

# Desarrollo Sostenible para la Fisión Nuclear

*José M<sup>a</sup> Martínez-Val*

*Catedrático de Termotecnia, ETSII-UPM*

*Presidente, Scientific and Technical Committee , EURATOM, U.E.*

**Bienvenidos al re-nacimiento de la Energía Nuclear... está ocurriendo aquí, en Madrid el 24 de Octubre de 2006, y en otros lugares.**

**Aunque en realidad, nunca murió: está en la Naturaleza, y durará tanto como la Naturaleza dure.**

**¿Sabremos explotarla?**

**¿Qué ventajas comporta?**

**¿Y qué riesgos?**

**Las respuestas no están pre-escritas; hay que fabricarlas.**

**Desarrollo:** posibilitar a las personas y a la sociedad el acceso al bienestar material, mental, cultural, moral y político.

**Desarrollo Sostenible:** desarrollo que no transgreda los límites biológicos y físico-químicos del planeta, ni comprometa el bienestar de otros pueblos ni generaciones venideras.

- Percepciones distintas de su significado. Lanzamiento político del concepto en la Conferencia de Río en 1992: énfasis en la cuestión ambiental.
- Conferencia de Johannesburgo en agosto, 2002: más peso en el tema económico, aunque recordando "there will be no equity without ecology".
- Ecos de Indira Gandhi: no hay peor contaminación que la pobreza. ¿Cómo conciliar desarrollo y ecología?

# □ Fisión Nuclear

Condiciones objetivas para su contribución en un escenario de desarrollo sostenible

- No proliferación
- Seguridad operacional: limitación de la máxima emisión de productos radiactivos; imposibilidad de accidentes de criticidad pronta.
- Radiotoxicidad de los residuos: reducción a escala conmensurable con la historia humana
- Alto rendimiento de explotación de la materia prima: reproducción, reelaboración y reciclado.
- Competitividad económica
  
- + **Subjetiva: aceptación política y social**

**Objetivo/criterio imprescindible:** evitar interacciones dañinas de las radiaciones ionizantes con la humanidad ( a cualquier plazo)

- Estándares de protección radiológica bien establecidos, aunque mejorables
- Referencia de la radiactividad natural
- Principios tecnológicos bien claros: integridad de las barreras de confinamiento de los radionucleidos ( más blindaje en las proximidades)
- Evitar muy altas temperaturas por inadecuada refrigeración de los productos radiactivos
- Evitar, más aún, accidentes de reactividad con enormes incrementos de potencia

# Lecciones aprendidas de... ¿demasiados accidentes?

- o Importancia del factor humano
  - o Importancia de las cuestiones básicas
  - o Importancia de un buen diseño
- 
1. Accidente de Louis Slotin en Los Álamos: tomarse en serio la seguridad.
  2. Harrisburg (TMI-2, 1979): no siempre se cumple la ley de Murphy, si hay un buen diseño.
  3. Chernobyl (URSS, 1986): historia de una catástrofe no anunciada... por exceso de optimismo. Y de cómo una temeridad administrativa se convierte en una inmensa catástrofe por la potencia de la fuerza nuclear.
  4. Vandellós I (España, 1989). Como extinguir un incendio sin destruir la casa.

# *SALVAGUARDIAS Y POLITICA*

- 1945 → Alamo Gordo, Hiroshima, Nagasaki**
- 1953 → Atoms for Peace, OIEA, Conf.de Ginebra**
- 1978 → INFCE (+TMI2 en el 79)**
- 1980 → Cierre del Programa de Reactores Rápidos en USA y prohibición de reciclar Pu. No a la Economía del Plutonio.**
- 1986 → Mitterand hace un brindis al sol. Cierre del Superphenix (los de la sombra – CEA, Framatome – aliviados).**
- 1996 → Clinton & Gore dejan a 0 la I+D nuclear**
- 2000 → Bush, Blair...Nuclear has come back**

# *Proteger a los nucleidos fisionables contra sí mismos: no proliferación nuclear*

- ❖ **El tema de los explosivos nucleares (bombas atómicas, A y H, con su variedad derivada: bomba de neutrones, bombas sucias...)**
- ❖ **Evitar corrientes de materiales altamente fisionables (U-235, Pu-239,...)**
- ❖ **Diluir los nucleidos conflictivos con sus isótopos no conflictivos.**
- ❖ **Doparlos con materiales radiactivos sucios**
- ❖ **Mantener confinado e inventariado el combustible (dentro de las vainas, en las instalaciones de reproceso, etc).**

