

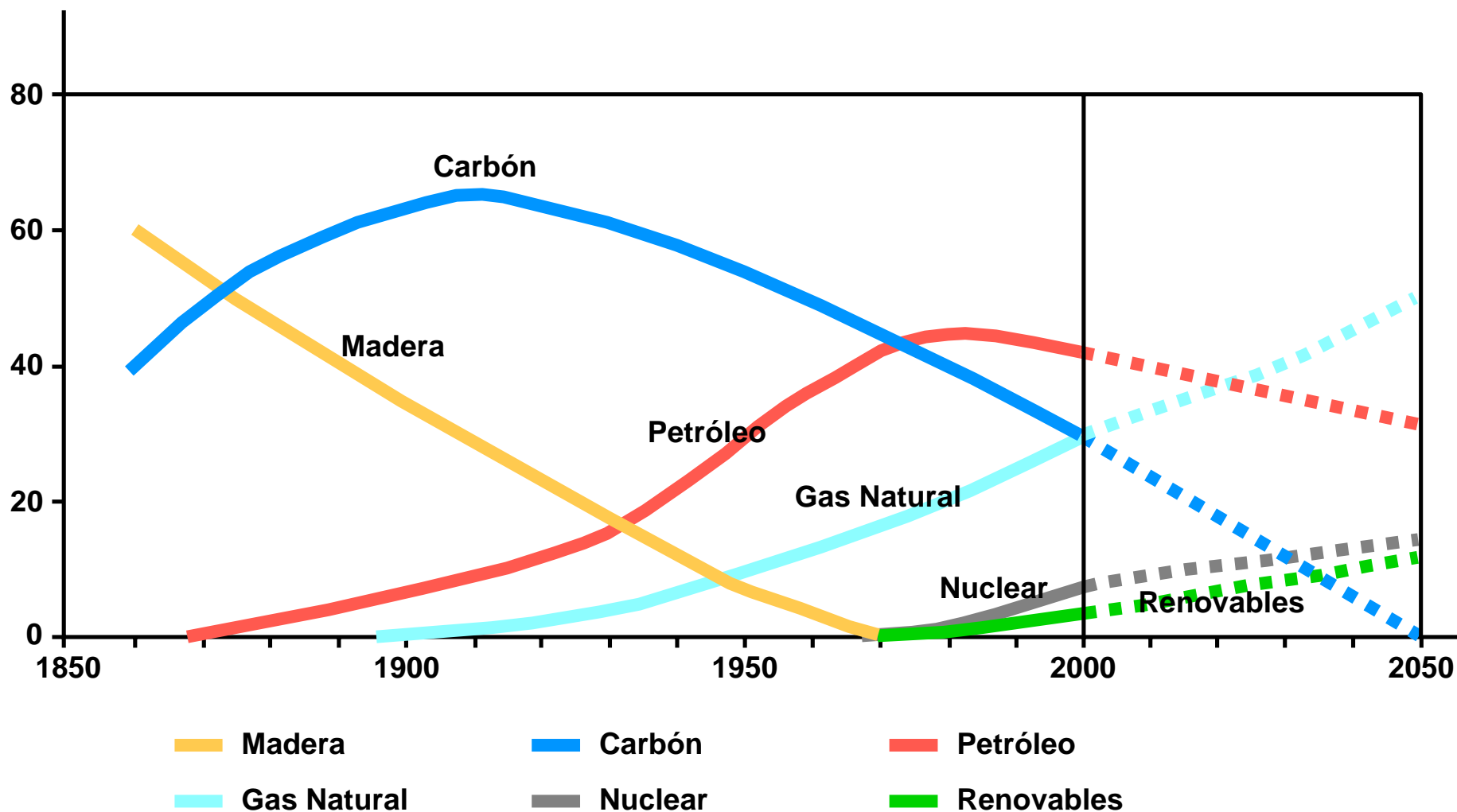
**enresa**

*“PRIMER CURSO DE ACTUALIDAD CIENTÍFICA”*

# **ENERGÍA NUCLEAR Y RESIDUOS RADIATIVOS**

*Álvaro R. Beceiro*  
**ENRESA**

A Coruña, 21 de Noviembre de 2005



## El Futuro de la Energía

- **Crecimiento demográfico y económico**
  - Demanda de energía primaria
- **Disponibilidad de recursos energéticos**
  - Seguridad de suministro
  - Coste
- **Tecnología**
  - Mejora de los sistemas actuales
  - Nuevos descubrimientos
- **Prioridades sociales**
  - Equilibrio entre bienestar y conservación del medioambiente
  - Moderación en el consumo energético

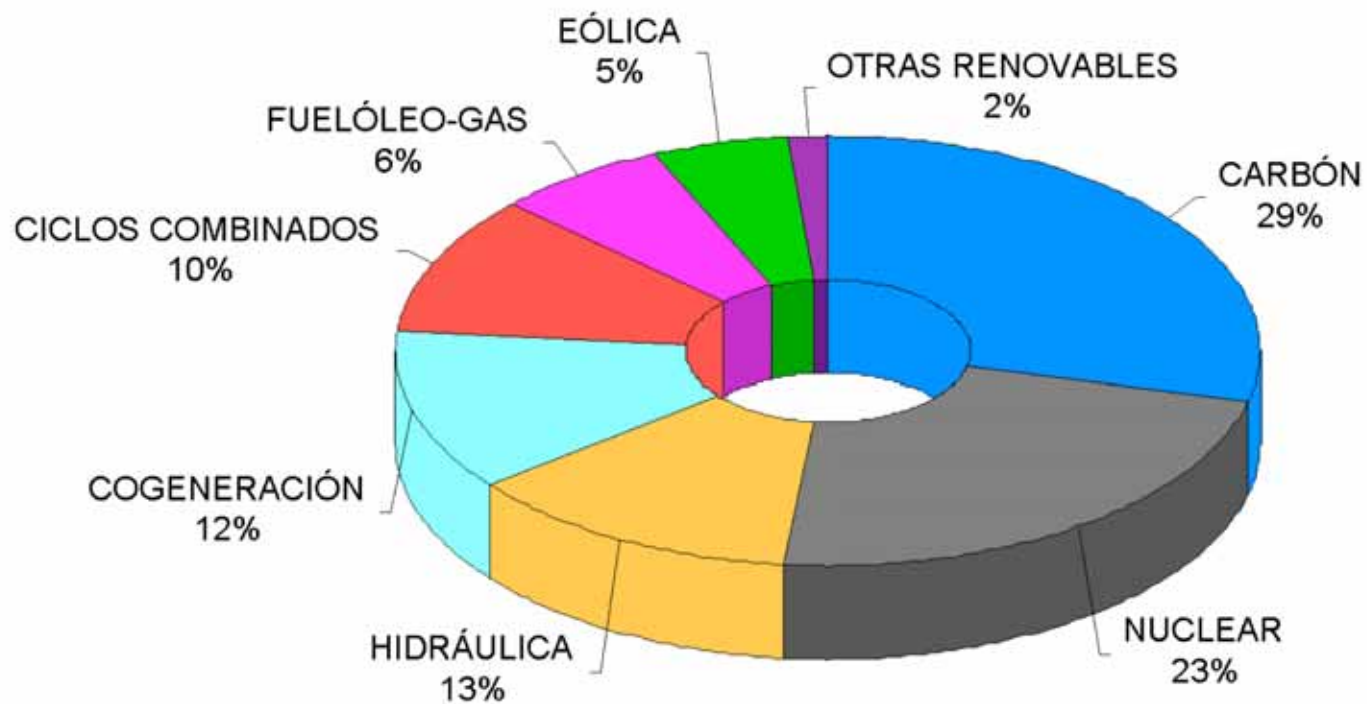
## Evolución del Panorama Energético

FUENTE	RECURSOS DISPONIBLE	VENTAJAS	INCONVENIENTES	PREVISIONES
<b>CARBÓN</b>	~ 200 años	Recursos abundantes. Buena distribución.	Gases efecto invernadero	Baja
<b>GAS NATURAL</b>	~ 50 años	Alto rendimiento técnico. Bajos costes.	Suministro inestable	Sube
<b>PETRÓLEO</b>	~ 40 años		Suministro y precios inestables. Gases efecto invernadero.	Baja
<b>NUCLEAR</b>	~ 200 años (sin reciclaje)	Recursos abundantes. No emite gases efecto invernadero.	Percepción social. Proliferación. Residuos Radiactivos.	Incierto
<b>HIDRÁULICA</b>	Renovable	Alta eficiencia. Bajo coste	Saturación	Mantiene
<b>OTRAS RENOVABLES:</b> - Eólica - Solar - Biomasa	Renovable	Recursos abundantes. No emite gases.	Alto coste	Sube

## Reparto por Fuentes de Energía Primaria

	<b>MUNDO</b> %	<b>UNIÓN EUROPEA</b> %	<b>ESPAÑA</b> %
<b>CARBÓN</b>	<b>23</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
<b>PETRÓLEO</b>	<b>39</b>	<b>42</b>	<b>51</b>
<b>GAS NATURAL</b>	<b>23</b>	<b>22</b>	<b>18</b>
<b>NUCLEAR</b>	<b>7</b>	<b>15</b>	<b>12</b>
<b>RENOVABLES</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>3</b>

