

# Combustible usado: ¿Residuo o Fuente energética?

(Soluciones tecnológicas para el combustible usado)

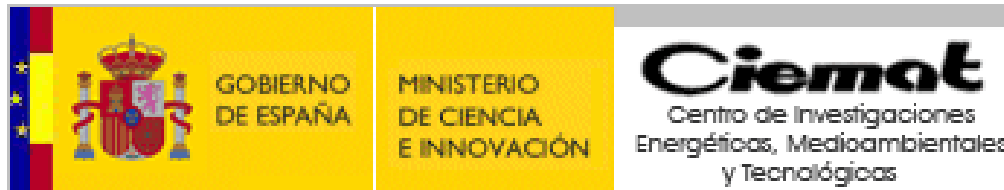
Javier Quiñones (Unidad de Residuos Radiactivos de Alta Actividad)  
Enrique M. González Romero (División de Fisión Nuclear)

Centro de Energías Medioambientales y Tecnológicas  
(CIEMAT)

Seminario:  
Congreso de los Diputados  
19 de noviembre de 2010

**Energía Nuclear:**  
*La Gestión del combustible Usado*

Convocado por  
La Asociación de ex Diputados y  
Ex Senadores de las Cortes Generales



Centro nacional de investigación en energía, medioambiente y sus tecnologías, del Ministerio de Ciencia e Innovación y tiene sedes en Madrid, Almería, Soria, Barcelona y Trujillo.

Su investigación cubre [todo tipo de energías](#), desde los distintos tipos de [renovables](#) hasta la energía [nuclear](#) o desde los [combustibles fósiles](#) a la [fusión](#), los distintos tipos de impacto ambiental y áreas de investigación básica. La mayor parte de las investigaciones se realizan en [colaboraciones internacionales](#) y en estrecha colaboración con la [industria](#).

La División de Fisión del CIEMAT investiga:

- la [seguridad de las centrales nucleares](#) actuales y futuras, actuando como centro de referencia para el Consejo de Seguridad Nuclear
- los [residuos radiactivos](#), tanto de alta actividad como de media y baja, como medirlos, minimizarlos y gestionarlos, apoyando a ENRESA
- la [innovación en tecnologías nucleares](#), manteniendo el conocimiento en ciencia y tecnología nuclear al máximo nivel internacional, y evaluando las nuevas opciones para la generación de electricidad, gestión de residuos, y otras aplicaciones de la fisión,
- Actúa como punto de contacto y referencia para la industria en múltiples foros científicos

En todas las investigaciones el CIEMAT evalúa, como agente independiente, las ventajas y dificultades de las distintas opciones científicas y tecnológicas y lo comunica/divulga al gobierno, otras instituciones públicas, industrias para que estos agentes elijan y tomen las decisiones en base a estas informaciones técnicas y sus propios criterios sociales, económicos, políticos, estratégicos o de oportunidad.

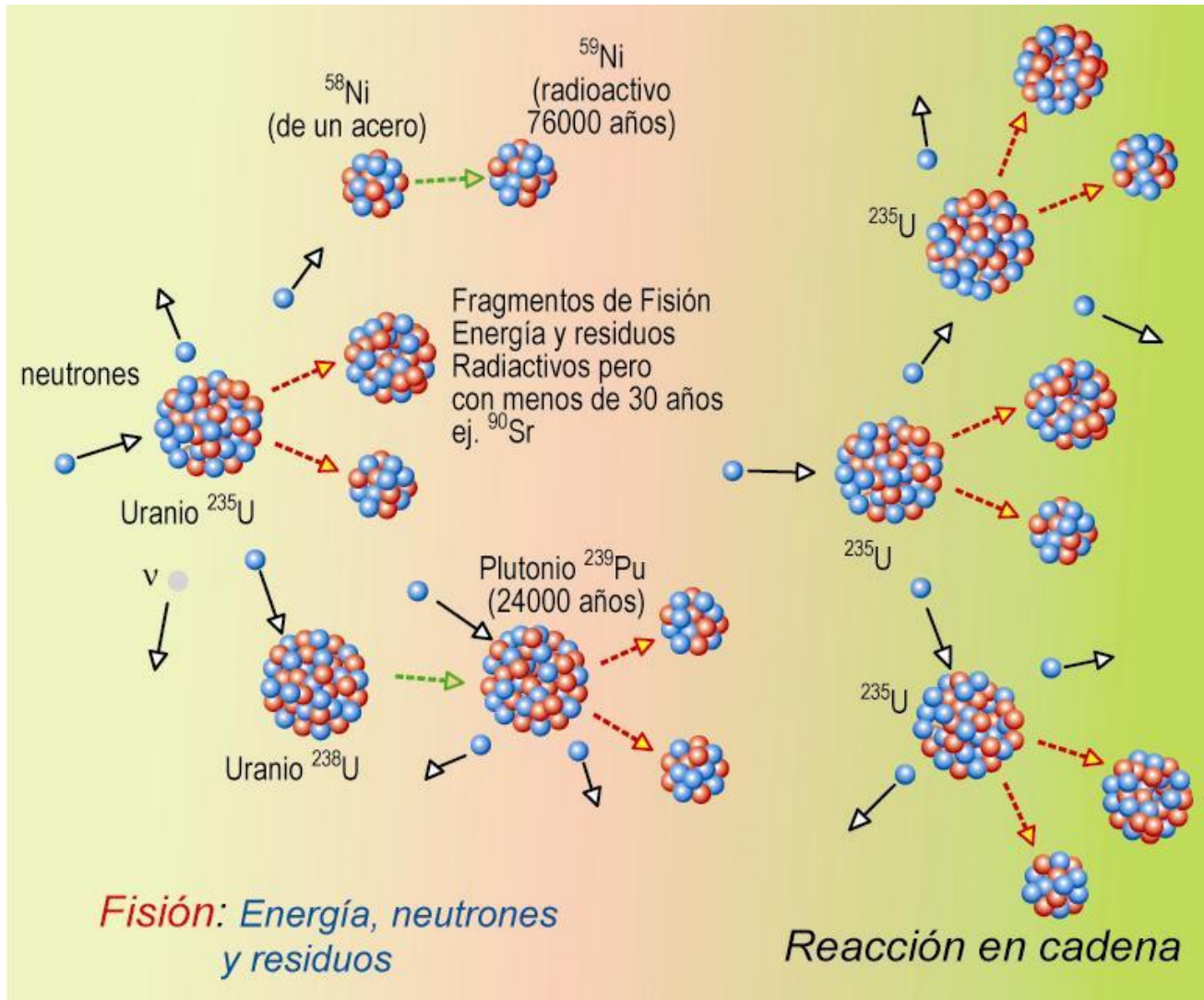
# Combustible usado: ¿Residuo o Fuente energética?

(Soluciones tecnológicas para el combustible usado)

Índice:

- El combustible usado hoy: un residuo radiactivo con soluciones seguras (España, Finlandia y otros países).
- Reutilizando parcialmente el plutonio hoy: más energía y menos residuos (Francia, Japón y otros países).
- Reactores rápidos reproductores – reutilizando de forma completa el plutonio y el uranio: mucha más energía y menos residuos a medio plazo
- Energía nuclear sostenible a largo plazo: Separación y Transmutación = Mucha más energía y muchos menos residuos
- Abriendo las posibilidades para el futuro: programas de I+D y formación

# Residuos y energía nuclear – Ciencia básica



## Fisión Nuclear:

Enorme cantidad de energía por unidad de masa de combustible

Residuos vida corta (FF: Sr90, Cs137,...) inevitables

Isótopos de vida larga (Plutonio y A.M.) dependiendo del tipo de reactor:

- Más Combustible
- Los residuos más difíciles de gestionar

Las ventajas (coste y garantía de suministro) son intrínsecas a la fisión  
Los residuos de vida larga son dependientes de la tecnología elegida

# Combustible usado: ¿Residuo o Fuente energética?

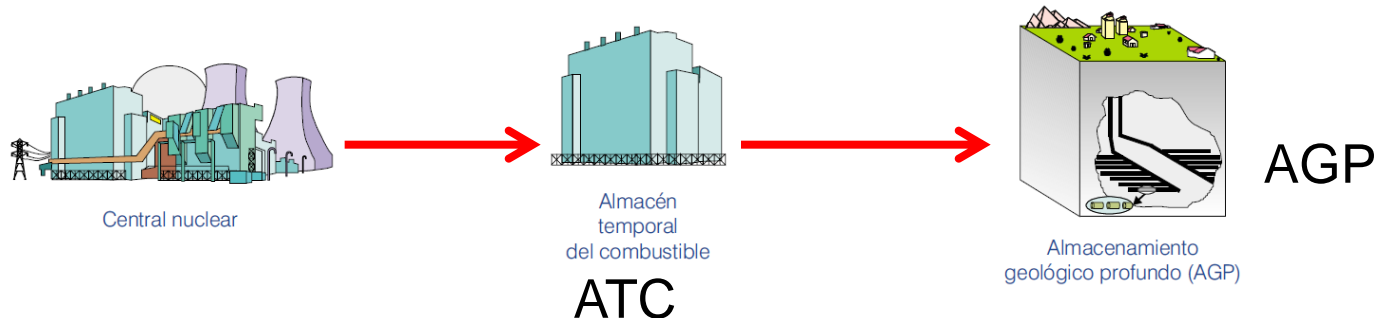
(Soluciones tecnológicas para el combustible usado)

## El combustible usado hoy:

un residuo radiactivo peligroso ...

... con soluciones seguras

(España, Finlandia y otros países).



# Los combustibles usados: residuos radiactivos de alta actividad son un problema muy complejo pero con soluciones

Los combustibles usados de las CCNN son residuos de alta actividad, RRAA :

- alta densidad en radioactividad,
- larguísima duración de algunos de sus componentes (los actínidos)
- contienen materiales susceptibles de su uso militar y
- desarrollan suficiente calor como para dañarse o dañar a su entorno.

**Escala: todos los combustibles usados de Suecia (= España) están en 2 grandes piscinas en el CLAB.**

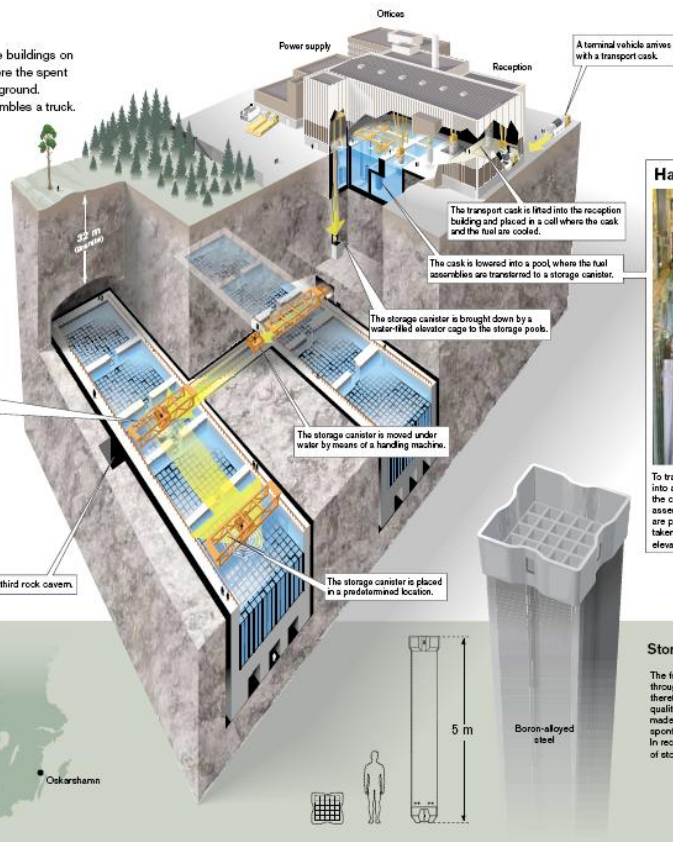
## The facility

Clab consists of two parts: one above ground and one underground. The buildings on the surface contain offices, workshops and control room. This is also where the spent nuclear fuel enters the facility and is translocated prior to transport under ground. The fuel comes to Clab in a transport cask on a terminal vehicle that resembles a truck.