## ➤ **Perspectiva energética de la fisión**

➤ **Producción de fisión actual:  $2,7 \times 10^9$  MWh =  $7 \times 10^8$  tep =  $2,8 \times 10^{19}$  J**

### ➤ **Reservas**

✓ **5 Mton de U natural  $\equiv 4,3 \times 10^{23}$  J**

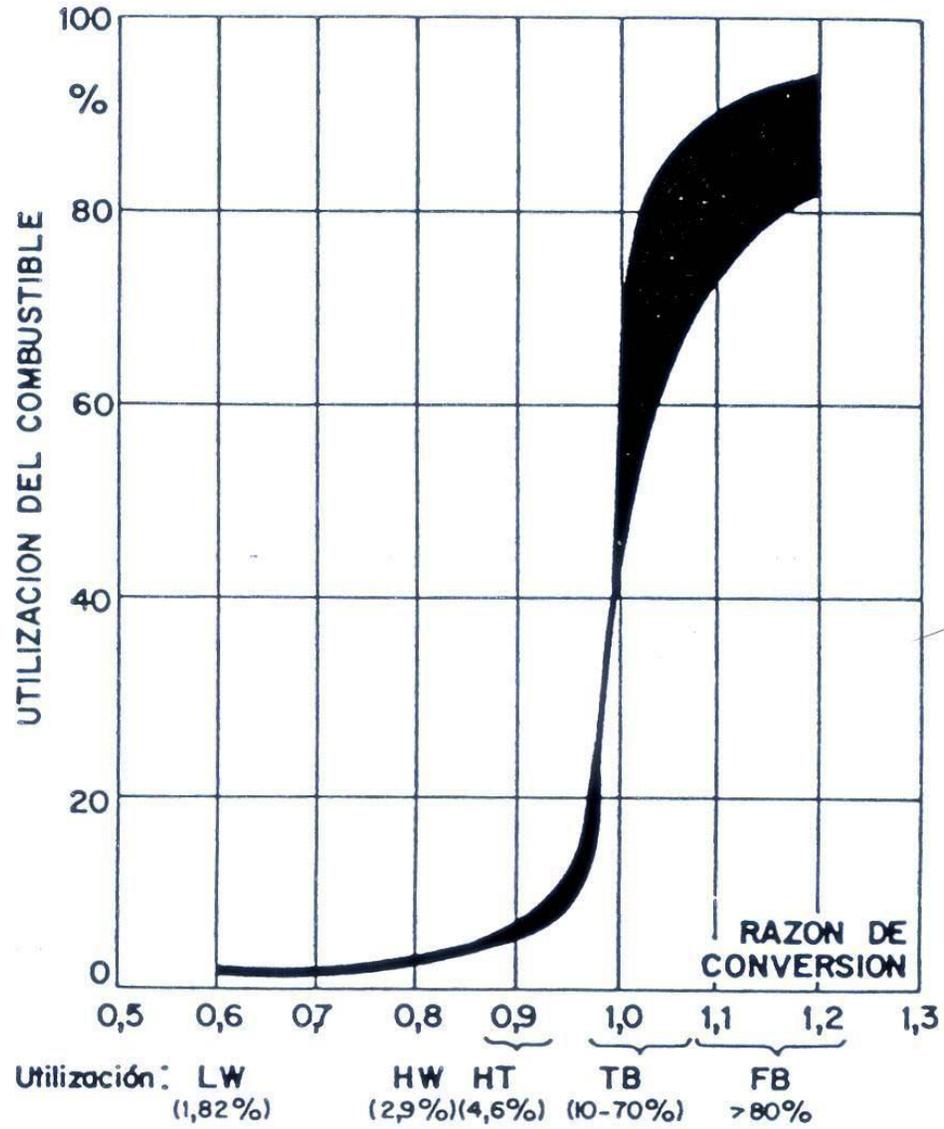
✓ **8 Mton de Th-232  $\equiv 6,9 \times 10^{23}$  J**

**En total  $\equiv 11 \times 10^{23}$  J**

**Equivalen a 40.000 años de producción en teoría**

➤ **Cálculo erróneo: hoy día no se aprovecha sino el 0,6% de la energía térmica potencial del combustible: serían sólo 250 años**

➤ **Cuestión fundamental para aprovechar, asintóticamente, el 100% de la energía potencial: REPRODUCCION Y RECICLADO**



## ➤ REPRODUCCION Y RECICLADO

➤ Dependencia fundamental de la razón de reproducción de los reactores

➤ Más fácil, pero más caro, es conseguir  $RR \gg 1$  en reactores subcríticos que en los críticos. En los subcríticos hace falta un acelerador y una fuente intensa de neutrones.