## Fuentes de Producción de Electricidad en ESPAÑA



## Energía Nuclear de Fisión

- **Comienzo** : Década 1960
- **Desarrollo masivo:** Década 1970

	MUNDO	PAISES OCDE	ESPAÑA
Nº REACTORES	440	359	9
POT. INSTALADA (GWe)	375	304	7.8
ELECTRICIDAD (%)	17	23	23

- **Estancamiento en su desarrollo**
- **Programas de desarrollo en ASIA**
- **Programas de extensión de vida**
- **Nuevos conceptos**

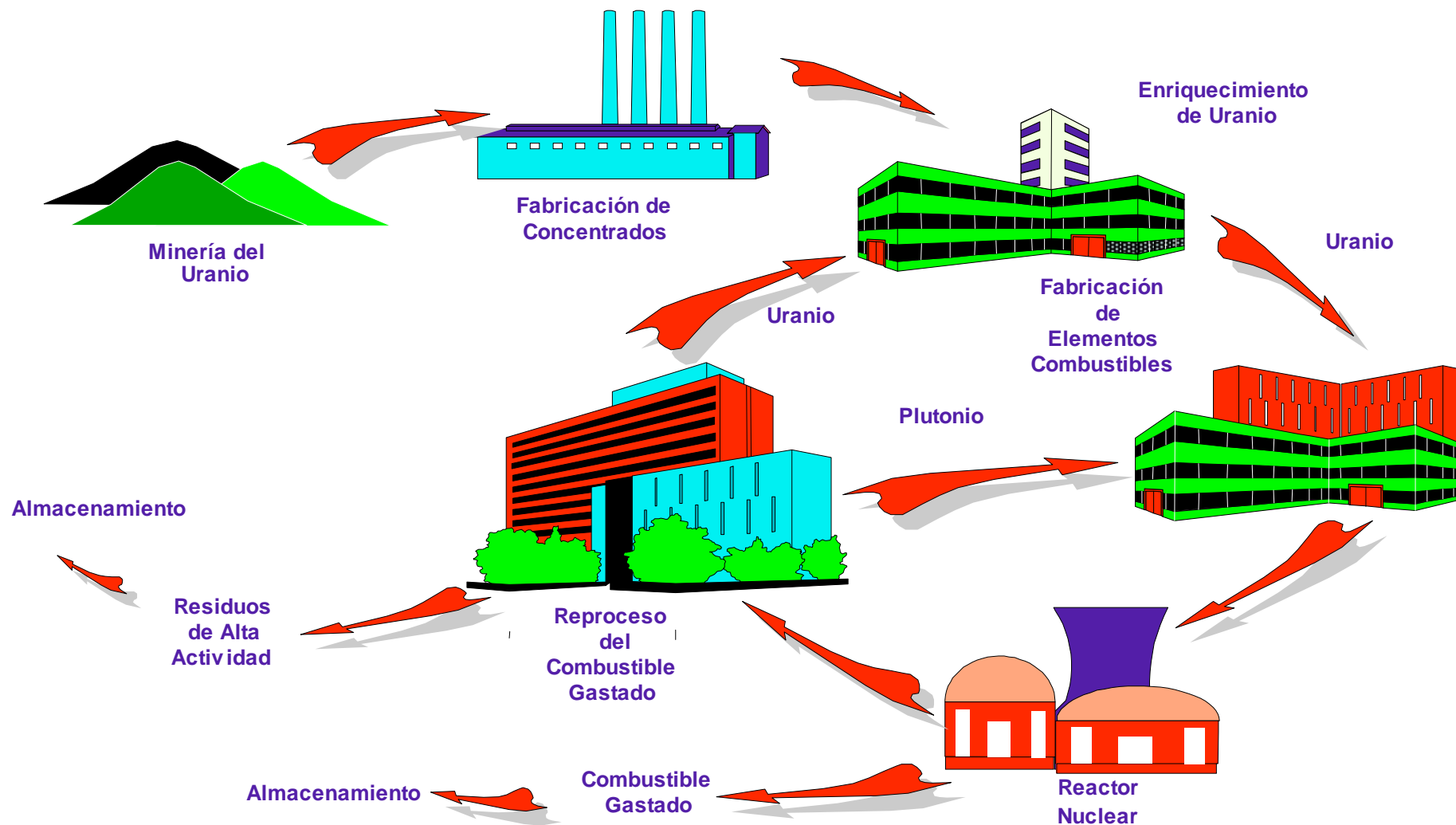
### DEFINICIÓN DE RESIDUO RADIATIVO

Cualquier material o producto de desecho, para el cual no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado con radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por el MITYC, previo informe del CSN.

### RECOMENDACIÓN DE LA UE SOBRE UN SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE RR SÓLIDOS

1. **RESIDUOS RADIATIVOS DE TRANSICIÓN**
  - . Se desintegran durante el almacenamiento temporal y pueden liberarse
  
2. **RESIDUOS DE BAJA Y MEDIA ACTIVIDAD**
  - . Generación de energía térmica suficientemente baja
  - 2.1. **Residuos de vida corta**
    - . Vida media  $\leq 30$  años
    - . Concentración limitada de emisores  $\alpha$
  - 2.2. **Residuos de vida larga**
    - . Concentración de emisores  $\alpha$  superior a los residuos de vida corta
  
3. **RESIDUOS DE ALTA ACTIVIDAD**
  - . Generación de energía térmica alta
  - . Proviene principalmente del combustible nuclear gastado

## Ciclo del combustible nuclear



## Principales aplicaciones de los radioisótopos en la medicina

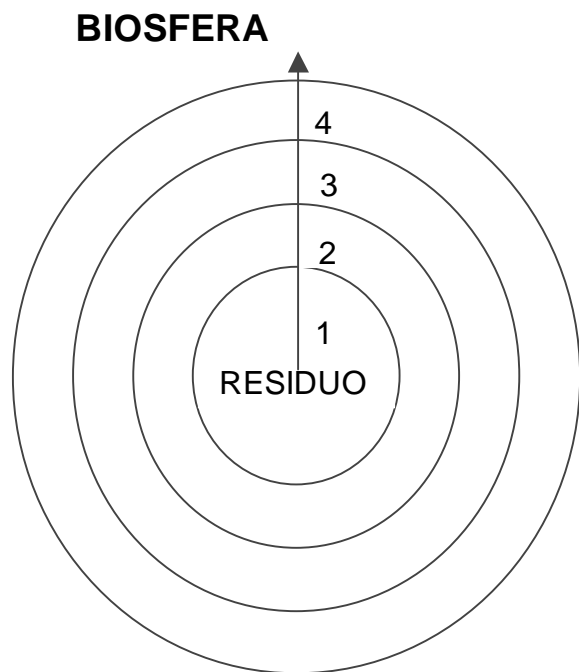
DIAGNÓSTICAS	TERAPEÚTICAS
<p>SE UTILIZAN FUENTES NO ENCAPSULADAS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- IN VITRO                             <ul style="list-style-type: none"> <li>. Radioinmunoanálisis (RIA) y otras técnicas.</li> </ul> </li> <li>- IN VIVO                             <ul style="list-style-type: none"> <li>. Sin imagen: * Captación tiroides                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>* Volumen sanguíneo</li> <li>* Filtración glomerular, etc.</li> </ul> </li> <li>. Con imagen: * Gammagrafía de órganos o zonas del cuerpo. (Hepática, osea, cerebral, etc).                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>* Estudios dinámicos. (Función renal, función respiratoria, trabajo cardíaco, etc).</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<p>FUENTES ENCAPSULADAS</p> <p>Se utilizan para el tratamiento del cancer.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- INTERNAS * Se colocan en alguna cavidad anatómica o se insertan en el tejido.</li> <li>- EXTERNAS * La fuente está a una distancia de la superficie del paciente, que por término medio varía entre 60 y 100 cm.</li> </ul> <p>FUENTES NO ENCAPSULADAS</p> <p>De aplicación sistemática.</p> <p>P-32 en la policitemia vera.</p> <p>I-131 en el hipertiroidismo y cancer de tiroides</p>

## Fin último de la gestión de los residuos radiactivos

PROTEGER A LAS PERSONAS Y AL MEDIO AMBIENTE DE LAS RADIACIONES QUE EMITEN LOS RADIONUCLEIDOS CONTENIDOS EN LOS RESIDUOS, MINIMIZANDO LAS CARGAS DE ESA PROTECCIÓN A LAS GENERACIONES FUTURAS.