## Handling under ground



The underground part of Clab consists of two rock caverns. Each rock cavern contains four water pools for storage plus a reserve pool. All handling under ground is performed by a handling machine. When a storage canister comes down, the machine is used to lift it out of the elevator cage. The machine then places the storage canister in a predetermined location in one of the pools.



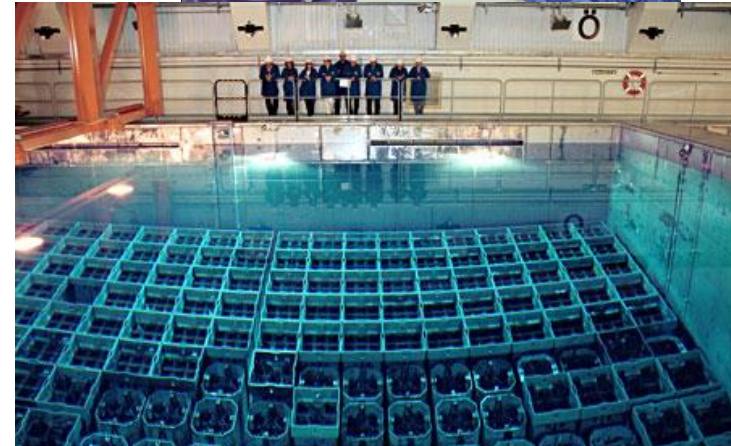
## Har



To transfer the fuel assemblies into the storage canister, the fuel assemblies are placed in the elevator cage.

## Stora

The fuel through the storage canister is made of special boron alloyed steel in pieces of storage.



## Facts about Clab

Location	Next to the Oskarshamn nuclear power plant
Start of construction	1980
Start of operation	1985, second cavern finished in 2005
Capacity	8,000 tonnes of spent nuclear fuel
Reception	About 220 tonnes of uranium plus six storage canisters of core components per year
Surface facility	Reception, offices, ventilation, electricity
Underground facility	Two rock caverns with eight storage pools, 40 metres beneath the surface
Personnel	About 90 Full-Time Equivalents

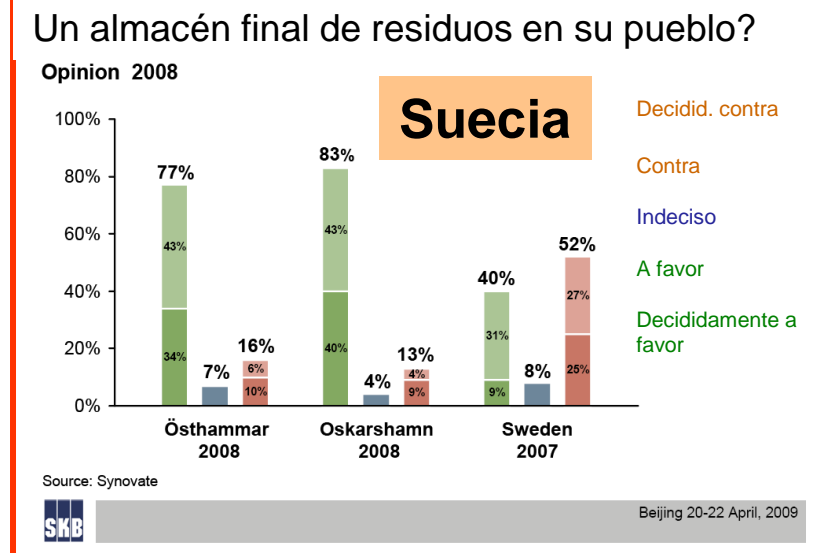
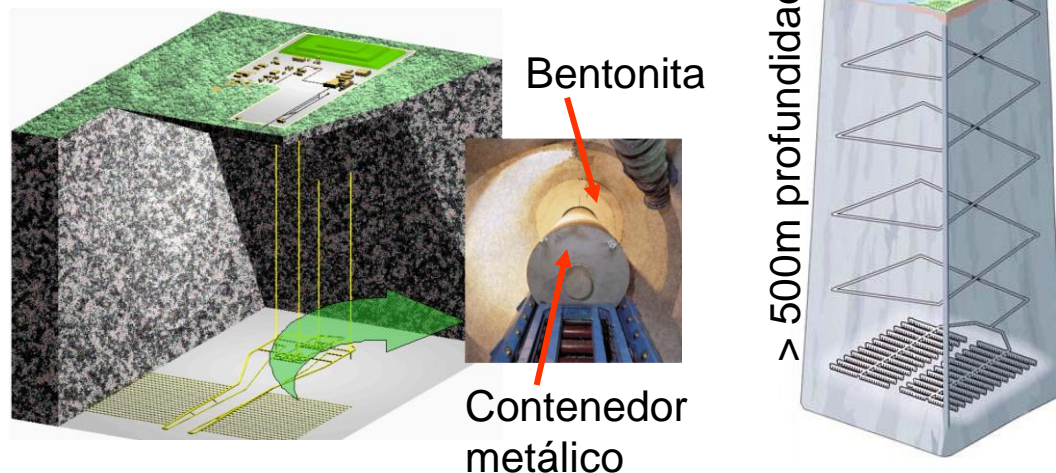


# Residuos radiactivos de Alta Actividad: un problema muy complejo pero con soluciones

## Soluciones actuales y posibles mejoras:

- 1) Almacenamiento en las piscinas de la central (excepto Trillo y Zorita: ATI)
- 2) Almacenamiento Temporal Centralizado, ATC, de unos 60 años
- 3) Almacenamiento geológico profundo, AGP
  - Considerado por toda la comunidad científica una solución viable para el aislamiento de los residuos a muy largo plazo, reduciendo en todo momento (durante la vida del AGP de miles de años) los efectos (dosis) a las personas a niveles inferiores a los de la radiación ambiente natural.
  - Dificultades emplazamiento en algunos países, pero con ejemplos de éxito en países de nuestro entorno: Finlandia, Suecia y Francia.
- 4) Posible reducción en un futuro próximo por Separación y Transmutación (selección y reciclado) y/o Reactores Rápidos (Residuos  $\Rightarrow$  Combustible)

## La solución clásica: AGP



## Combustible usado: ¿Residuo o Fuente energética?

(Soluciones tecnológicas para el combustible usado)

Reutilizando parte del plutonio hoy:  
más energía y  
pequeña reducción de los residuos  
(Francia, Japón y otros países).

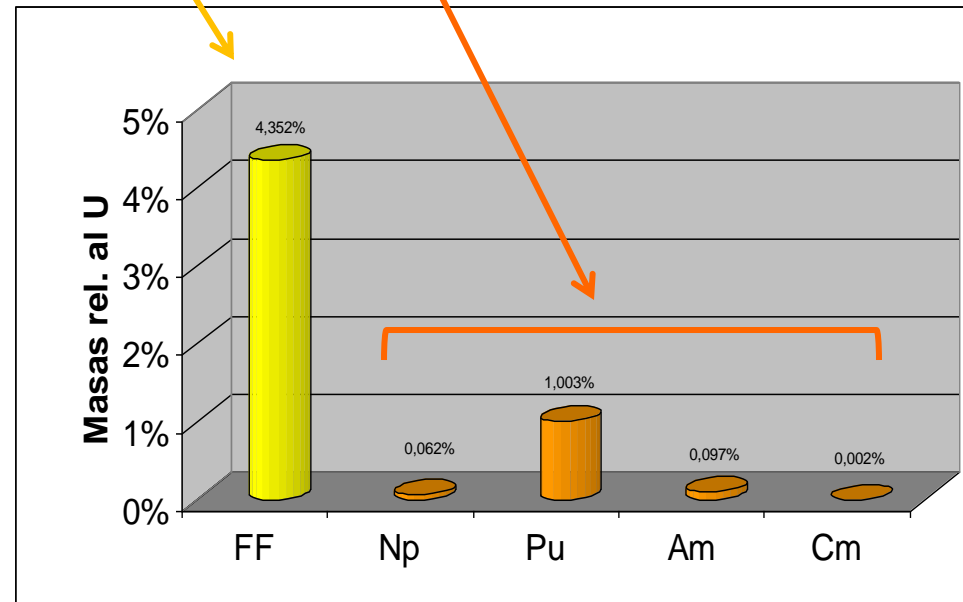
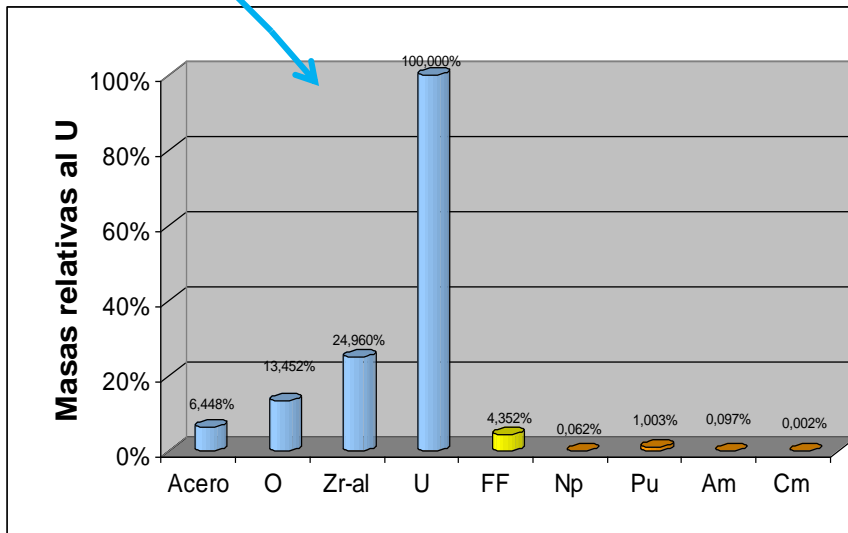
*(Usando tecnología comercial: PUREX, MOX y reactores actuales)*

# Residuos de Alta actividad: ¿Qué hay en los Combustibles usados?

**Uranio + materiales estructurales activados** : Gran volumen y masa, poca radiactividad.

**Fragmentos de Fisión**: 5% de los residuos en masa. La mayor parte de la radioactividad en la descarga. Muy radiactivos pero de vida corta (30 años). Cs y Sr la fuente de calor durante los primeros años en el AGP.

**Actínidos transuránicos (Plutonio, Neptunio, Americio y Curio)**: Menos del 1.5% del residuo en masa. La mayor parte de la radioactividad 50 a 100 años después de la descarga. Material fisionable. Su periodo de actividad oscila entre 10000 y 10.000.000 de años.



**El plutonio Pu239 es fisil como el U235**, la energía de fisión es la misma que para el U235 y sus residuos parecidos. Esto **permite fabricar combustible con este plutonio más Uranio natural o con restos del enriquecimiento**, evitando usar más Uranio enriquecido.