➤ También es intrínsecamente más fácil conservarse por debajo de la supercriticalidad pronta: Chernobyl.

➤ Lo que convirtió en catastrófico los errores de los operadores fue la propia física del reactor: era inestable, por realimentación positiva

**No cabe repetir un accidente como ese (> 3 \$)**

# Minimización de la radiotoxicidad de los residuos por transmutación

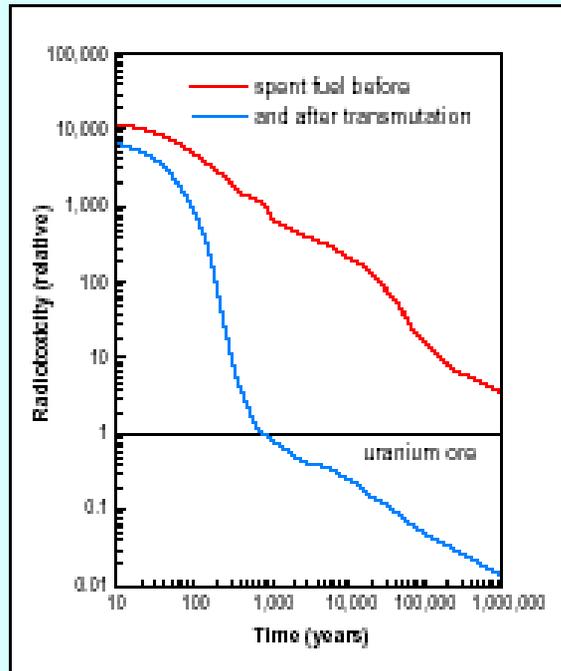


Fig. 1 – Ingestion radio-toxicity of 1 ton of spent nuclear fuel. With a separation efficiency of 99.9% of the long-lived by-products from the waste, followed by transmutation, reference radio-toxicity levels can be reached within 700 years

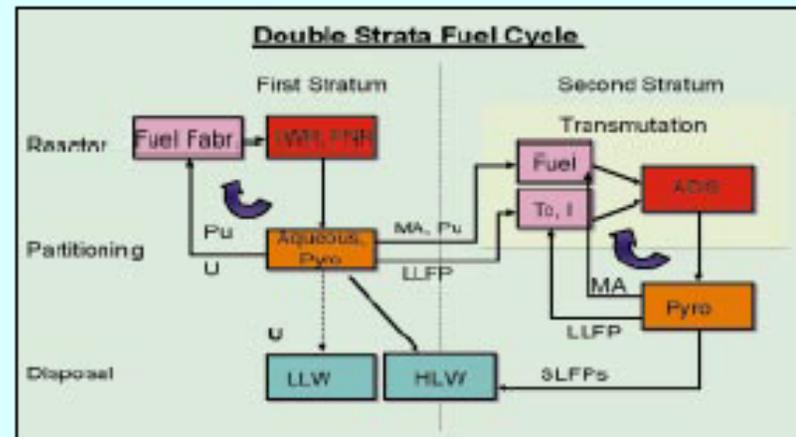
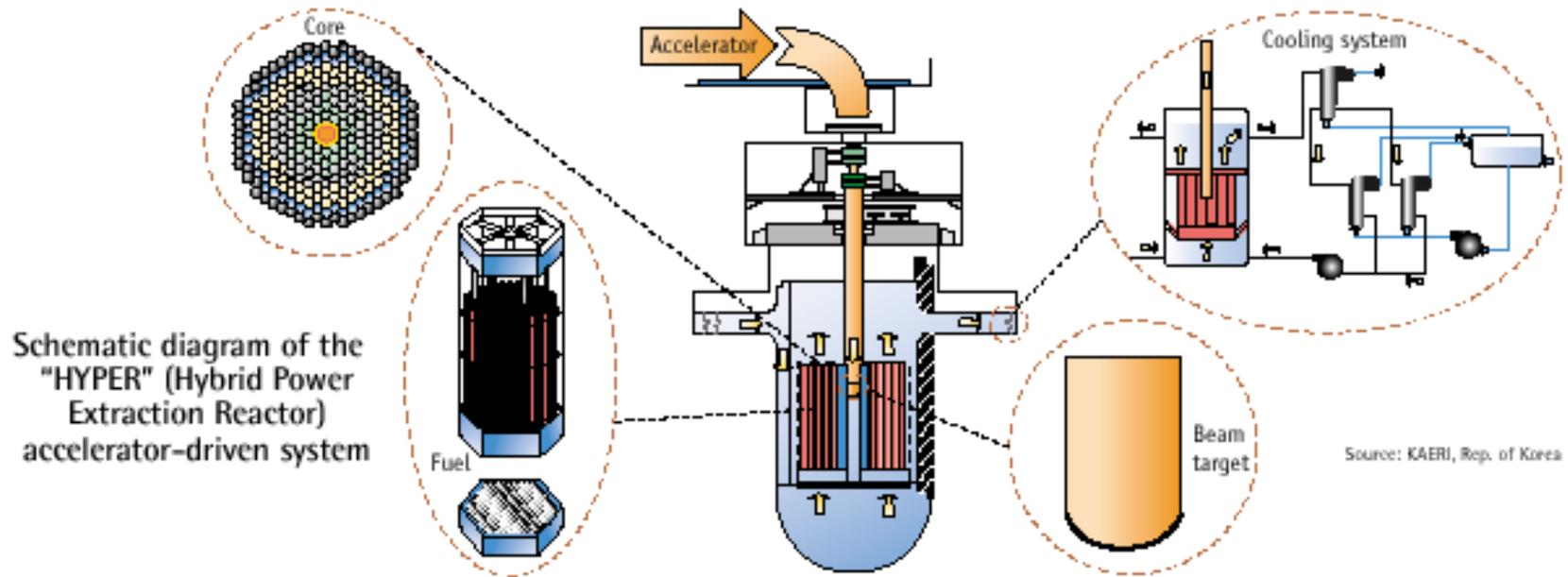