### ESTRATEGIA GLOBAL

INTERPOSICIÓN DE BARRERAS NATURALES Y ARTIFICIALES ENTRE EL RESIDUO Y EL HOMBRE



### BARRERAS

- 1 **QUÍMICA** (INMOVILIZACIÓN)
- 2 **FÍSICA** (CONTENEDOR)
- 3 **INGENIERÍA** (INSTALACIÓN DE ALMACENAMIENTO)
- 4 **GEOLÓGICA** (TERRENO)

## Panorama internacional

- **GESTIÓN RBMA**

Problema resuelto a nivel industrial con instalaciones y experiencia operativa  
Actividades de investigación orientadas a mejorar y optimizar las distintas etapas

- **ALMACENAMIENTO TEMPORAL DEL CG Y RAA**

Resuelto satisfactoriamente en base a distintas técnicas, existiendo en el mundo instalaciones independientes o centralizadas con experiencia de funcionamiento

- **GESTIÓN FINAL DEL CG Y RAA**

Consenso internacional sobre la viabilidad técnica del AGP y alto grado de desarrollo en muchos países  
Procesos de implantación más lentos de lo previsto

Últimos hitos importantes en programas de AGP han sido:

- El Presidente de EE.UU aprobó el 15/02/02 la recomendación del DOE sobre la idoneidad del emplazamiento de Yucca Mountain (Nevada).
- El Parlamento finlandés ratificó en Mayo 2001 la designación de la localidad de Olkiluoto, previamente aprobada por autoridades nacionales y municipio, como emplazamiento candidato al AGP.
- El Gobierno francés ha aprobado la construcción de dos laboratorios subterráneos.

Por otra parte, se están intensificando las investigaciones sobre ST, promovidas a través de organismos internacionales (AEN, OIEA y UE) y países como Francia y Japón, al objeto de valorar la viabilidad de este método para minimizar el volumen y radiotoxicidad de los residuos

- VERTIDO MARINO  
Prohibido desde 1994
  
- ALMACENAMIENTO EN TIERRA
  - . EN SUPERFICIE CON BARRERAS DE INGENIERÍA  
Ejemplos: EE.UU., Francia, Japón, Reino Unido y España
  
  - . SUBTERRÁNEO A MEDIA O A GRAN PROFUNDIDAD  
Ejemplos: Alemania, Suecia y Finlandia

## Ejemplos de Instalaciones de Almacenamiento de RBMA en distintos países del mundo



Low-Level Radioactive Waste Disposal Center

**ROKKASHO (JAPON)**



**L'AUBE(FRANCIA)**



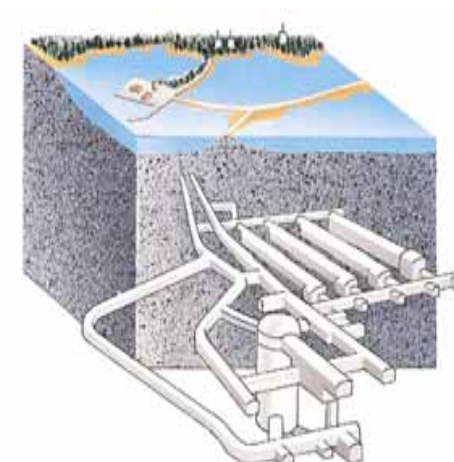
**DRIGG (REINO UNIDO)**

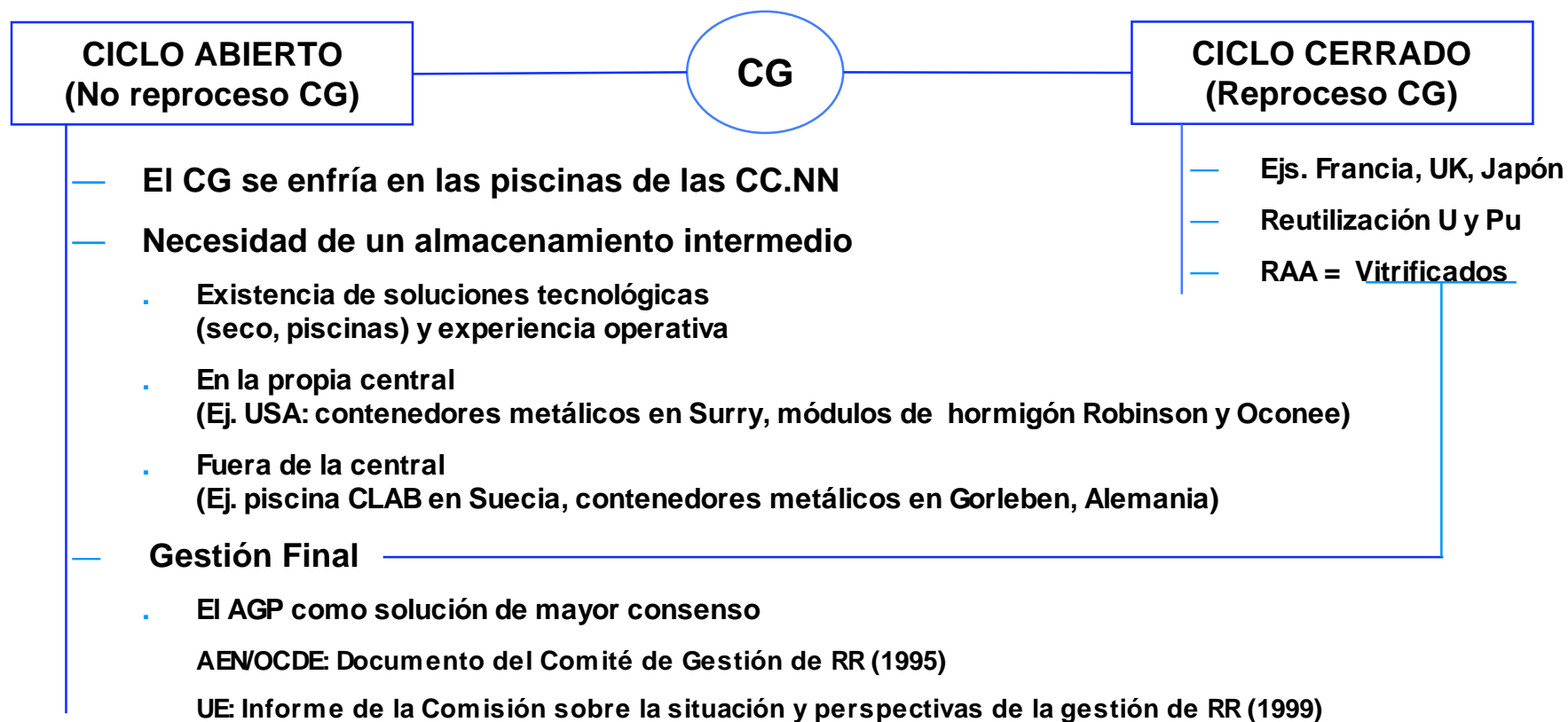


**KONRAD (ALEMANIA)**



**SFR (SUECIA)**





### — Gestión Final (Cont.)

**EEUU:** En operación WIPP (Nuevo Méjico) para TRU del programa de defensa.

El Presidente aprobó el 15/02/02 la recomendación del DOE sobre la idoneidad emplazamiento de Yucca Mountain (Nevada) para construir un AGP. Actualmente se están llevando a cabo trabajos de caracterización.

**ALEMANIA:** Abandono por 5-10 años trabajos en Gorleben, que estaba en fase de caracterización.

Abierto proceso de 3 años para búsqueda de emplazamientos AGP.

**FRANCIA:** Construcción de 2 laboratorios. Objetivo disponer en 2006 de resultados para que el Parlamento se pronuncie

**SUECIA:** Inauguración planta piloto encapsulado (Nov. 98). Investigaciones durante 5-6 años en 2 laboratorios. Propuesta emplazamiento final hacia 2007 y puesta en marcha instalación en 2020.

**FINLANDIA:** En Mayo 2001 el Parlamento ratificó la designación de la localidad de Olkiluoto (aprobada por autoridades nacionales y por el municipio) como emplazamiento candidato al AGP. En fase de caracterización con previsión inicio operación en 2020.

- Dificultades aceptación social AGP y retraso en toma de decisiones
- Reactivación de la investigación en nuevas tecnologías de disminución de la actividad y el volumen de residuos como la Separación-Transmutación (Ejs. Francia y Japón)
- Necesidad de un AGP en cualquier caso

## Ejemplos de tecnologías de almacenamiento temporal



## Instalaciones de Almacenamiento Temporal de CG/RAA en diversos países



CLAB (SUECIA)



HABOG (HOLANDA)