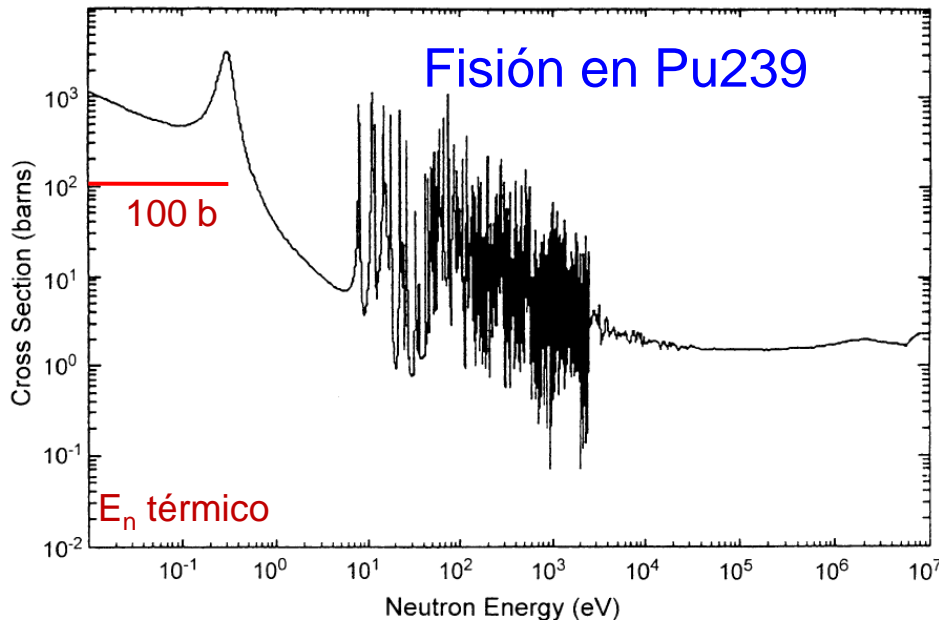
Los plutonios **Pu238, Pu240 y Pu242** no son fisiles sino muy absorbentes y emiten muchos neutrones por lo que **impiden el uso del Plutonio comercial para aplicaciones militares**.

Como solo hay un **1% de Pu/U** y se necesita aproximadamente un **8-10%** **hay que separarlo (reprocesarlo) y volver a mezclarlo con U en la proporción adecuada**. Fabricar MOX.

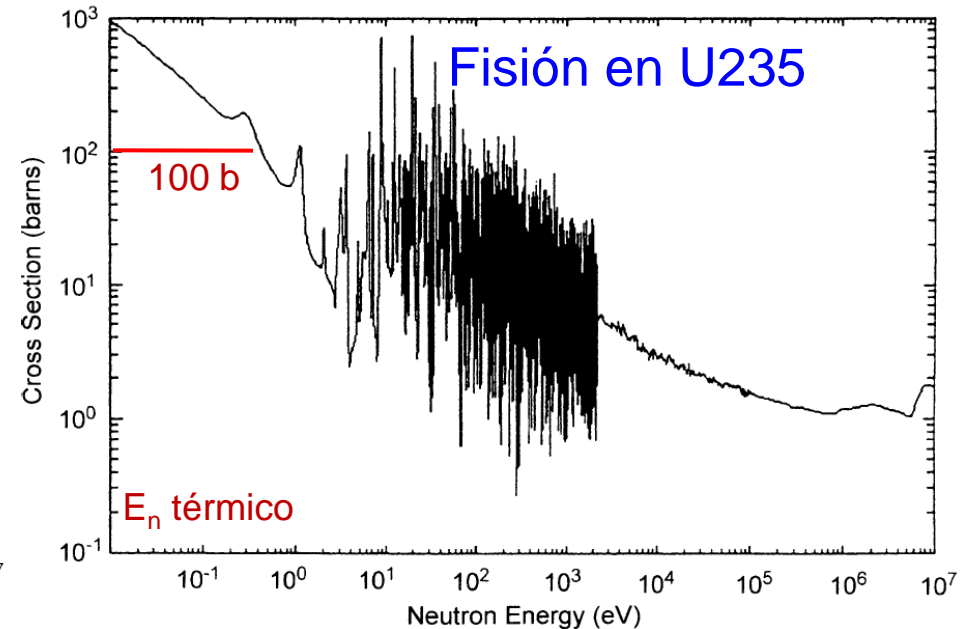
En el proceso se desechan los venenos neutrónicos y **materiales que dificultan el uso del combustible (fragmentos de fisión)**.

Esto se hace/se ha hecho **de forma comercial en la Hague en Francia (para F, B, D, CH, Nt y Japón) desde hace más de 20 años (1976) usando el proceso PUREX**.

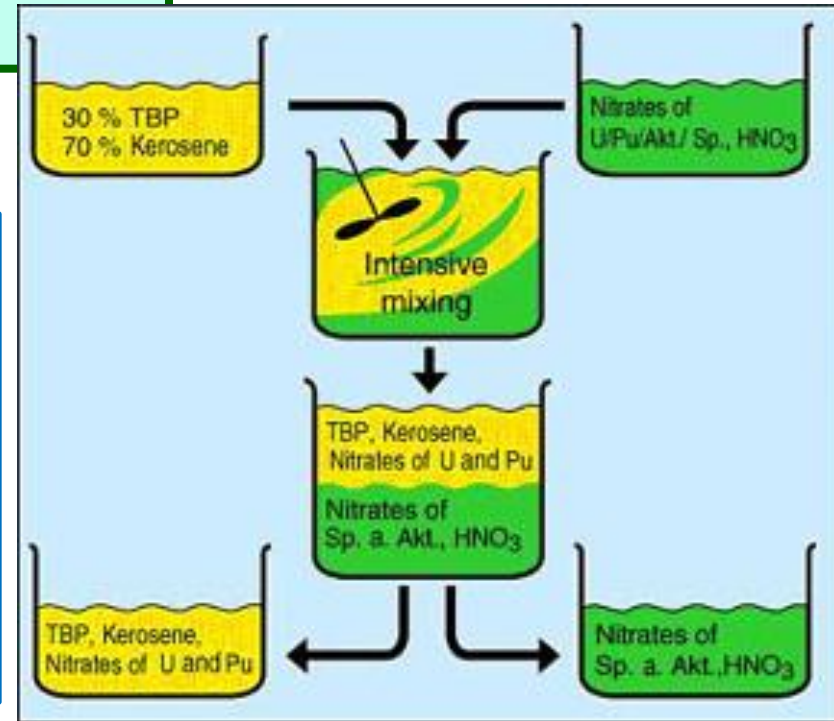
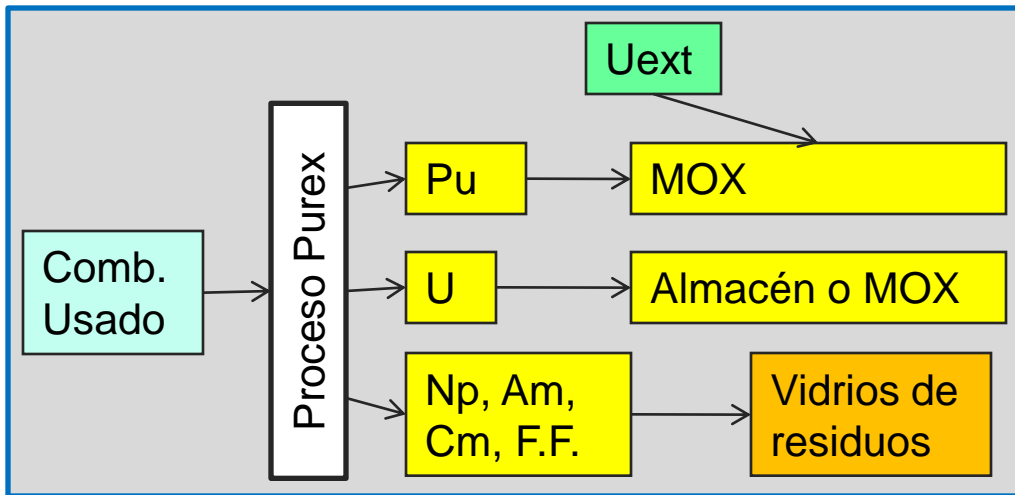
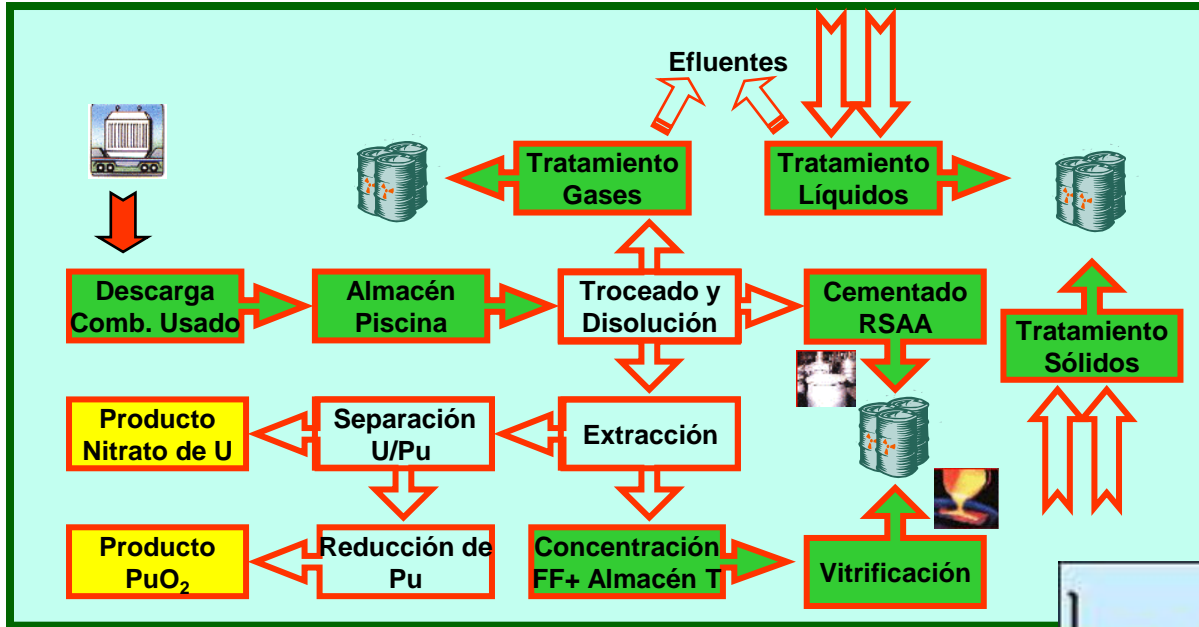
Pu239 Fission Cross Section MT = 18



U235 Fission Cross Section MT = 18



# Reprocesado PUREX. Separación comercial de U, Pu en La Hague (F)



## Plantas de reprocesado en el mundo

Country	Location	Capacity tU/a	Commissioning or operating period
B	Mol	80	1966-1974
G	Karlsruhe	35	1971-1990
F	Marcoule, UP 1	1,200	1958-1997
F	La Hague, UP 2	800	1966-1987
F	La Hague, UP 2-400	400	1976-2003
F	La Hague, UP 2-800	800/1000	1994
F	La Hague, UP 3	800	1990
GB	Windscale	300/750	1951-1964
GB	Sellafield, Magnox	1,500	1964
GB	Dounray	8	1980-1998
GB	Sellafield, THORP	1,200	1997
IND	Trombay	60	1965
IND	Tarapur	100	1982
IND	Kalpakkam	100	1998
J	Tokai Mura	210	1977
J	Rokkashomura	800	2006
RUS	Tscheljabinsk	400	1978
RUS	Krasnojark	1,500	

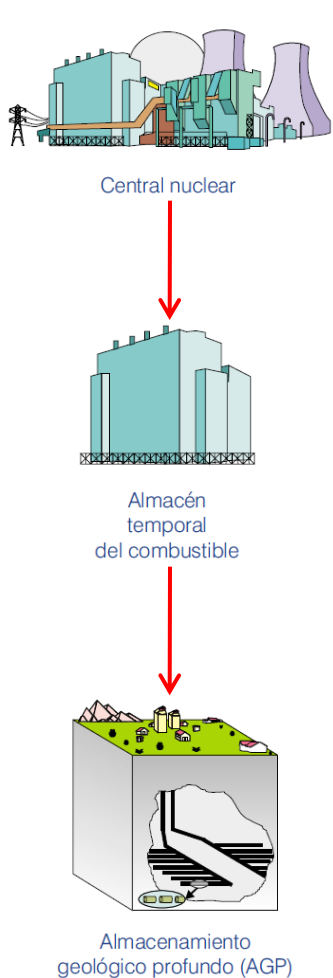
# Ciclo abierto con reutilización de Pu en reactores térmicos