Fig. 2.4 – Schematic description of the transmutation of nuclear waste by ADS with a double strata fuel cycle (LLFP: long-lived fission products; SLFP: short-lived fission products, LLW: low level waste; HLW: high level waste)

# Posibilidad de reactores híbridos, aunque repugne al “establishment” nuclear

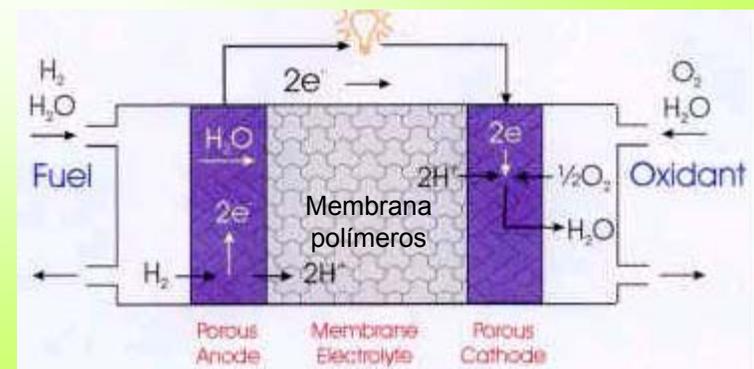
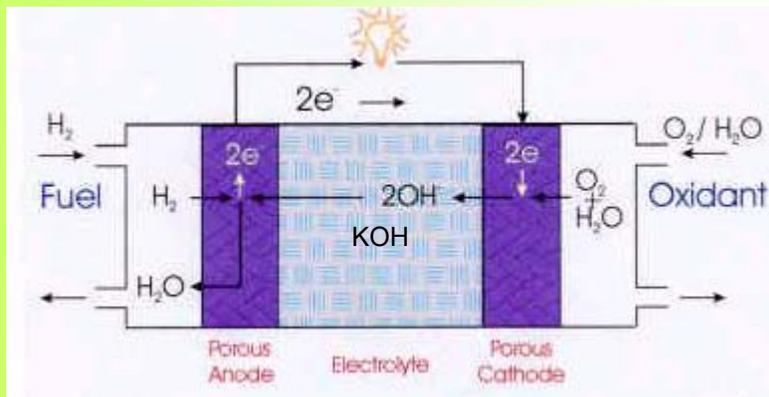
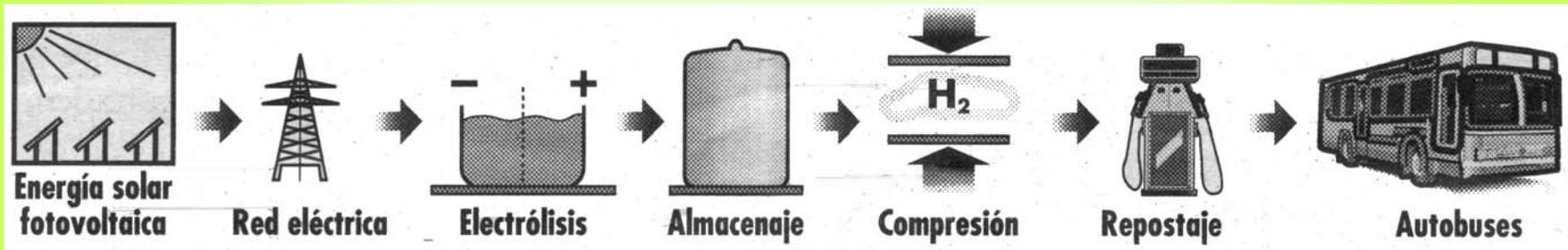