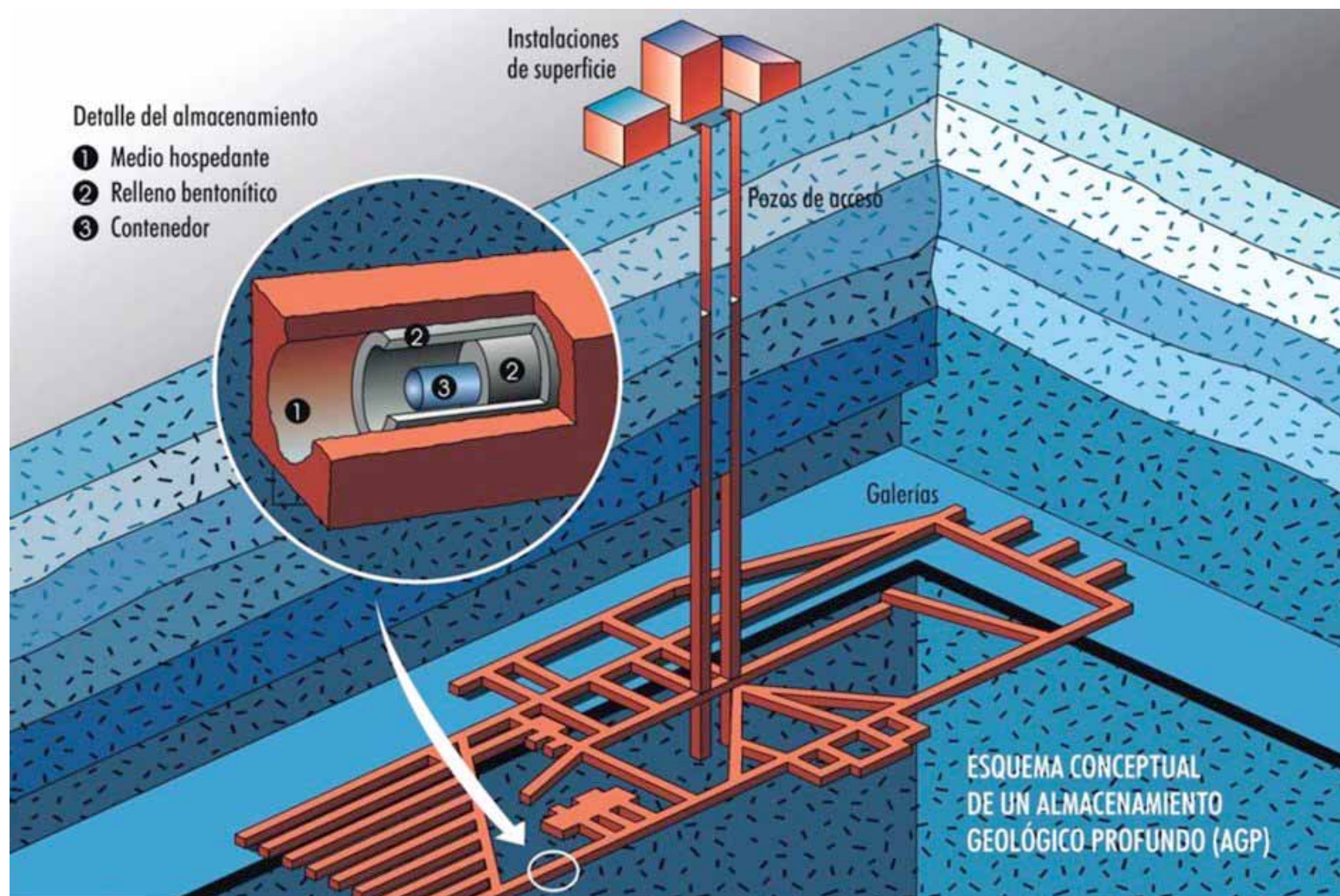


PAKS (HUNGRÍA)



SURRY (EE.UU)

## Almacenamiento Definitivo CG/RAA



## Almacenamiento Definitivo CG/RAA



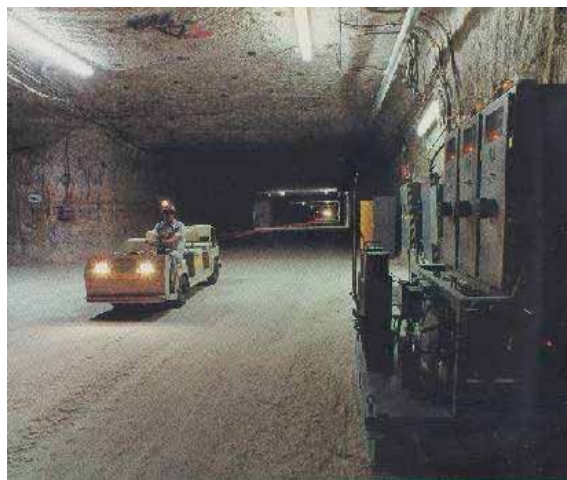
**YUCCA MOUNTAIN (NEVADA, EE.UU.)**



**OLKILUOTO (FINLANDIA)**



**Vista general de la instalación de almacenamiento geológico profundo (WIPP) en Carlsbad, Nuevo Méjico, US**



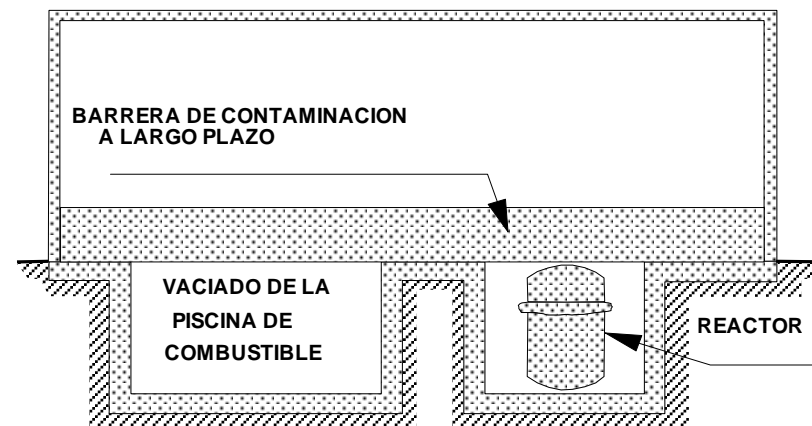
**Vista interior de las galerías principales del WIPP**