*Aumenta el aprovechamiento de la energía hasta en un 30%, reduce ligeramente (10%) los residuos.*

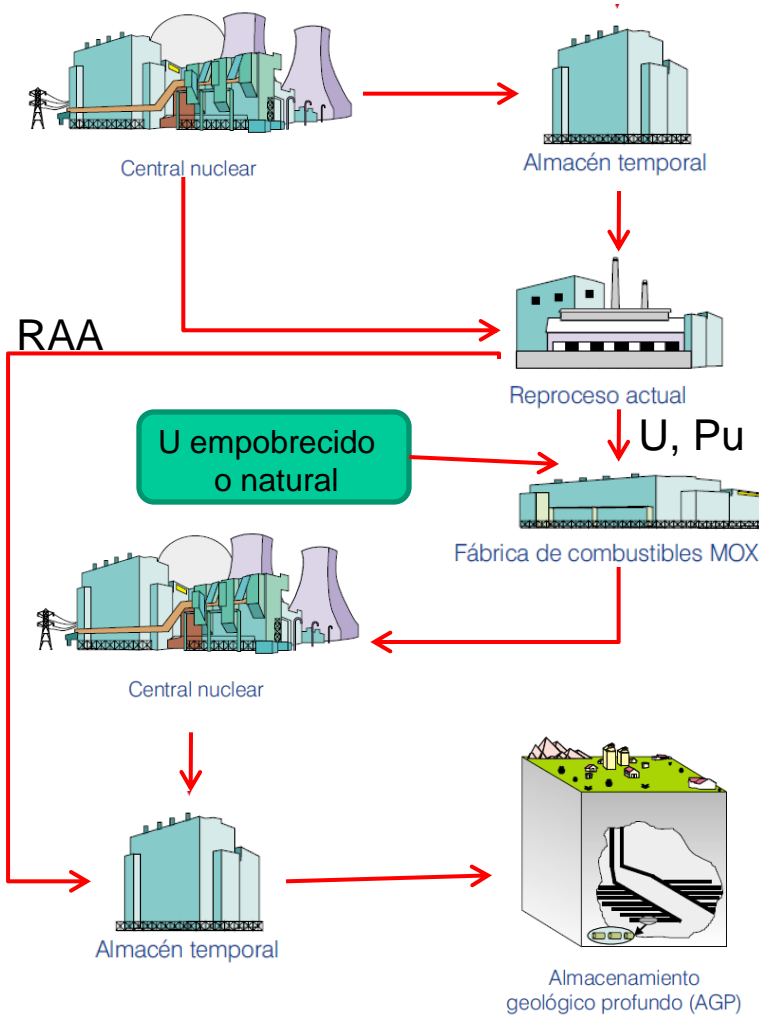
**Tecnología PUREX y MOX disponible y probada.**  
Comercializada en varios países.

**Limite a la fracción de MOX en el núcleo** por degradación de seguridad (absorción en Pu240). Los reactores de tipo EPR podrán usar MOX en todo el núcleo.

**Dificultad para repetir el reciclado** por degradación del vector isotópico de Pu. Problemas neutrónicos, en el reprocesado, y en los residuos finales. ⇒ **R. Rápido**



Ciclo abierto



Ciclo abierto con reutilización de Pu

# Combustible usado: ¿Residuo o Fuente energética?

(Soluciones tecnológicas para el combustible usado)

Reactores rápidos reproductores –  
reutilizando de forma completa el  
plutonio y el uranio:

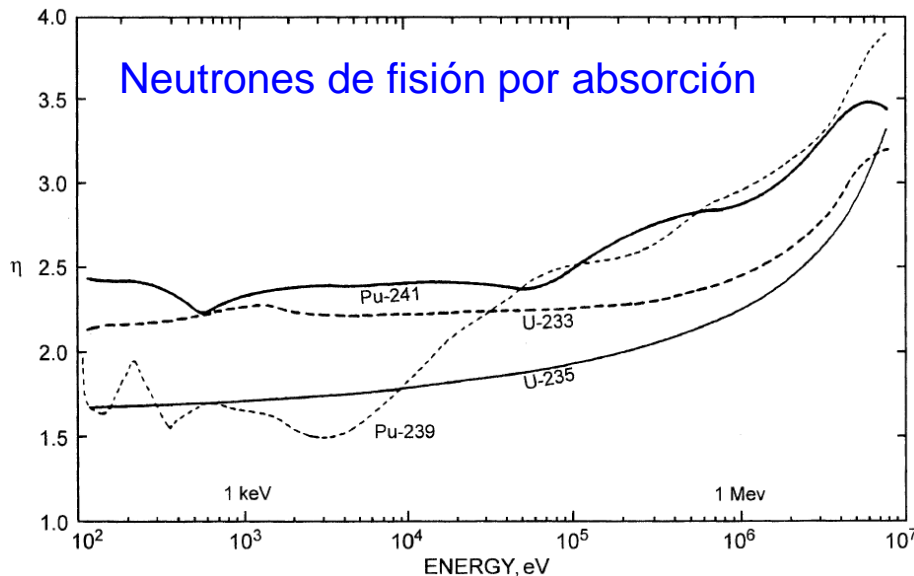
mucha más energía y menos  
residuos a medio plazo.

*(Tecnología ensayada no comercial, prevista para ser usada a partir de 2040  
U y Pu: de Residuos radiactivos a Combustible casi inagotable)*

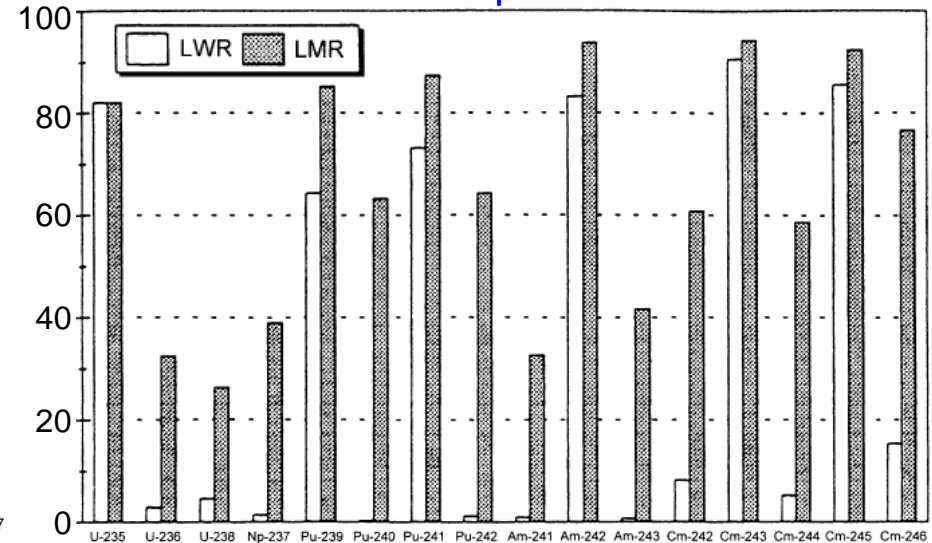
# Reactores rápidos reproductores (o iso-generadores)

Permiten mejorar la economía neutrónica para,

- según se quema Plutonio en el núcleo, regenerar nuevo Plutonio fisil a partir del Uranio U238 (el 99%),
- Permiten mejorar el uso de los recursos naturales usando todo el Uranio extraído de la mina, no solo el U235 (0.7%). Energía para miles de años
- y además mejorar la relación fisión/captura para limitar el crecimiento de transuránicos, reduciendo drásticamente los residuos de vida larga.
- Mejorar la sostenibilidad a largo plazo, manteniendo la seguridad, fiabilidad, y competitividad economía con otras formas de generar electricidad.



Probabilidad de fisión por neutrón absorbido



# Experiencia en reactores rápidos

Output:	MWe	MW (thermal)	Operation
<b>USA</b>			
EBR 1	0.2		1951-63
EBR II	20		1963-94
Fermi 1	66		1963-72
SEFOR		20	1969-72
Fast Flux Test Facility		400	1980-93
<b>UK</b>			
Dounreay FR	15		1959-77
Prototype FR	270		1974-94
<b>France</b>			
Rapsodie		40	1966-82
Phenix*	250		1973-2009
Superphenix 1	1240		1985-98
<b>Germany</b>			
KNK 2	21		1977-91
<b>India</b>			
FBTR		40	1985-
<b>Japan</b>			
Joyo		140	1978-
Monju	280		1994-96-?
<b>Kazakhstan</b>			
BN 350*	135	Desalación	1972-99
<b>Russia</b>			
BR 5 /10 Obninsk		5 /8	1959-71, 1973-
BOR 60 Dimitrovgrad	12		1969-
BN 600* Beloyarsk	560		1980-

CEFR (China) crítico Julio 2010

World Nuclear Association

<http://www.world-nuclear.org/info/inf98.html>

18 Reactores Rápidos

390 reactor\*años de experiencia



BN-350 (Kazajstán)

Desde 1996

50MWe y  
45000 l de  
agua  
destilada al  
día



Joyo (Japón)



Phénix (Francia)

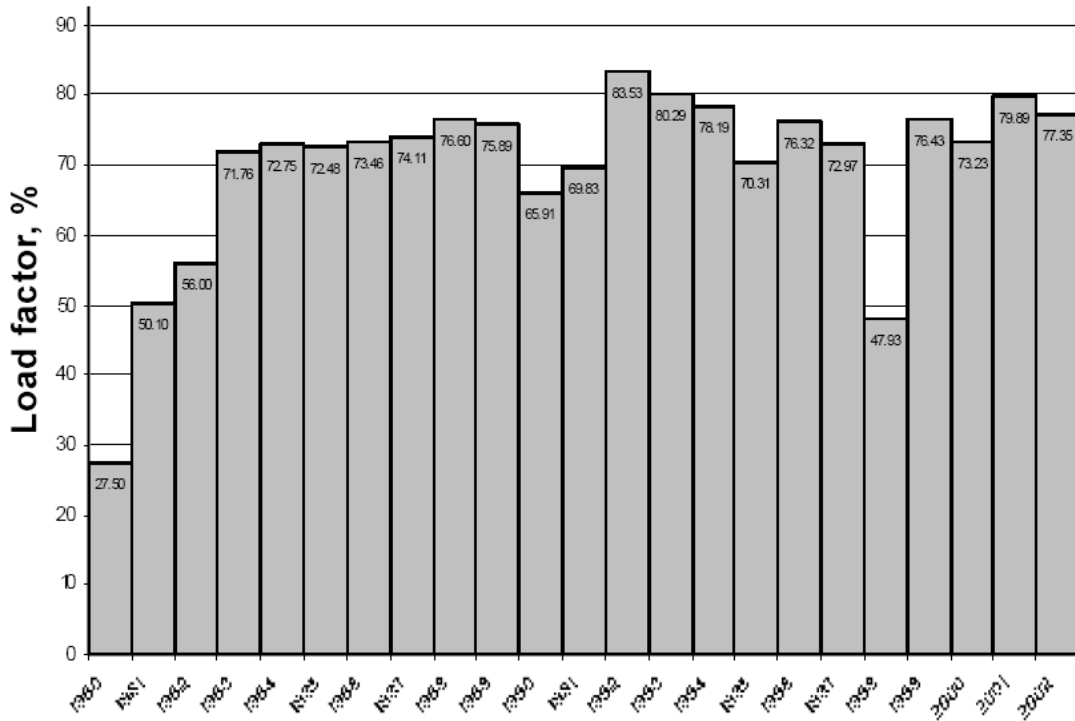


BN-600 (Beloyarsk  
Rusia):