# Reactores subcríticos: ¿solución o falsa esperanza?

- Necesitan una fuente neutrónica intensa
- Pueden funcionar con varios \$ de reactividad negativa
- Pueden tener Razones de Reproducción muy altas
- Se controlan al controlar la fuente, que debe ser activada por un acelerador de partículas
- Pueden incorporar sistemas de descoyuntamiento del núcleo (y core-cathing) si no se refrigera la potencia residual

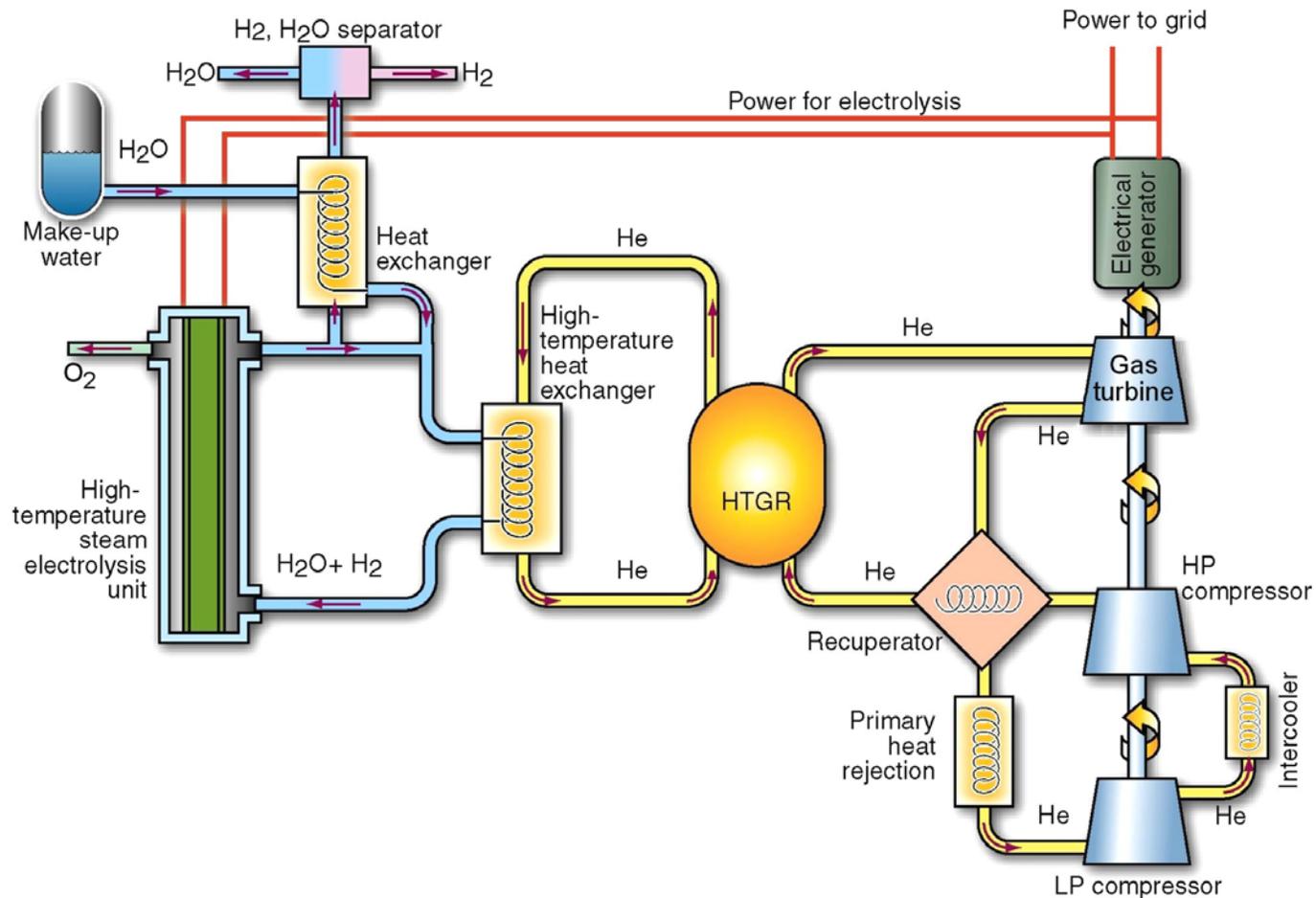
# La ELECTRIFICACIÓN creciente del siglo XXI