## Principales características de los tres niveles de clausura para las CC.NN.

### NIVEL 1

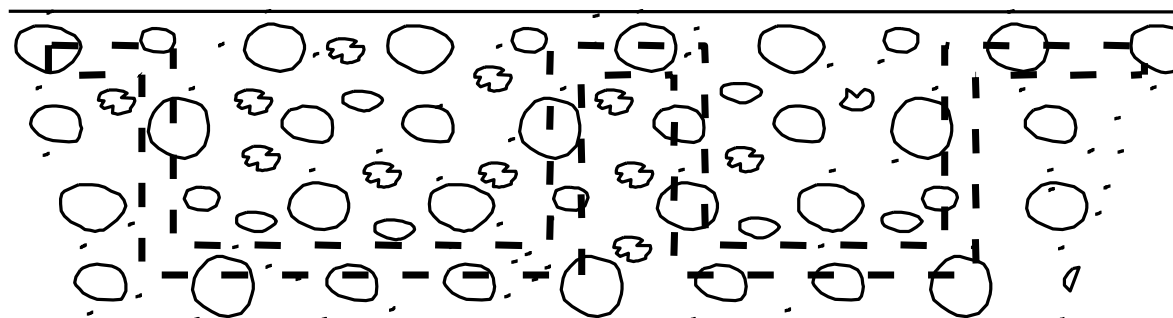


### NIVEL 2

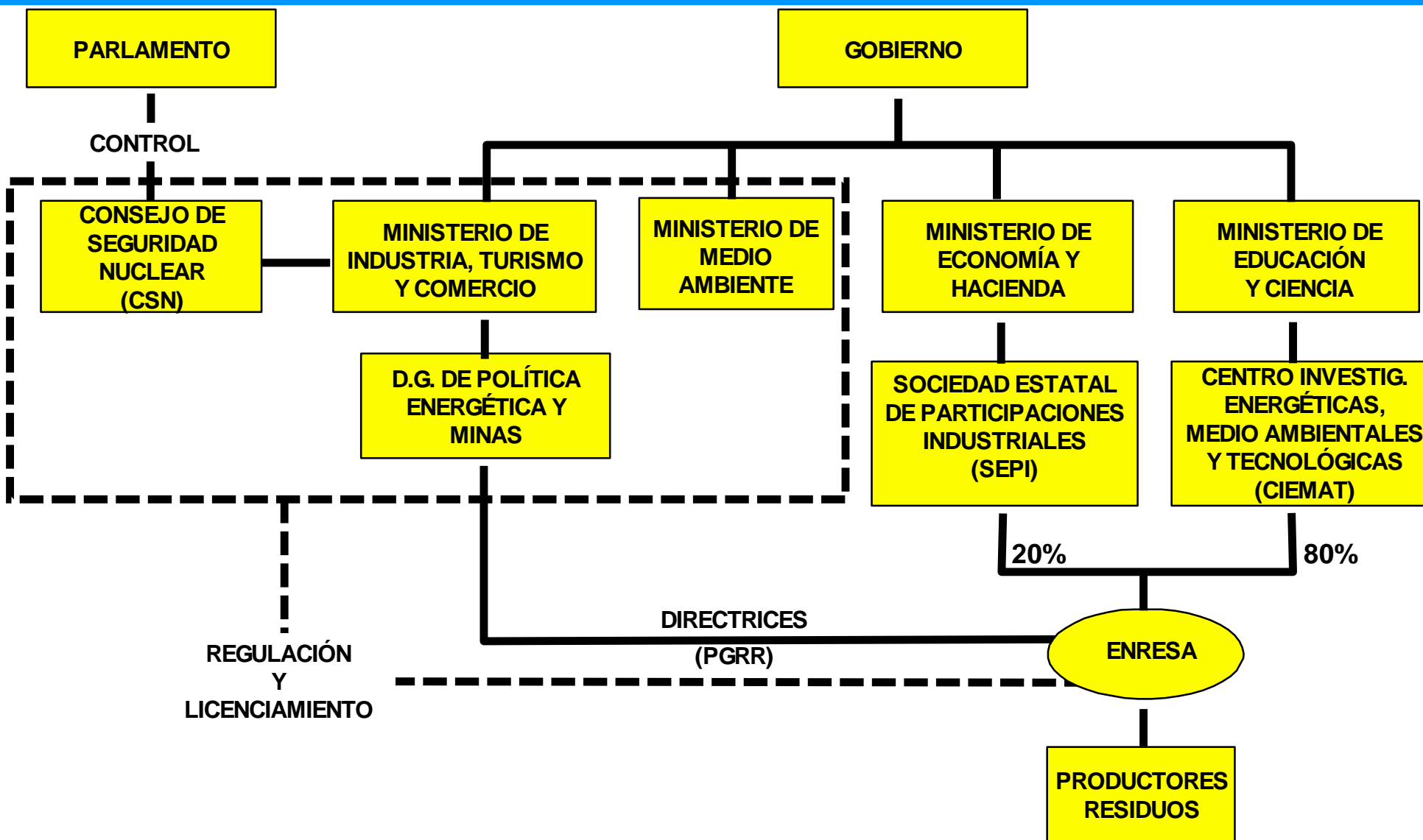


### NIVEL 3

ELIMINACION DE TODAS LAS ESTRUCTURAS Y EQUIPOS CONTAMINADOS



## Organización Administrativa en España



- **Tratamiento y acondicionamiento de RR**
- **Búsqueda emplazamientos, diseño, construcción y operación centros para el almacenamiento temporal y definitivo de RR**
- **Transporte de RR**
- **Desmantelamiento y clausura de instalaciones nucleares y radiactivas**
- **Apoyo al sistema nacional de protección civil y servicios de seguridad en caso de emergencias nucleares o radiológicas**
- **Acondicionamiento definitivo de estériles de minería y fabricación de concentrados de uranio**
- **Establecimiento de sistemas que garanticen la gestión segura a largo plazo de los almacenes**
- **Establecimiento de Planes de I+D**
- **Realización estudios técnicos y económico-financieros**
- **Gestión del Fondo para la financiación de las actividades del PGRR**

**CADA 4 AÑOS**

- **Revisión PGRR.**
    - Actuaciones y soluciones técnicas.
    - Previsiones económico-financieras.
- APROBACIÓN GOBIERNO**

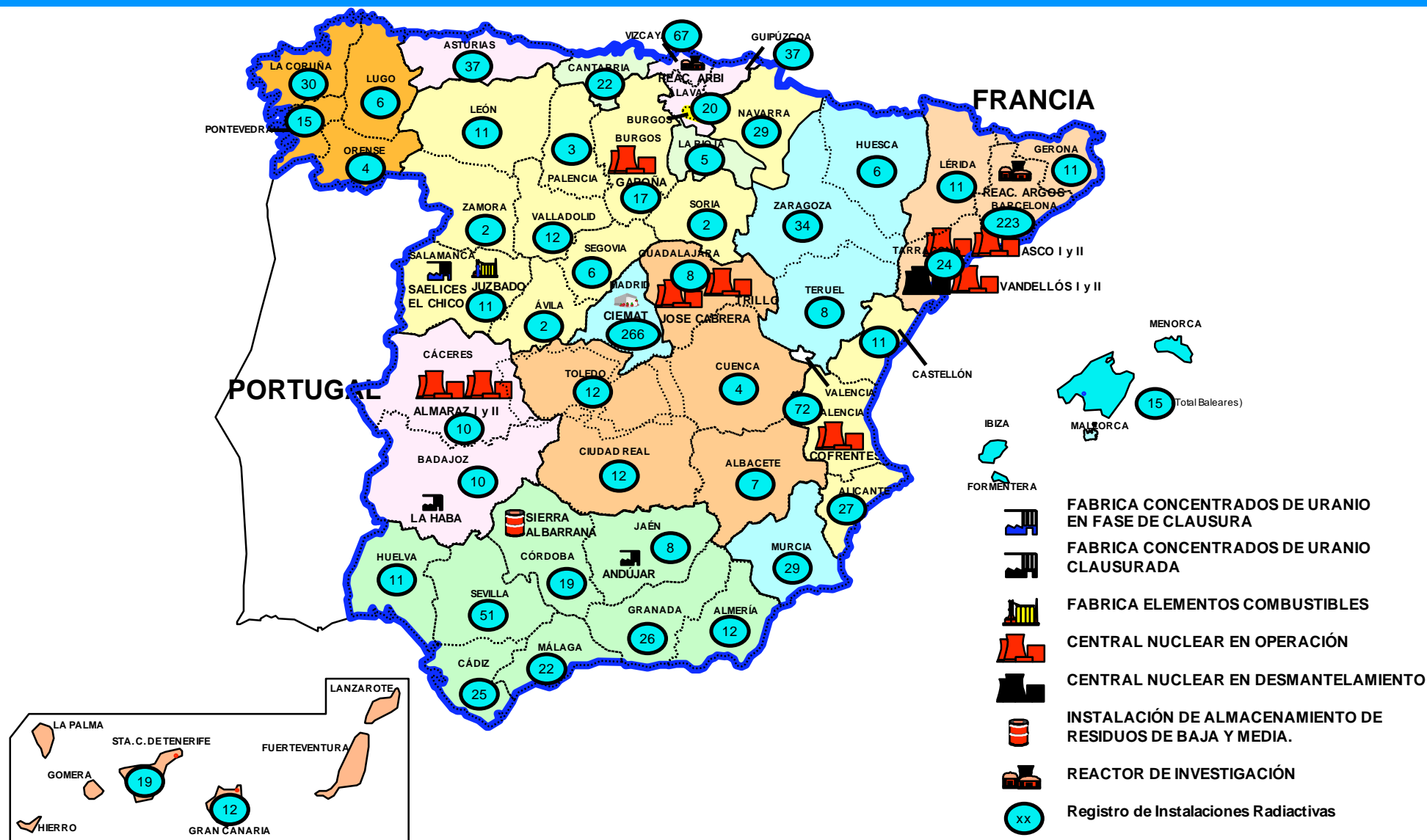
**DURANTE 1<sup>ER</sup> SEMESTRE AÑO**

- **Memoria ejercicio anterior.**
  - Aspectos técnicos y económicos.
  - Comparación con Presupuesto.
- **Estudio económico-financiero actualizado del PGRR**

**ANTES DE 30 NOVIEMBRE**

- **Justificación técnico-económica de la adecuación del presupuesto anual y 3 años siguientes a lo establecido en el Estudio económico-financiero actualizado del PGRR.**

## Instalaciones Generadoras de Residuos Radiactivos en España



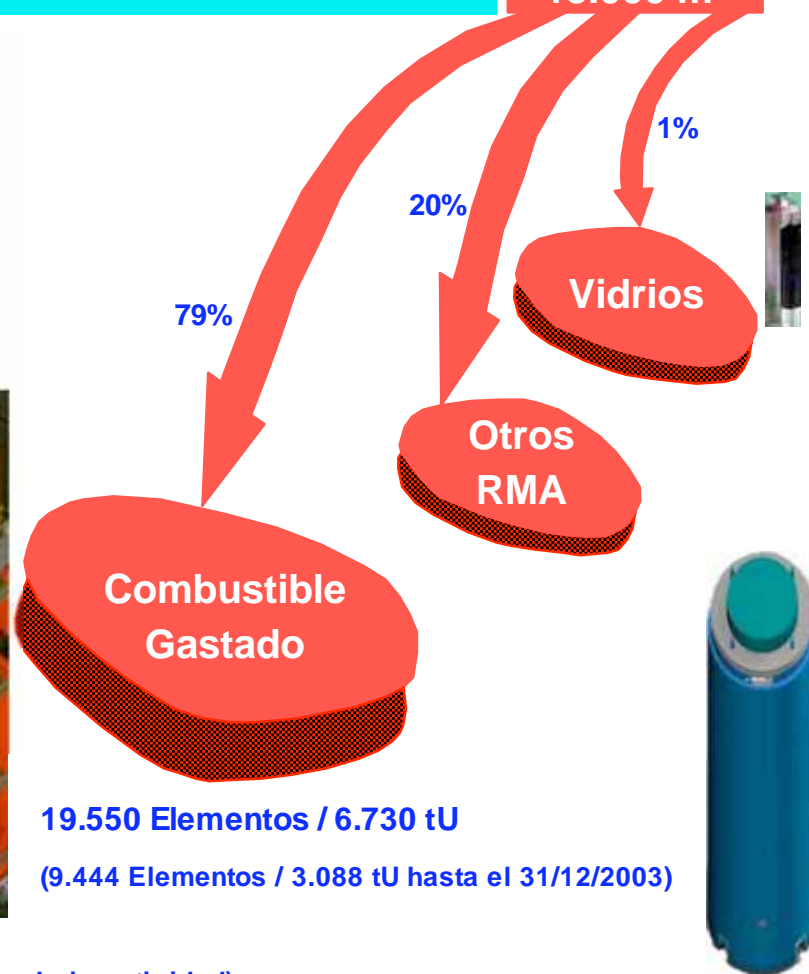
## Cantidades totales de residuos a gestionar en España