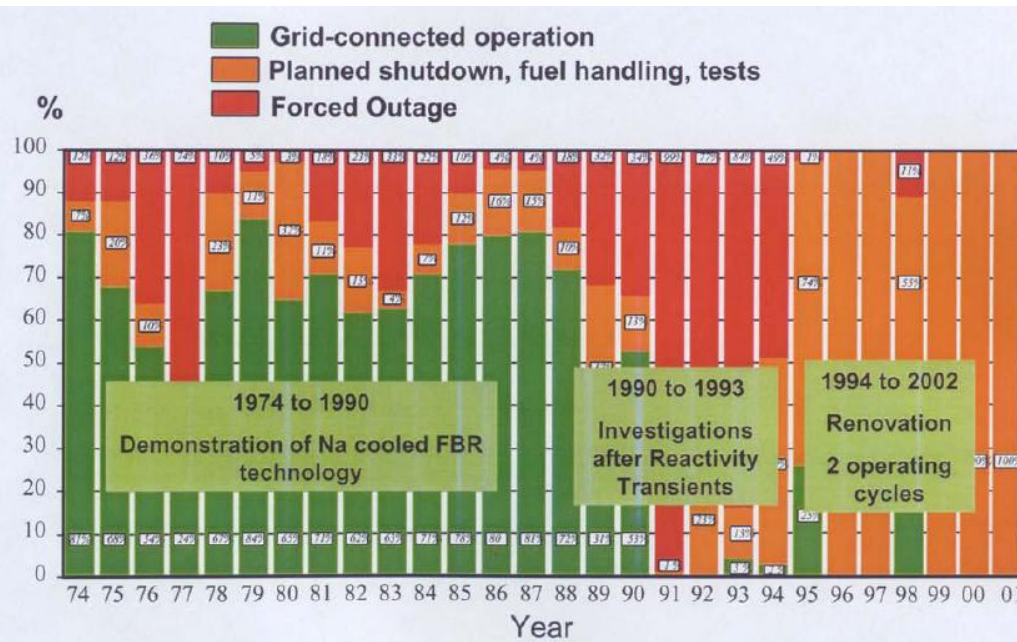
Factor de carga: 75%

Eficiencia: 43%

Más de 20 años  
efectivos de operación



BN-600 factor de carga 1980-2002 (1998 reparación de un gran componente).



Experiencia operativa de Phenix entre 1974 y 2001






Recientemente (Julio de 2010) China ha conseguido la criticidad De su nuevo reactor rápido CEFR

# Generación IV: Reactores rápidos para uso comercial en el futuro

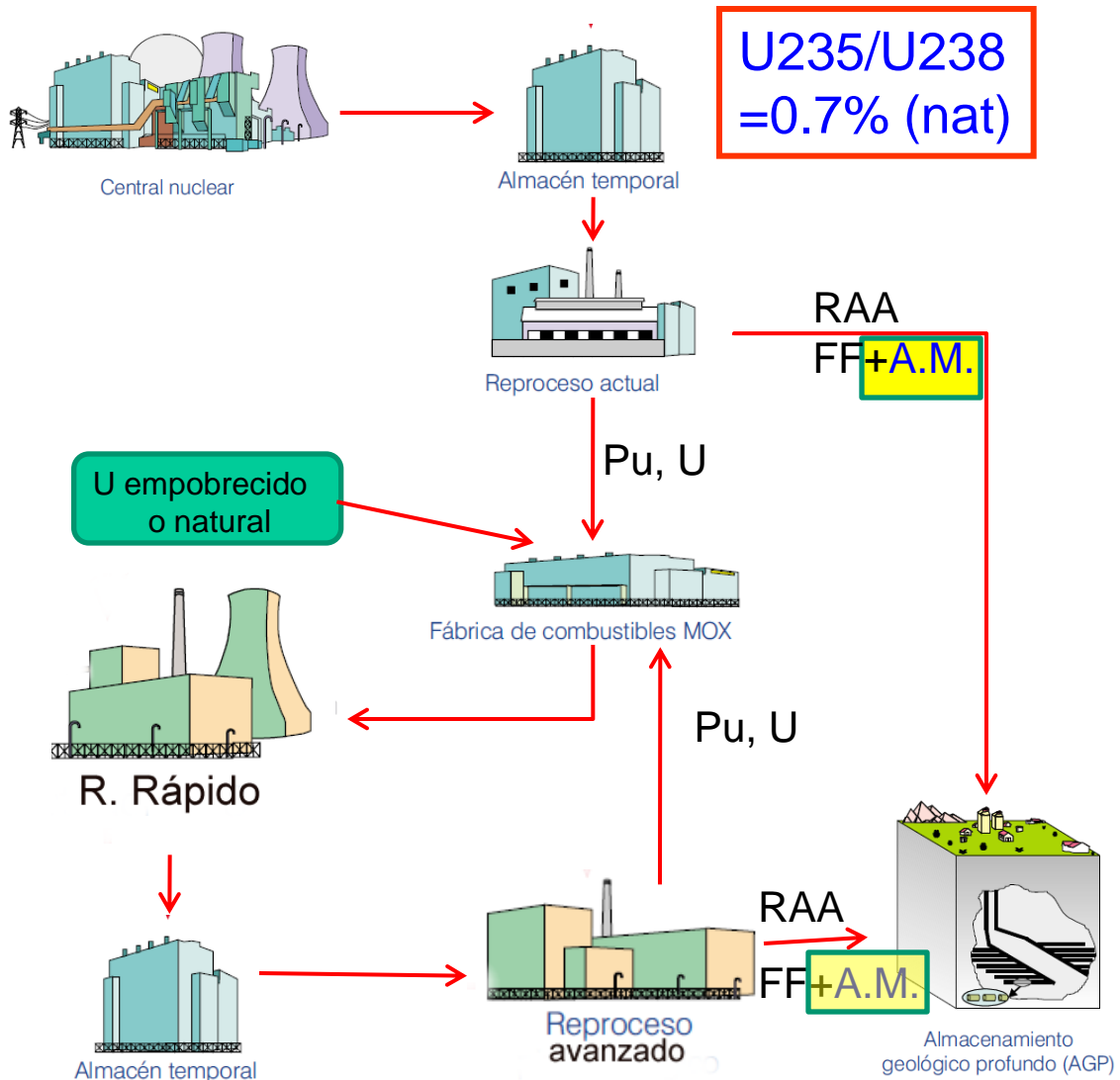
System	Neutron Spectrum	Fuel Cycle	Size (MWe)	Applications	R&D Needed
<i>Very-High-Temperature Reactor (VHTR)</i>	Thermal	Open	250	Electricity, Hydrogen, Process Heat	Fuels, Materials, H <sub>2</sub> production
<i>Supercritical-Water Reactor (SCWR)</i>	Thermal, Fast	Open, Closed	1500	Electricity	Materials, Thermal-hydraulics
<i>Gas-Cooled Fast Reactor (GFR)</i>	Fast	Closed	200-1200	Electricity, Hydrogen, Actinide Management	Fuels, Materials, Thermal-hydraulics
<i>Lead-Cooled Fast Reactor (LFR)</i>	Fast	Closed	50-150 300-600 1200	Electricity, Hydrogen Production	Fuels, Materials
<i>Sodium Cooled Fast Reactor (SFR)</i>	Fast	Closed	300-1500	Electricity, Actinide Management	Advanced recycle options, Fuels
<i>Molten Salt Reactor (MSR)</i>	Epithermal	Closed	1000	Electricity, Hydrogen Production, Actinide Management	Fuel treatment, Materials, Reliability

Reactores rápidos para el 2040

Apr 2008

									
VHTR	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
GFR		◆	◆	◆		◆			
SFR		◆	◆	◆	◆		◆	◆	
SCWR	◆	◆		◆					
LFR		◆		◆					
MSR		◆	◆						

Partners: NRCan JRC CEA JAEA, ANRE MEST, KOSEF PSI DOE CAEA, MOST DME



U235/U238  
=0.7% (nat)

# Reactores rápidos y Multireciclado de Pu+U

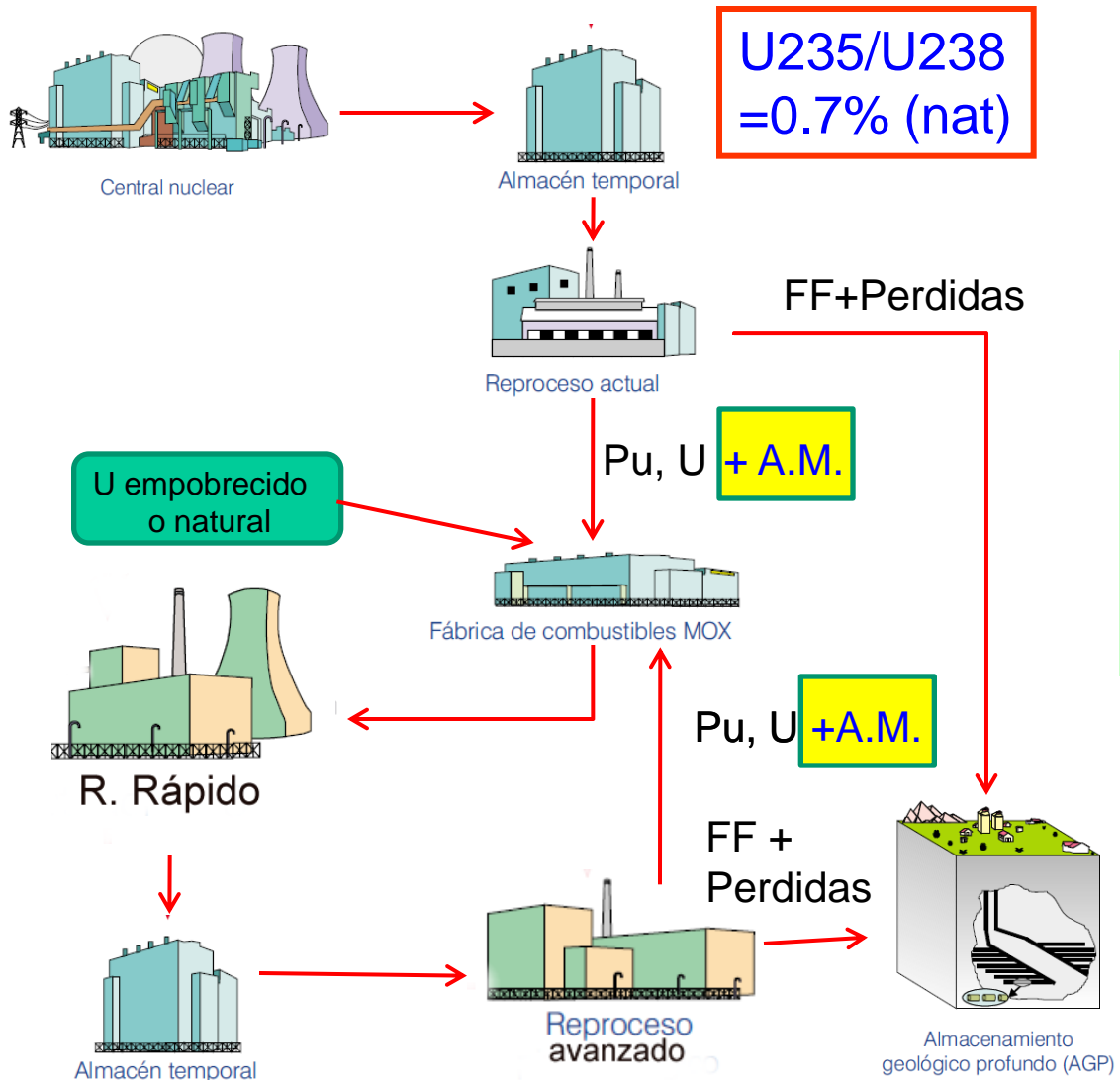
Se aprovecha todo el U238 multiplicando por 30-50 la energía extraída.