- Combinación de métodos clásicos con emergentes: **PILAS de COMBUSTIBLE**
- Electrificación en el transporte, vía **hidrógeno**
- Despliegue de la *Generación Distribuida* masiva
- Cuellos de botella: producción, distribución y almacenamiento de  $H_2$



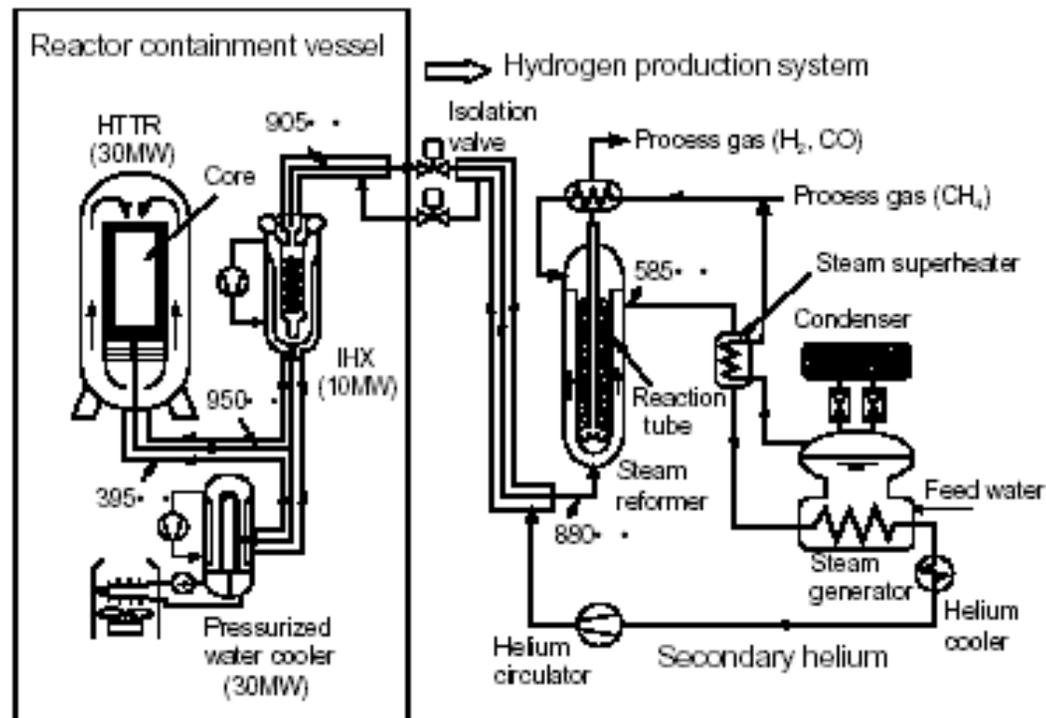
**Pilas de combustible: oxidación electroquímica del  $H_2$  con producción directa de electricidad**

