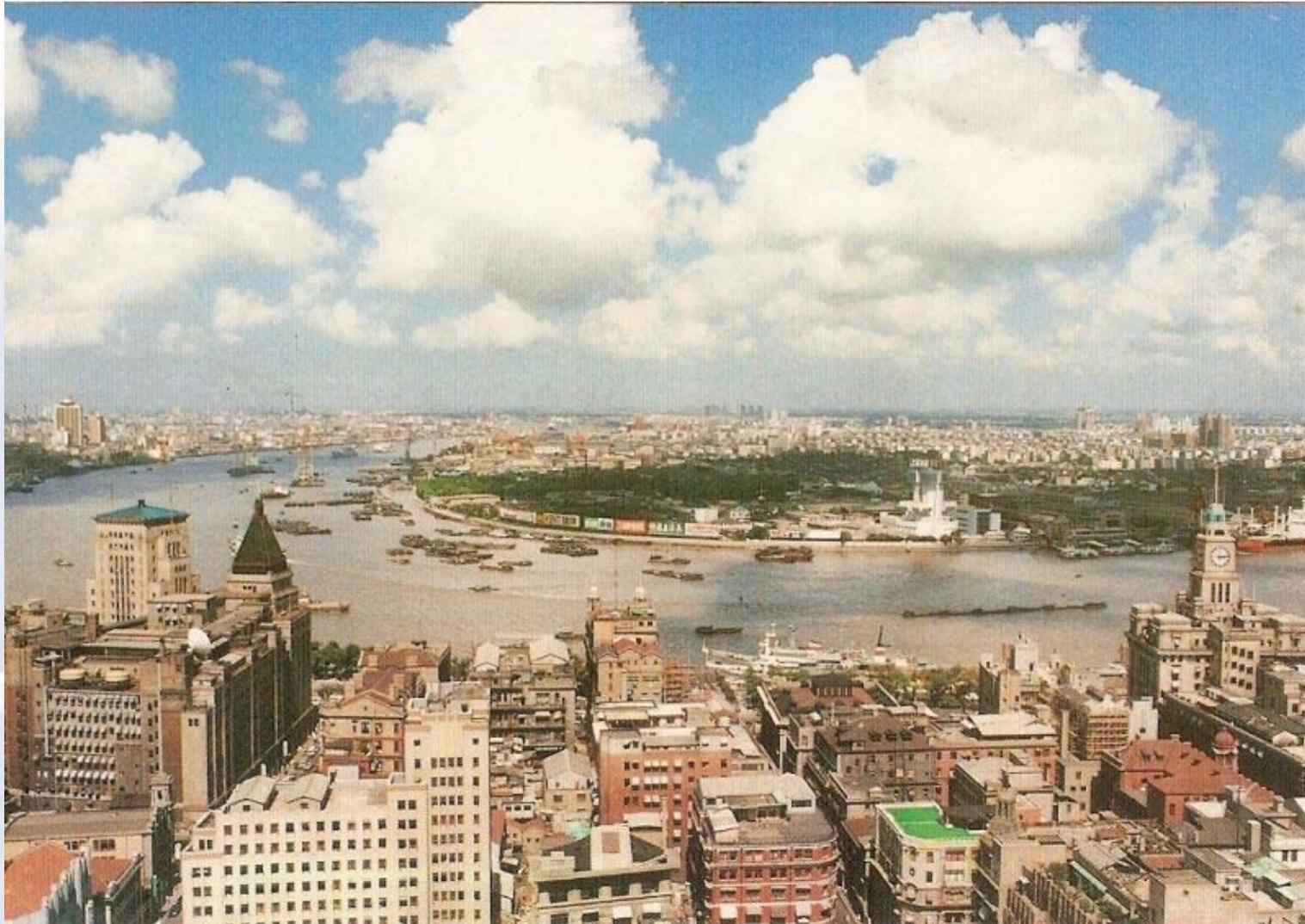
Source: WNA

PAÍSES - POBLACIÓN

PAÍS	POBLACIÓN (millones de personas)	PAÍS	POBLACIÓN (millones de personas)
Países Bajos	17	Hong Kong	7
Suiza	18	Italia	61
Bélgica	11	Malasia	29
Alemania	82	Sudáfrica	51
Japón	126	Taiwán	23
Australia	23	India	1.258
Canadá	35	Turquia	75
Singapur	5	Arabia Saudita	29
Reino Unido	63	Argentina	41
Estados Unidos	316	Emirato Arabes Unidos	8
Francia	64	Indonesia	245
España	48	México	116
Corea del Sur	48	China	1.354
Brasil	198	Rusia	143