Si solo se recicla el Pu se reducen los residuos de alta actividad y vida larga por 10.

Tecnología ensayada o disponible pero mejorable.

Con los precios actuales del U enriquecido, del reprocesado y de los reactores rápidos no son competitivos con los reactores actuales, pero probablemente lo serán en el futuro, y pueden ser competitivos con otras fuentes de energía.

Generación de Pu desde el U238  
Multireciclado de Pu y U



## Reactores rápidos y Multireciclado de Pu+U+ Actínidos Minoritarios

Se aprovecha todo el U238 multiplicando por 30-50 la energía extraída.

Si solo se recicla el Pu se reducen los residuos de alta actividad y vida larga por 10. Si también se reciclan los A.M. se gana un factor 100.

En los RR de sodio el contenido en A.M. (Am) está limitado (<5%) por los parámetros de seguridad.

Con los precios actuales del U enriquecido, del reprocesado y de los reactores rápidos no son competitivos con los reactores actuales, pero probablemente lo serán en el futuro.

Generación de Pu desde el U238  
Multireciclado de Plutonio, Uranio  
y de actínidos minoritarios

**Combustible usado:  
¿Residuo o Fuente energética?**

(Soluciones tecnológicas para el combustible usado)

**Energía nuclear sostenible a largo  
plazo:**

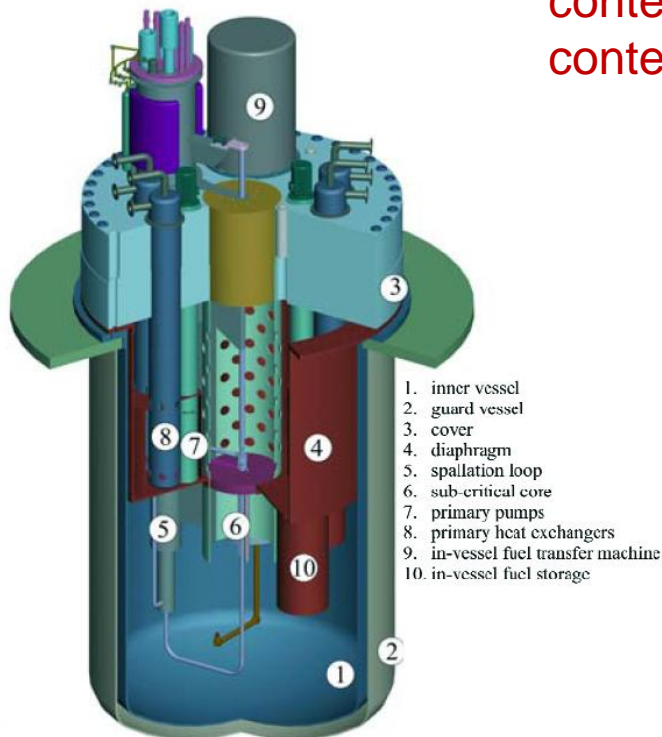
**Separación y Transmutación =  
Mucha más energía y muchos  
menos residuos**

*(Tecnología en fase de investigación: debería estar totalmente demostrada y utilizable para el 2040)*

# ADS: transmutadores especializados

Los ADS, sistemas subcríticos de espectro rápido operados por acelerador, están diseñados para no mantener la reacción en cadena, una fuente externa (acelerador + fuente de espalación) para funcionar. Ante cualquier circunstancia se paran. Esto los permite operar de forma segura en condiciones y con combustibles inaceptables en reactores críticos

Los ADS cuentan con la suficiente flexibilidad para aceptar combustibles dedicados a la transmutación con altos contenidos en Plutonio y Actínidos Minoritarios y bajo o nulo contenido de U.



50-100 MWth MYRRHA/XT-ADS  
[SCK•CEN]

IP-EUROTRANS (6PM-Euratom) con los conceptos y tecnologías de los distintos componentes de un ADS para la transmutación dedicada

## 7PM EURATOM CDT

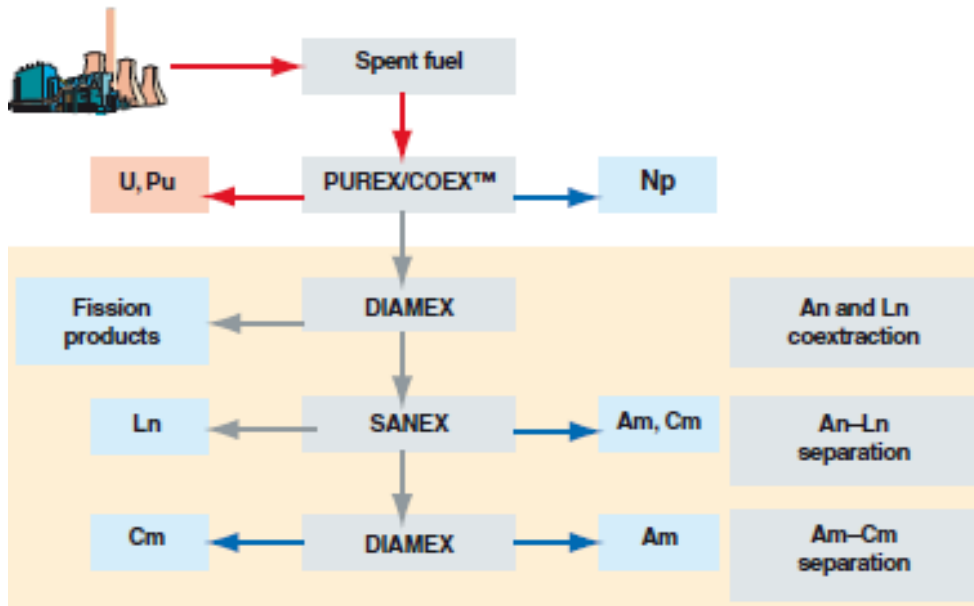
Diseño detallado de un demostrador Myrrha XT-ADS de 50-100 MW para ser instalado en SCK-CEN (Bélgica) y operable antes de 2020.

El proyecto Myrrha ha sido aprobado por el gobierno belga en marzo de 2010. Forma parte de la IIE ESNII lanzada el 15 de Noviembre de 2010

# Conceptos de reprocesado avanzados

Nuevos conceptos con variantes del PUREX para separar también los actínidos minoritarios como el DIAMEX, SANEX, y para reducir los riesgos de proliferación realizando extracción agrupada de actínidos como en GANEX o coextracción de varios actínidos simultáneamente.

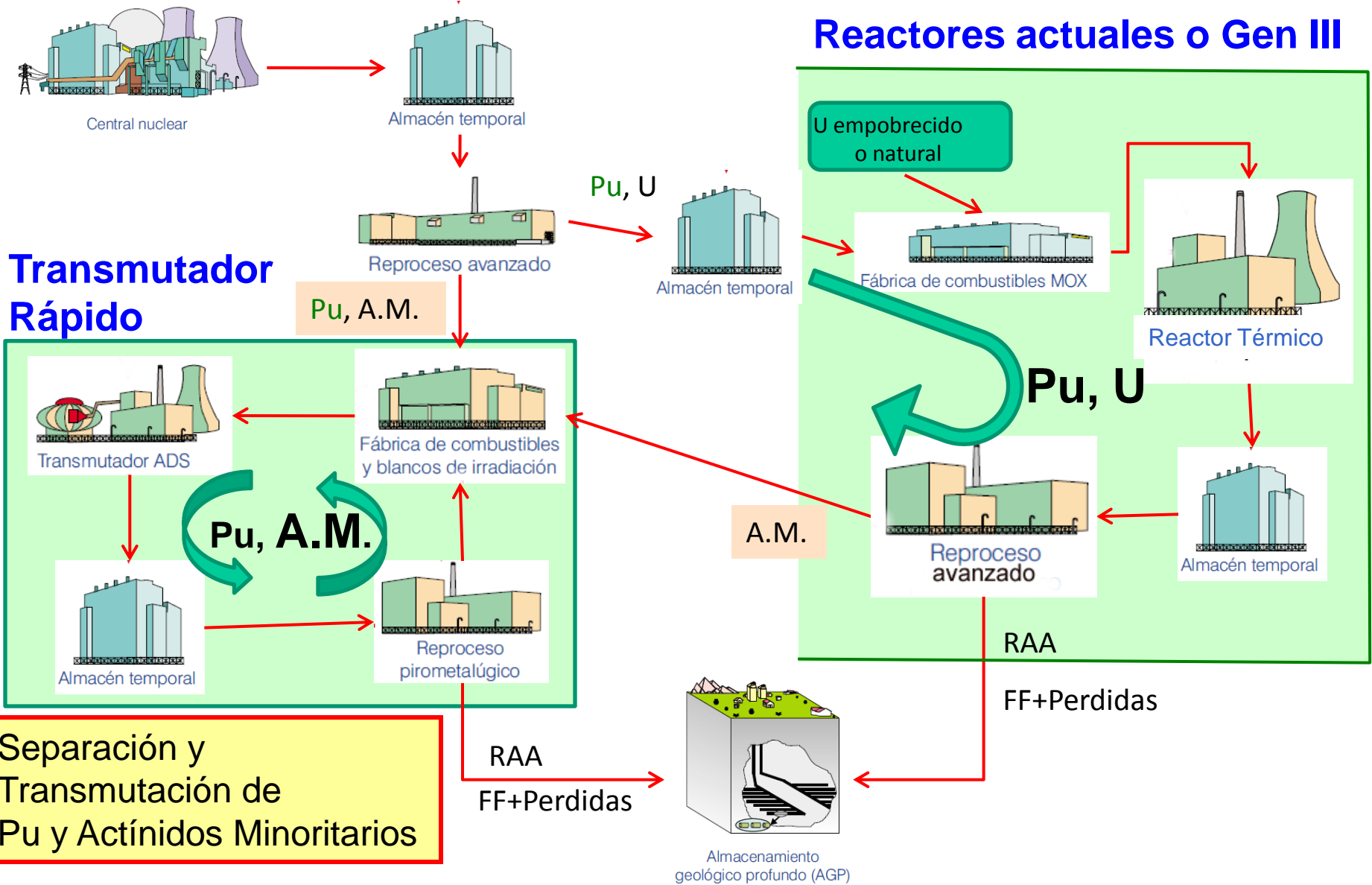
Para combustibles especialmente activos o calientes (térmicamente) que aparecerán en reciclados múltiples de Pu y A.M. – e.g. En el ADS, se han diseñado técnicas piro-metalúrgicas.