RBMA  $\cong$  176.000 m<sup>3</sup>

CG/RAA  
13.000 m<sup>3</sup>



(36.500 m<sup>3</sup> hasta el 31/12/2003)



Consumible  
Gastado

19.550 Elementos / 6.730 tU

(9.444 Elementos / 3.088 tU hasta el 31/12/2003)

Vidrios

Otros  
RMA

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)

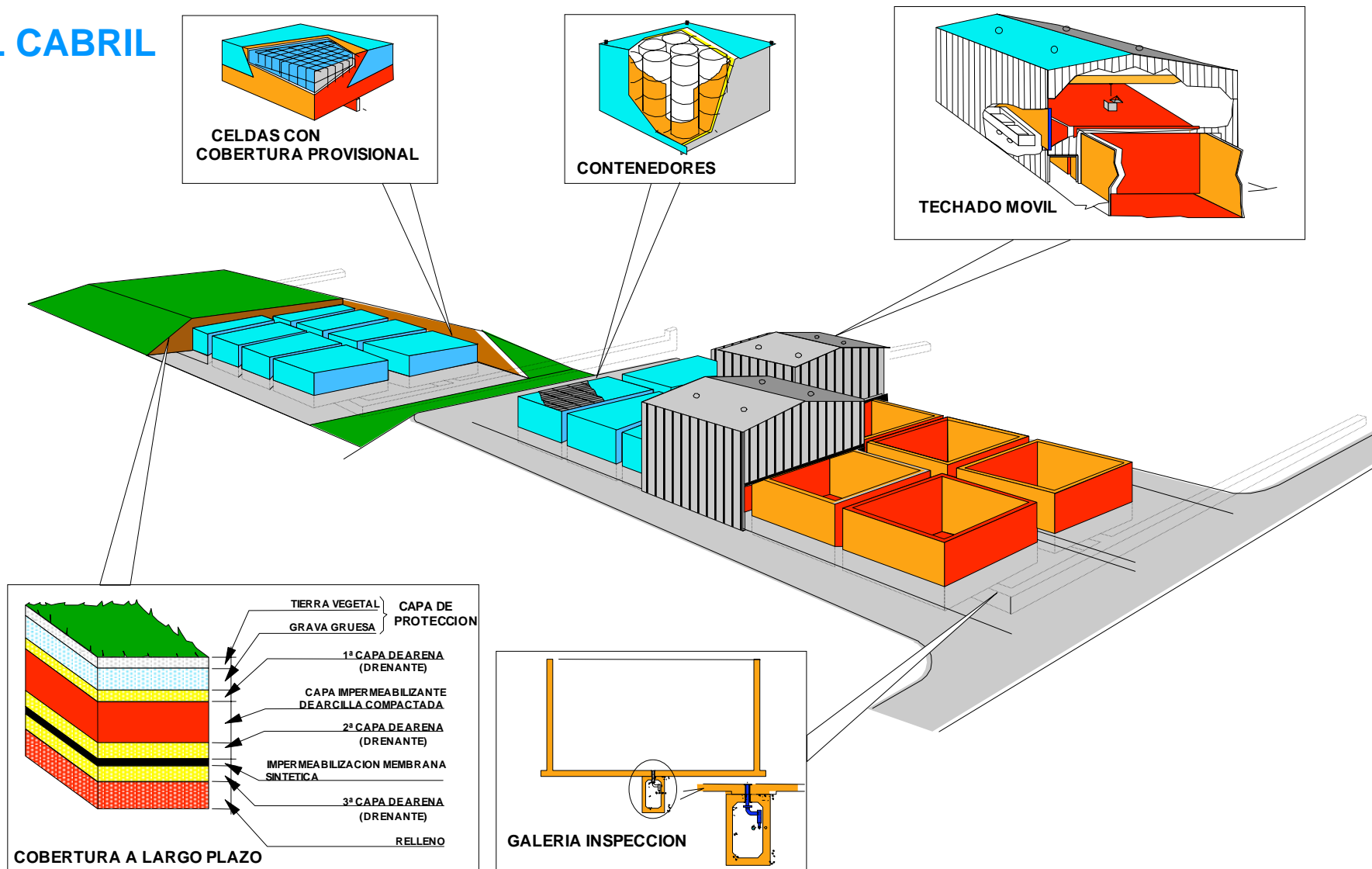
- **ASPECTOS DESTACABLES DE LA GESTIÓN**
  - **Tratamiento y acondicionamiento previos**
    - Responsabilidad del productor (excepto II.RR) el cual debe generar unos bultos que satisfagan los criterios de aceptación de ENRESA para su posterior acondicionamiento y almacenamiento en El Cabril
    - Para las II.RR se lleva a cabo en El Cabril
    - Esfuerzo en la reducción de volumen para los RBMA de CC.NN
  - **Almacenamiento temporal en instalaciones productoras hasta su traslado a El Cabril**
  - **Transporte**
    - **Lo realiza ENRESA como explotador responsable:**
      - Con medios propios (retiradas de II.RR)
      - A través de compañías especializadas (residuos acondicionados)
  - **Caracterización y aceptación de residuos**
    - **Contratos firmados entre ENRESA y productores**
    - **Verificación de la calidad**

### ■ EL CABRIL

- En octubre 1992 culminó el proyecto Cabril con la obtención del PEP de la “Ampliación de la I.N. de Almacenamiento de RR sólidos de Sierra Albarrana (El Cabril)”, iniciándose una nueva etapa en España en el campo de la gestión RBMA al llevarse a cabo en dicha instalación el tratamiento, acondicionamiento, caracterización y almacenamiento de este tipo de residuos, junto con otras actividades
- La instalación ha sido diseñada y construida para garantizar la ausencia de impacto significativo sobre el hombre y medio ambiente. Está integrada básicamente por un edificio de acondicionamiento, laboratorios de verificación de la calidad, otras instalaciones auxiliares y unas estructuras de almacenamiento, formadas por celdas alineadas
- Para el año 2006 está previsto el inicio de operación de una instalación complementaria en El Cabril para el almacenamiento de residuos de muy baja actividad (RBBA), como son la mayoría de los generados en el desmantelamiento de las CC.NN y en las intervenciones especiales de recuperación de terrenos o instalaciones contaminadas
- El Cabril, como parte esencial del sistema nacional, ofrece la solidez y operatividad necesaria para garantizar su seguridad y eficacia, así como la suficiente flexibilidad para su optimización (mejora de procesos, I+D sobre barreras, etc.)

## Gestión RBMA

### EL CABRIL





VISTA AÉREA DE LA INSTALACIÓN



CARGA DE UN CAMIÓN EN UNA CENTRAL NUCLEAR



TRANSPORTE EL CABRIL



LLENADO DE UN CONTENEDOR CON BULTOS



INTERIOR CELDA DE ALMACENAMIENTO



VISTA AÉREA PLATAFORMA NORTE A PRINCIPIOS DE 2003



CONCEPTO DE ALMACENAMIENTO

## Gestión del CG/RAA. Resumen

- **Cantidades previstas a gestionar en España:**
  - CG : 6.730 tU (40 años de vida útil CC.NN)
  - RAA : 80 m<sup>3</sup> (Reproceso Vandellós I)
  - RMA: 2.570 m<sup>3</sup>, no susceptibles de almacenar en El Cabril (algunos desmantelamiento CC.NN, reproceso, fuentes, etc.)
- **Almacenamiento temporal**
  - En las CCNN
    - En las piscinas (capacidad ampliada por cambio de bastidores)
    - En ATI's (Ej.: Contenedores metálicos en Trillo año 2002)
  - En instalaciones centralizadas
    - Construcción de una o más instalaciones
    - Fecha objetivo puesta en marcha año 2010 (condicionada por saturación piscinas, desmantelamiento CC.NN y gestión otros RAA)
- **Gestión final**
  - Se posponen las decisiones hasta el año 2010
  - Entretanto se conjugarán las líneas de Almacenamiento Geológico Profundo (AGP) y Separación-Transmutación (ST), permitiendo un análisis de opciones para ofrecer al Gobierno la información necesaria en la toma de decisiones
  - Comunicación e información públicas amplias en este campo