CHINA no es un país más

Shanghai - 1990



Shanghai - 2010



Escenario Económico

	1990-2007	2008	Media			Previsión		
			2009	2010	2011	2012	2013	2014
PIB REAL								
Mundo	3,6	2,8	-0,7	5,1	3,8	2,5	3,0	3,3
G7	2,4	-0,2	-3,7	2,8	1,2	0,7	0,6	0,6
EE.UU.	2,9	-0,3	-3,5	3,0	1,7	2,1	2,4	2,8
Canadá	2,6	0,5	-2,5	3,2	2,4	1,5	1,0	1,0
Japón	1,6	-1,2	-6,3	4,5	-0,7	2,4	1,5	1,5
Eurozona	1,9	0,5	-4,0	1,8	1,6	-0,3	0,7	1,4
Reino Unido	2,5	-0,1	-4,9	2,1	0,9	-0,5	0,5	0,5
China	10,2	9,6	9,1	10,4	9,2	8,2	8,6	8,4
India	6,3	7,5	7,0	9,6	6,9	6,6	6,9	7,1
Brasil	2,5	5,2	-0,6	7,5	2,7	2,9	4,2	3,9
México	3,2	1,5	-6,1	5,5	3,9	3,5	4,0	3,9

*Fuente: Capital
Economics*

Crecimiento mundial razonable

Escenario Económico (PIB)

bn \$	2007	2011	2012e	2015e	var 2012e
Italia	2.116	2.060	2.014	2.042	-45
España	1,442	1.417	1.393	1.417	-24
Portugal	232	224	217	223	-7
Grecia	305	283	275	275	-8
Total	4.095	3.984	3.899	3.958	-85
China	3.494	7.301	7.900	10.025	599

El crecimiento del PIB de China en 2012e es 7x superior a la posible contracción de los países del Sur de Europa juntos.

Análisis: Situación económica de China

CEO de Coca-Cola: “Es más fácil hacer negocios en China que en USA”

- ✓ Fuera del sector paraestatal (30% de la economía) es el mercado más flexible y dinámico del mundo.
- ✓ Sistema financiero poco endeudado:
 - Ratio Préstamos / Depósitos: 0,66 (España 1,40)
- ✓ Poca deuda pública; incluyendo entidades locales 75% del PIB. Se estima que el valor de las empresas estatales supera el 100% del PIB.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL MODELO CHINO (I)

↪ Totalitario en política y ultraliberal en economía.

↪ Autosuficiencia e independencia económica y energética.

↪ Visión de largo plazo, compra todo lo posible (materias primas y metales), primando la seguridad del suministro sobre el precio.

↪ Construyen infraestructuras en el extranjero para garantizar el abastecimiento.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL MODELO CHINO (II)

↩️ Altos excedentes de fondos que le hacen posible “salvador” de la crisis de deuda soberana.

↩️ Grandes comerciales, herencia secular, no afectados por decenios de colectivismo.

↩️ Son una ayuda “vital” para Africa.

↩️ No ingerencia en asuntos internos como arma “competitiva”.

¿Tenemos Miopía con China?

En lo nuclear

- ✓ ¿Su autoabastecimiento de uranio puede ser escasez para los demás?.
- ✓ ¿Su afán por la tecnología los convertirá en competidores en lugar de clientes?
- ✓ ¿Comprarán uranio ó UTS a cualquiera (Congo, Irán)?
- ✓ Todos los suministradores volcados en China ¿y sus demás clientes?
- ✓ Gran crecimiento en el número de reactores ¿y la seguridad?

No son un actor más del mercado

¿TENEMOS MIOPIA CON CHINA?

En el mundo

- ↪ ¿Salvación de Africa o neocolonialismo?
- ↪ ¿Alternativa monopolística de materias primas en América Latina?
- ↪ ¿Razonable que financie la deuda de EE.UU. y Europa?
- ↪ ¿Es aceptable la no “ingerencia”?
- ↪ ¿Hay alternativa?

Todo lo relacionado con China lo está, positiva o negativamente, con la energía nuclear, con las materias primas, con la crisis y con el cambio de valores.

Hoy es China quien está escribiendo la historia

“Muchas Gracias”