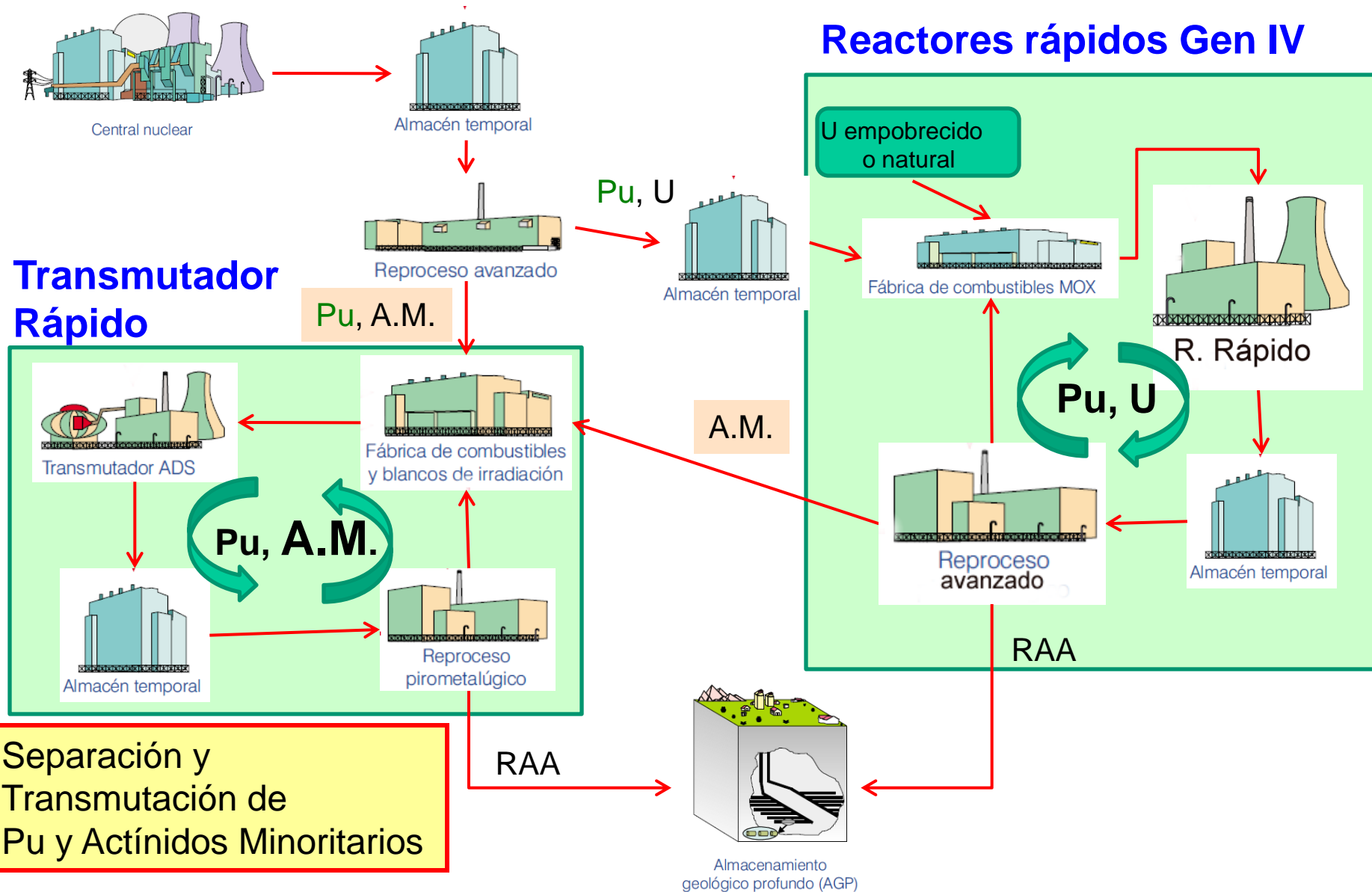
EURATOM: EUROPART+ ACSEPT  
Validación y estudios a escala preindustrial de técnicas hidro- y piro-metalúrgicas avanzadas.

Hay nuevas instalaciones en preparación en ATALANTE y La Hogue para ensayar estos desarrollos.

# Ciclo para minimizar los residuos radiactivos con Separación y Transmutación de todos los actínidos, caso de mínima introducción de nueva tecnología nuclear.



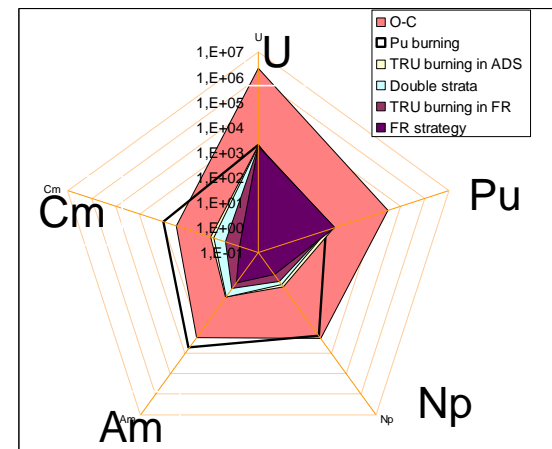
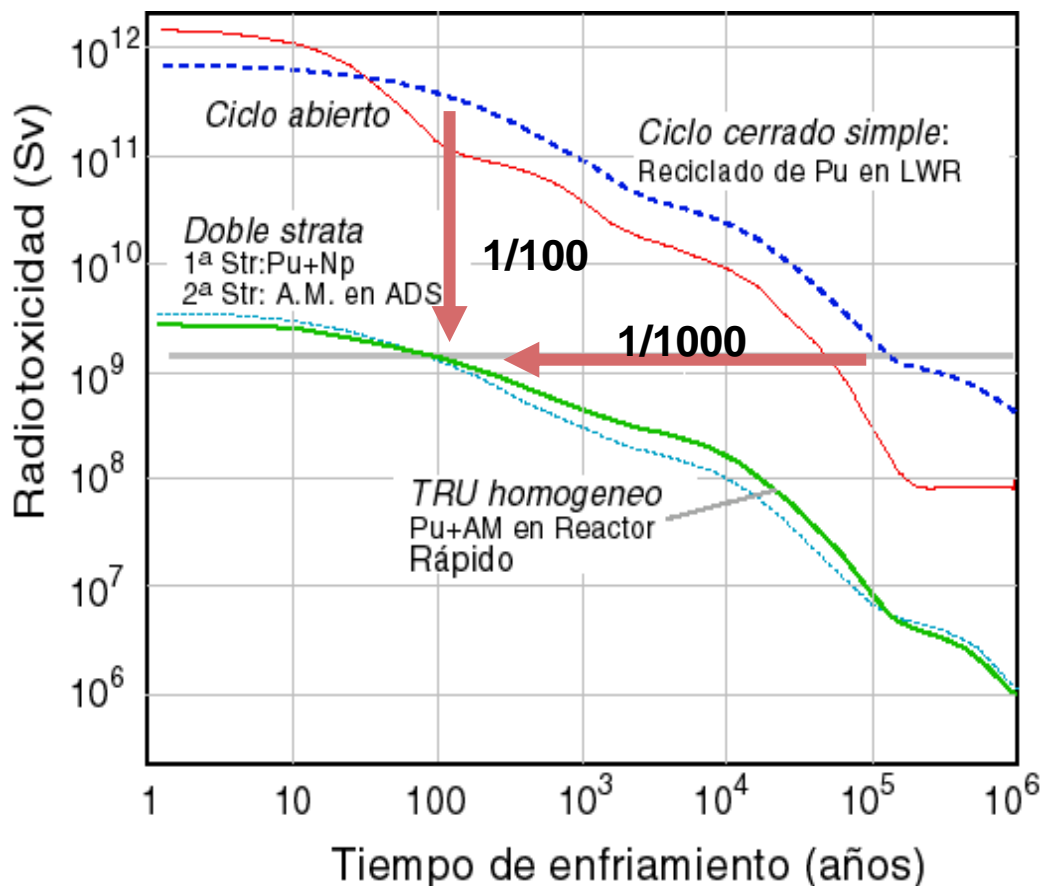
# Ciclo sostenible con optimización de recursos y rentabilidad en cada momento y Separación y Transmutación de todos los actínidos



# Efectos de la Separación y Transmutación de Uranio, Plutonio y Act. Minor.: Con reactores rápidos o con sistemas subcríticos ADS: Inventario y Radiotoxicidad

Radiotoxicidad en función del tiempo e inventario final:

- Reducción 1/10 si solo se recicla el Pu 1/100 cuando se transmuta Pu+MA
- Contribución pequeña de los RMBA
- Reducción en los tiempos con mismo nivel de riesgo de un factor 1000 desde 200000 a 200 años.



# Efectos de la Separación y Transmutación de Uranio, Plutonio y Act. Minor.: Reducción de calor y tamaño/número de AGPs

La transmutación de Pu + A.M. reduce drásticamente el calor de desintegración de los RRAA que pasa a estar dominado por el Sr y Cs, decayendo en 100 años.

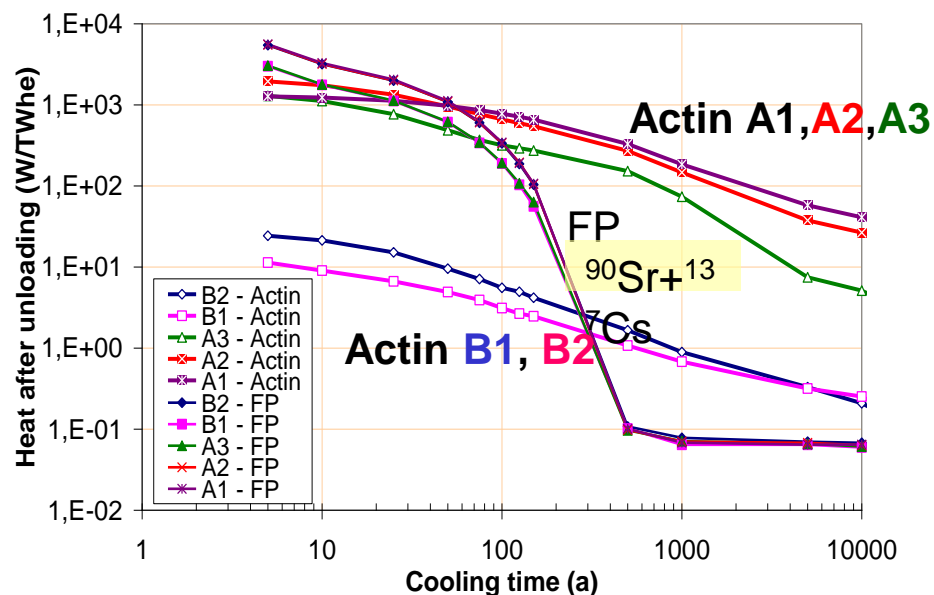
Esta reducción de fuente de calor permite **reducir la longitud de galería del AGP**, dependiendo de la formación geológica y diseño del AGP:

**Transmutación Pu+A.M. +50 años:** reducción 1.-6; **+150 años:** reducc. 10

**Transmutación Pu+A.M. + separación de Sr + Cs\* + 50 años:** reducc. 13

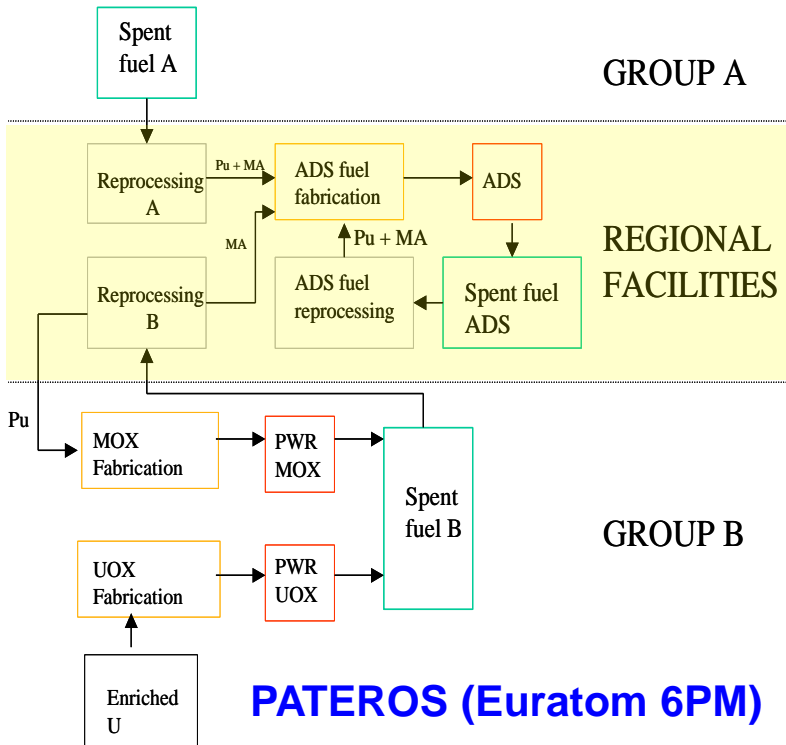
**Límite teórico reducción 40.**

**Dosis en superficie del AGP:**  
Reducción muy pequeña en escenarios normales para el AGP y efectos mayores en escenarios menos probables.