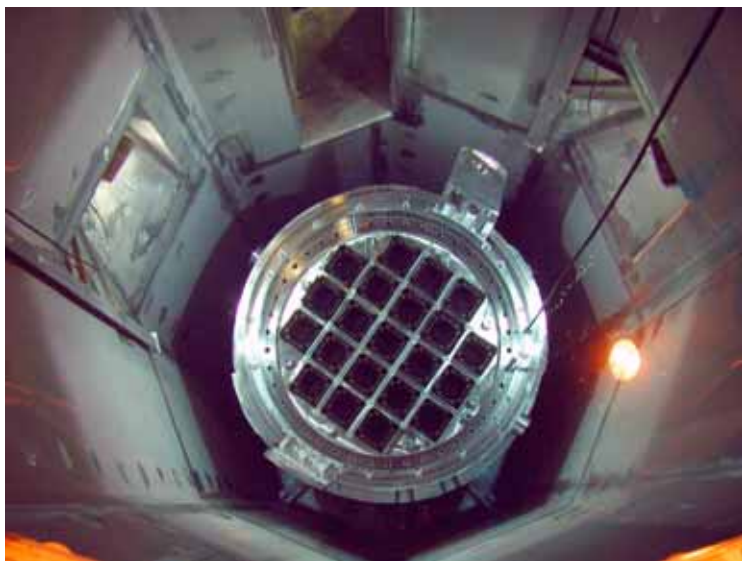


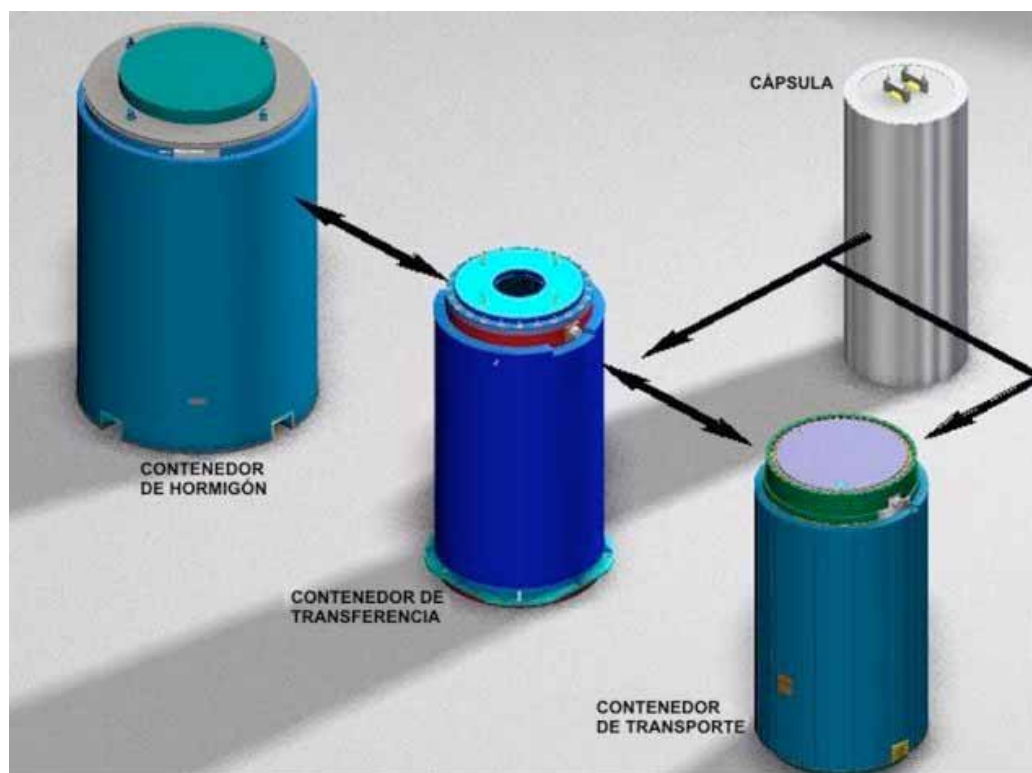
Piscina de una Central Nuclear



ATI C.N. Trillo

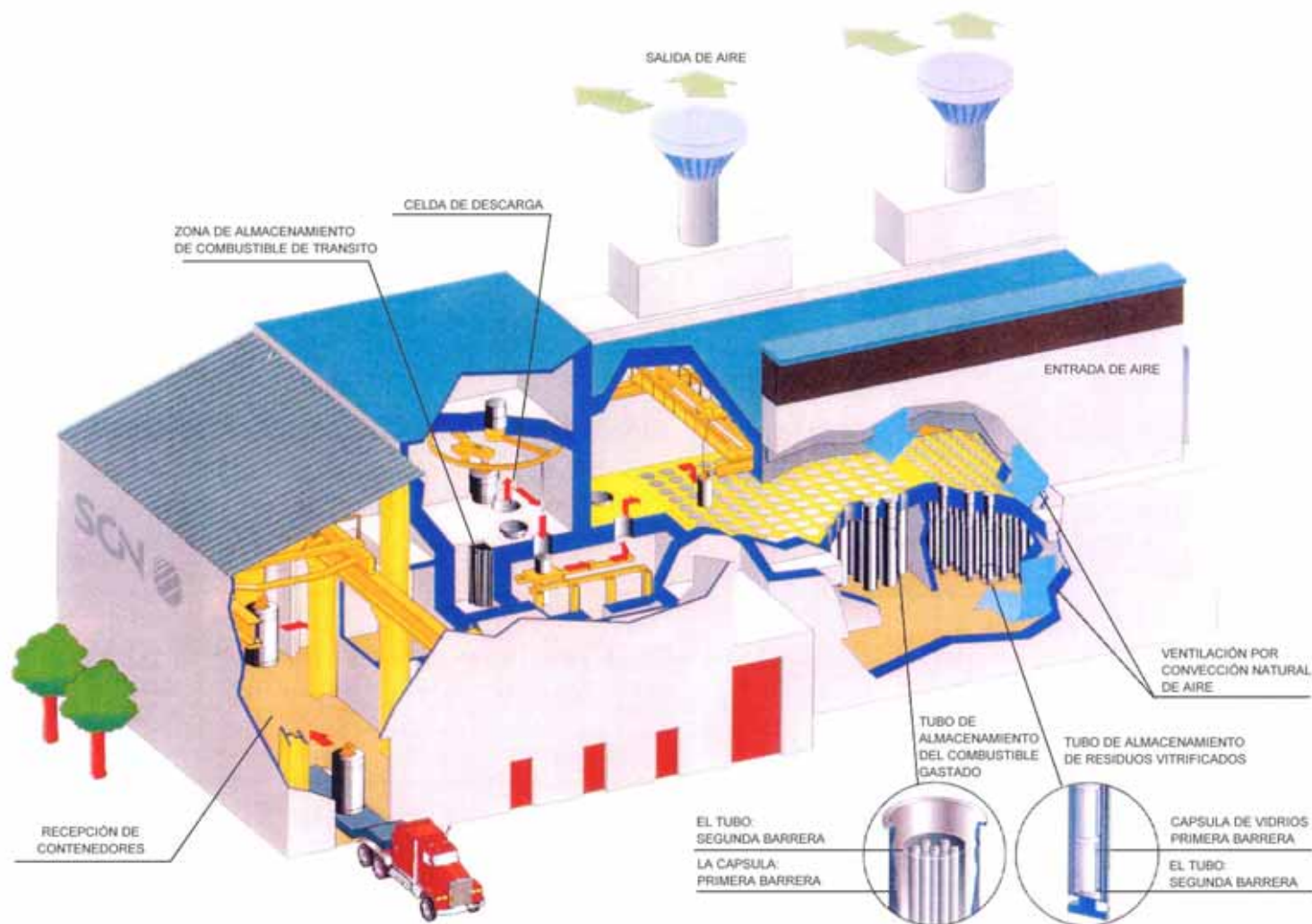
## Carga y preparación de contenedores de almacenamiento y transporte en la central de Trillo