# HTR for hydrogen production with hot electrolysis



<b>Clase I</b>			<b>T≤1000K</b>
<b>Proceso</b>		<b>Reacción endotérmica</b>	<b>T(K)</b>
Ciclos termoquímicos de temperaturas "moderadas"	Ciclos de la familia del azufre	Descomposición del ácido sulfúrico $H_2SO_4(g) \rightarrow SO_2(g) + H_2O(g) + \frac{1}{2}O_2(g)$	T≈1000
	Ciclos del tipo UT-3	Hidrólisis del bromuro de calcio y del bromuro de hierro $CaBr_2(s) + H_2O(g) \rightarrow CaO(s) + 2HBr(g)$ $3FeBr_2(s) + 4H_2O(g) \rightarrow Fe_3O_4(s) + 6HBr(g) + H_2(g)$	T≈900
<b>Clase II</b>			<b>1000K≤T≤2500K</b>
<b>Proceso</b>		<b>Reacción endotérmica</b>	<b>T(K)</b>
Ciclos termoquímicos de temperaturas elevadas	Reducción óxidos metálicos	Disociación del óxido metálico $M_xO_y \rightarrow xM + \frac{y}{2} \cdot O_2$	T≈2500
Descarbonización de combustibles fósiles	<i>Cracking</i>	Descomposición térmica de hidrocarburos $C_xH_y \rightarrow xC(gr) + \frac{y}{2} \cdot H_2$	T≈1000
	Reformado	Descarbonización de hidrocarburos ligeros $C_xH_y + xH_2O \rightarrow \left(\frac{y}{2} + x\right) \cdot H_2 + xCO$	T≈1100
	Gasificación	Descarbonización de hidrocarburos pesados $C_xH_y + xH_2O \rightarrow \left(\frac{y}{2} + x\right) \cdot H_2 + xCO$	T≈1100
<b>Clase III</b>			<b>T&gt;2500K</b>
<b>Proceso</b>		<b>Reacción endotérmica</b>	<b>T(K)</b>
Termólisis directa del agua		Disociación del agua $H_2O \rightarrow H_2 + \frac{1}{2}O_2$	T>2500

# Schematic flow diagram of HTTR hydrogen production system



Parmi les professions suivantes, quelles sont celles pour lesquelles vous avez le plus d'estime ?

	B	DK	D	GR	E	F	IRL	I	L	NL	A	P	FIN	S	UK	UE15
Les médecins	74,3	58,9	64,4	68,0	68,0	80,4	69,6	67,4	79,2	72,2	65,2	76,5	76,0	73,9	78,0	71,1
Les scientifiques	48,5	50,1	42,7	53,3	47,4	47,9	22,9	46,4	50,1	50,0	36,2	35,2	43,5	54,8	40,9	44,9
Les ingénieurs	31,5	28,7	26,6	24,7	32,1	33,8	24,3	27,1	31,9	29,2	16,5	26,4	27,5	24,5	36,3	29,8
Les juges	21,3	41,9	35,5	26,0	20,9	20,0	24,0	23,3	32,5	39,1	29,0	30,4	26,3	37,4	27,2	27,6
Les sportifs	30,5	14,7	16,8	49,1	32,8	26,3	35,0	19,3	22,5	27,5	23,1	22,3	17,1	12,9	23,3	23,4
Les artistes	32,2	19,2	16,4	31,8	25,8	30,3	13,4	29,8	26,4	29,6	13,7	24,9	25,6	17,5	14,8	23,1
Les avocats	17,4	21,3	21,1	17,5	15,2	15,4	16,2	12,5	20,3	24,7	15,6	15,5	14,0	20,3	22,8	18,1
Les journalistes	20,3	8,8	8,6	24,4	26,7	17,6	14,1	12,3	26,8	15,9	8,1	25,8	10,0	9,3	5,0	13,6
Les hommes d'affaires	17,8	11,9	9,0	14,5	16,0	10,6	18,4	18,1	17,1	13,7	16,0	15,6	18,6	11,2	14,6	13,5
Aucun de ceux-ci	4,7	7,9	8,9	6,5	8,0	5,6	6,2	6,7	3,6	7,6	9,1	4,8	4,0	6,9	5,1	6,9
Les hommes politiques	8,7	13,1	7,8	5,8	6,2	3,2	6,1	4,5	16,8	14,9	8,7	5,9	7,1	9,8	6,3	6,6
Ne sait pas	2,6	3,0	3,5	0,4	4,2	1,5	5,5	2,5	2,8	3,4	3,4	3,3	2,0	2,7	3,6	3,0

Principal escollo para el re-despliegue nuclear: aceptabilidad social y política

If all waste can be safely managed,  
nuclear power should remain an option