*RED-Impact (UE -FP6)*

# Soluciones regionales para los ciclos avanzados



## Cooperación entre varios países con distintas políticas para la energía nuclear.

Discutidos en foros internacionales: [NEA/OCDE](#), [OIEA](#), [GNEP \(EEUU\)](#) y [Rusia](#).

- Minimizar los costes de desarrollo de las nuevas tecnologías, y
- Reducir los riesgos de proliferación asociados a una eventual dispersión de las técnicas de reprocesado,
- Compartir instalaciones costosas
- Optimizar el uso de las instalaciones en el tiempo.

Los escenarios muestran el **valor añadido** para los países suministradores de servicios y para los receptores que pueden **gestionar sus RRAA** de una manera menos costosa y en **plazos mucho mas reducidos**.

Entre los servicios compartidos se discuten: **Enriquecimiento de U**, **reprocesado de combustibles usados**, **fabricación de combustibles especiales**, **transmutación**, y otros.

# Combustible usado: ¿Residuo o Fuente energética?

(Soluciones tecnológicas para el combustible usado)

## Abriendo las posibilidades para el futuro:

## programas de I+D y formación

Master en Energía Nuclear  
y sus aplicaciones del  
CIEMAT: MINA

(Mejorando cada día y preparando a las siguientes generaciones)

# Gran esfuerzo internacional de I+D en nuevas tecnologías del ciclo de combustible y nuevos reactores para Mejorar la sostenibilidad a largo plazo

## Proyectos del 4PM, 5PM, 6PM y 7PM de EURATOM

PDS-XADS, RED-IMPACT, EUROTRANS, EUROPART, ACCEPT, CDT, CP-ESFR, LEADER, ...

## Grupos de expertos de la NEA/OCDE

WPFC, ...

## Grupos de expertos de la OIEA

INPRO (GAINS, ...)

## Generación IV

GIF

## SNE-TP

Plataforma Tecnológica para la Energía Nuclear Sostenible:  
Vision, SRA, DS

## Iniciativas nacionales

Francia, Japón, EEUU, Rusia, ...  
ENRESA, CEIDEN

**España participa muy activamente en la I+D con el CIEMAT, Universidades y Empresas**

Solución definitiva

Competitiva en cada etapa

Segura en cada momento

Sostenible a largo plazo

- Opt. uso recursos naturales
- Minim. Residuos finales
- Minim. Impacto ambiental
- Minim. Riesgo proliferación

Varias etapas sucesivas y complementarias:

- Tecnología segura y competitiva en cada etapa
- Balance óptimo entre etapas

Aunque cada país, podrá optar por soluciones individuales, ***a nivel global para extender el uso de la energía nuclear a más países y mantener su operación hasta el final del siglo será necesario reutilizar el combustible usado.***

# Coordinación de la I+D a nivel europeo

La **SNETP** (The Sustainable Nuclear Energy Technology Platform) una plataforma para proporcionar la tecnología para una energía nuclear (de fisión) sostenible a largo plazo en la UE y que la industria europea pueda exportarla a otros países.



## Industry:



## Research / Engineering:



## Academia:



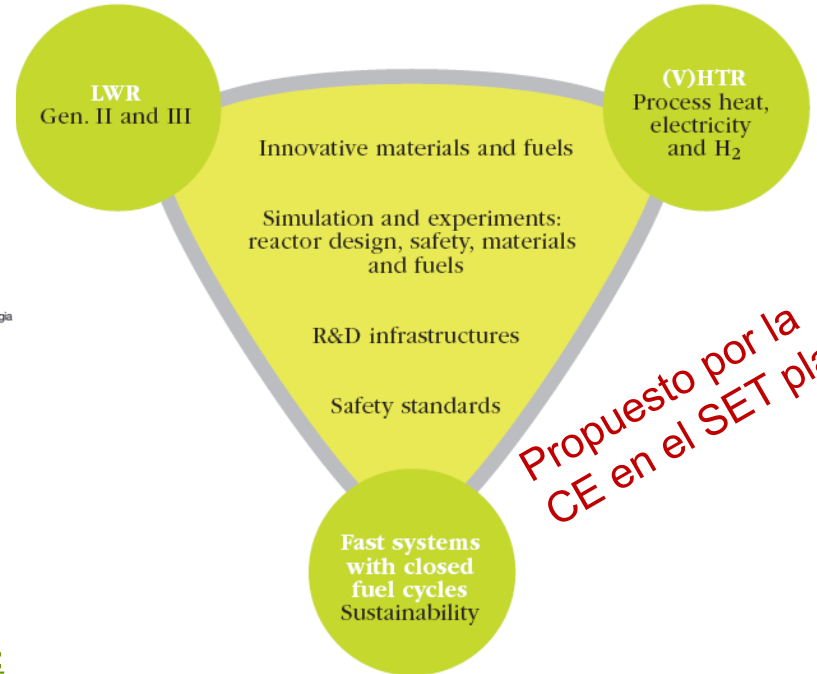
## Technical Safety Organisations:



## Non-governmental Organisations:



## Others:



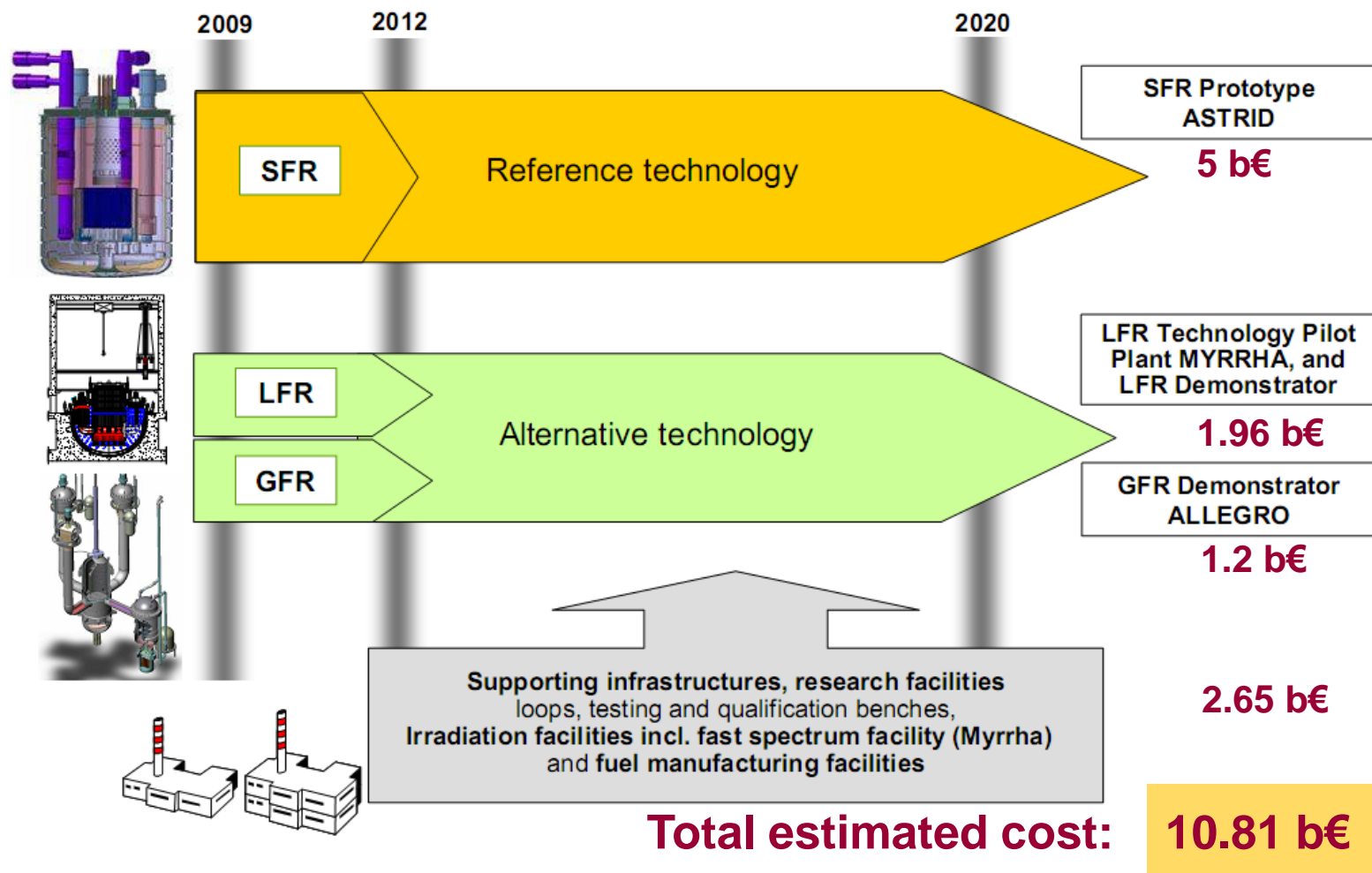
**Tres pilares:** reactores actuales los mas competitivos ahora seguidos por reactores rápidos para mejorar sostenibilidad y acompañados por otros usos de la energía nuclear (calor para industria, desalación, etc.)

# European Sustainable Nuclear Industrial Initiative (ESNII)

Propuesto por la  
CE en el SET plan



ESNII lanzada oficialmente el 15 de Noviembre de 2010



**Una oportunidad que no se puede perder para la I+D y la industria española con amplias posibilidades de retornos científicos, tecnológicos y económicos.**

## CONCLUSIONES 1/2:

Los combustibles nucleares usados son un material peligroso pero sus cantidades y su volumen son pequeños y pueden ser almacenados y gestionados de forma segura: primero en el ATC y después en el AGP.

El combustible nuclear está formado fundamentalmente por Uranio y contiene Plutonio que, separados en plantas comerciales como La Hague en Francia y vueltos a combinar, pueden ser utilizados como nuevos combustibles.

La reutilización del plutonio se realiza actualmente en los reactores de agua ligera, por ejemplo en Francia, y permite conseguir más energía y algo menos residuos del combustible original. Aproximadamente 30% más de energía.

Los reactores rápidos reproductores, de los que existen prototipos funcionando de forma segura durante más de 20 años, permiten producir tanto o más nuevo combustible (Pu) del que consumen.

De esta forma, es posible utilizar el uranio empobrecido y el de los combustibles usados obteniendo en total 30-50 veces más energía y unas 10 veces menos residuos, que en el ciclo abierto actual.

## CONCLUSIONES 2/2:

En el combustible nuclear además del plutonio hay otros “actínidos” que son isótopos parecidos de vida muy larga y, tras eliminar el Pu, son responsables de la radiotoxicidad, fuente de calor y necesidades de espacio en el AGP.

La Separación y Transmutación, que extienden las técnicas de reciclado para incluir a estos Actínidos Minoritarios, permitirá implementar un ciclo cerrado más ecológico y totalmente sostenible a largo plazo, utilizando sistemas nucleares rápidos (críticos y subcríticos).

El ciclo cerrado con Separación y Transmutación permitirá multiplicar por 30-50 la energía extraída del Uranio, a la vez que se reducen los residuos de alta actividad en un factor 100, y se mejora la capacidad de los almacenamientos en un factor entre 5 y 40.

La tendencia a la globalización de la Energía Nuclear está incentivando la investigación en estos ciclos cerrados avanzados y en Separación y Transmutación. En particular destacan los programas de I+D de Japón, Rusia, Corea, EEUU y muy significativamente la UE, a través de EURATOM y la SNETP.

La SNETP propone un sistema sostenible con distintos tipos de sistemas nucleares a lo largo del tiempo que optimice el aprovechamiento de los recursos y minimice los residuos de alta actividad. Para implementar este sistema ha lanzado un ambicioso programa de I+D, que intenta ser útil para todos los países de la UE independientemente de su política respecto al futuro de la energía nuclear.