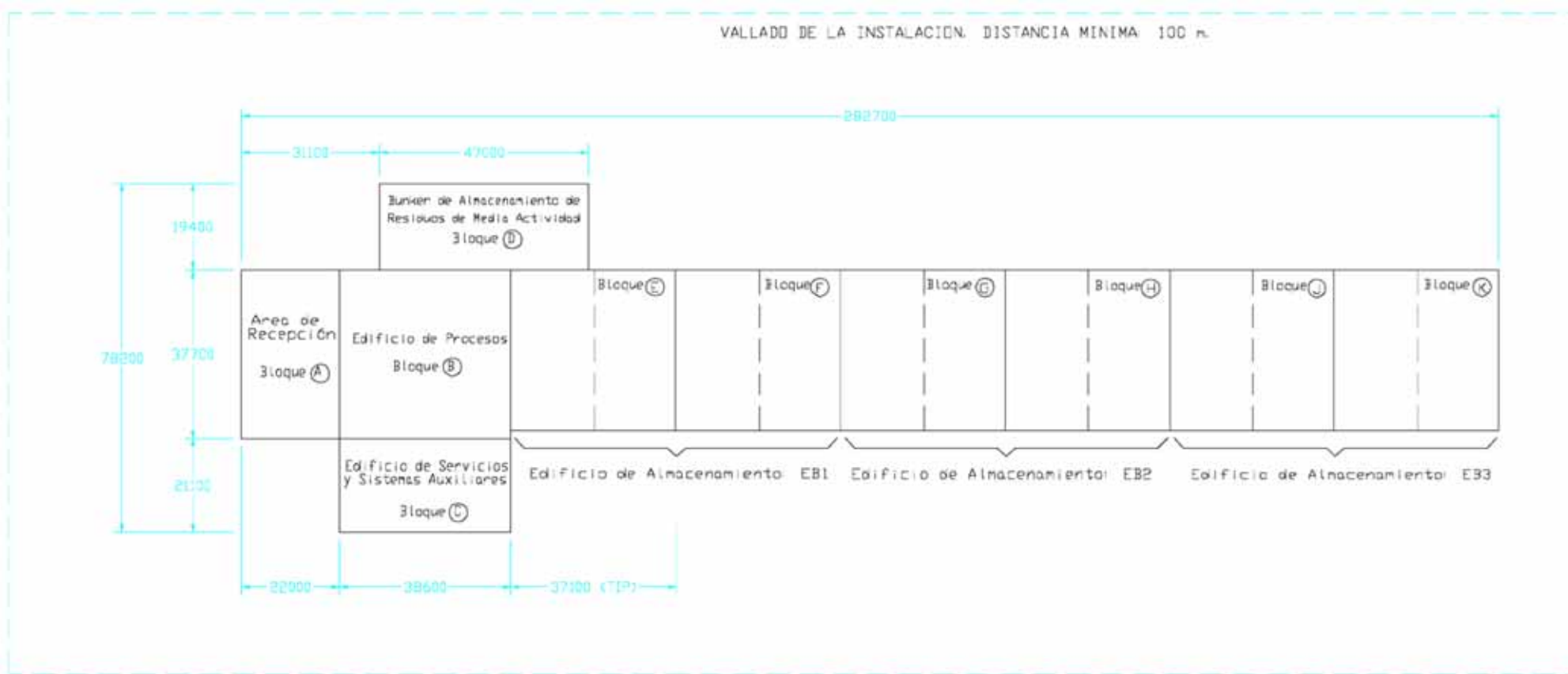


Esquema Previsto C.N. José Cabrera

## ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN ATC DE ALMACENAMIENTO EN BÓVEDAS



CONFIGURACIÓN DE LA INSTALACIÓN ATC

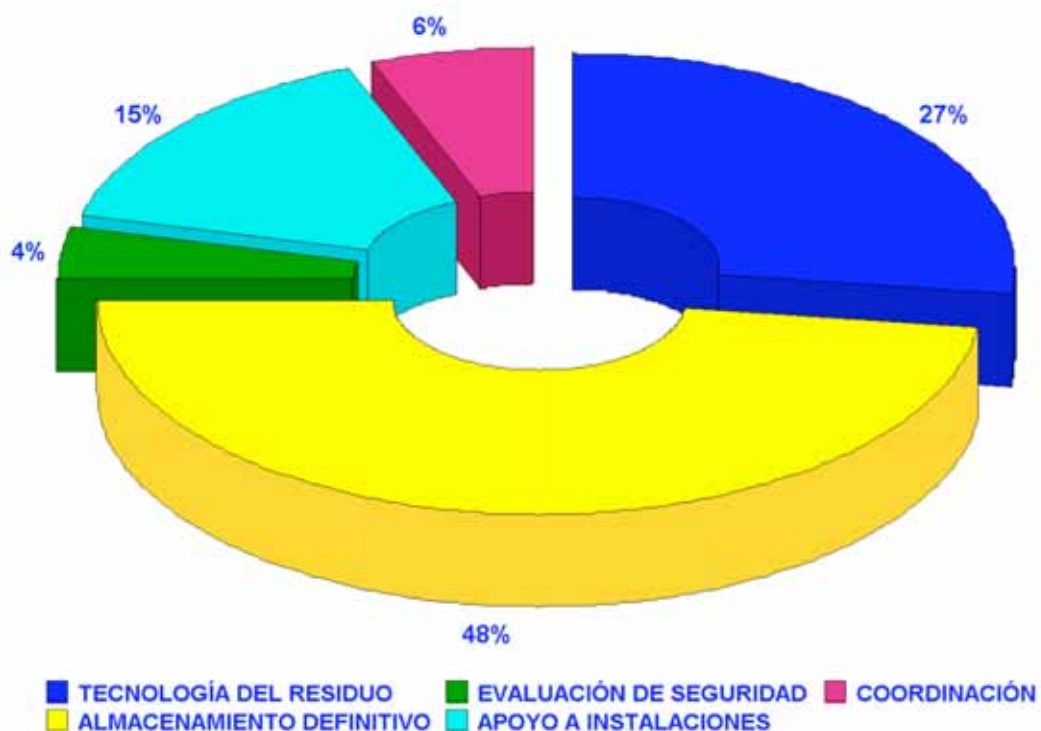


LARGO: 238 M; ANCHO: 78M; ALTO RESPECTO AL SUELO: 26M (CHIMENEAS 45M)

PLAN DE I+D 2004-2008

Presupuesto Total  $\approx$  30M€

Áreas



Tecnología del Residuo

- Físico Química de Actínidos.
- Tecnología-Combustible
- Tecnología Almacenamiento Temporal
- Separación Radionucleidos Vida Larga
- Transmutación Radionucleidos Vida Larga

Almacenamiento Definitivo

- Barreras de Ingeniería
- Barrera Geológica
- Biosfera
- Análogos Naturales e Infraestructura

Evaluación Seguridad

- Metodologías de Evaluación
- Selección de Procesos y Parámetros
- Modelización

Apoyo a Instalaciones

- RBMA
- Desmantelamiento y Restauración Ambiental
- Protección Radiológica
- Emplazamiento Instalaciones

## Clausura de instalaciones

### ■ Centrales Nucleares

#### ■ Vandellós I

- Desmantelamiento parcial (Nivel 2) finalizado (1998-2003)
- Desmantelamiento total (Nivel 3) tras un período de espera de 25 años

#### ■ Resto CC.NN.

- Desmantelamiento total (Nivel 3) , a efectos de cálculo y planificación, tres años después de la parada del reactor
- Cierre de C.N José Cabrera: abril 2006



Antes y Después del Desmantelamiento a Nivel 2 de la C.N. Vandellós 1

## Clausura de Instalaciones

- **Otras Instalaciones**
  - **FUA y La Haba : finalizadas y en fase de vigilancia**
  - **Rehabilitación de Antiguas Minas de Uranio (1997-2000)**
  - **Saelices El Chico (2001-2008)**
  - **CIEMAT (PIMIC) (2001-2007)**

1991



1994



**Antes y Después del Desmantelamiento de las Instalaciones de la FUA y el Acondicionamiento Definitivo de sus Diques de Estériles**

Diciembre 2000



Marzo 2004



**Proyecto de Restauración de las Eras Elefante. Saelices El Chico (Salamanca)**

## Otras Actuaciones

- Protocolo colaboración sobre la vigilancia radiológica de los materiales metálicos.
- Apoyo a la respuesta en caso de emergencia.
- Gestión cabezales radiactivos de pararrayos.
- Gestión detectores iónicos de humos (DIH's).
- Gestión otros materiales radiactivos aparecidos fuera del sistema regulador.



Sacos de Polvo Contaminado extraídos de una Acería

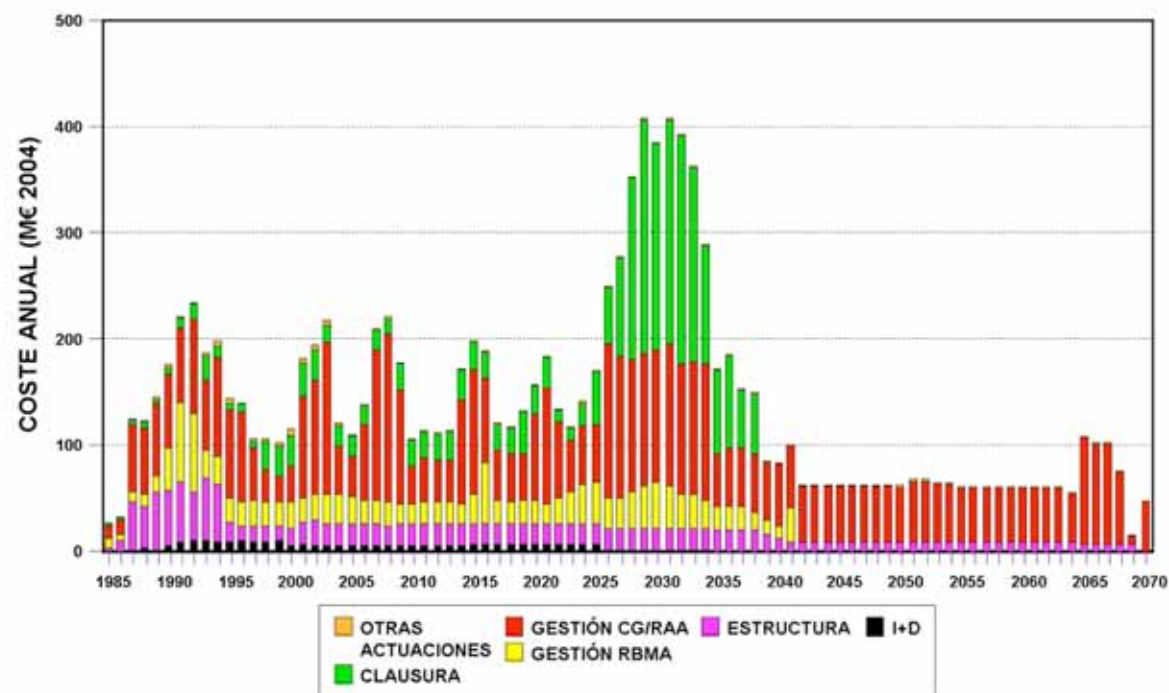
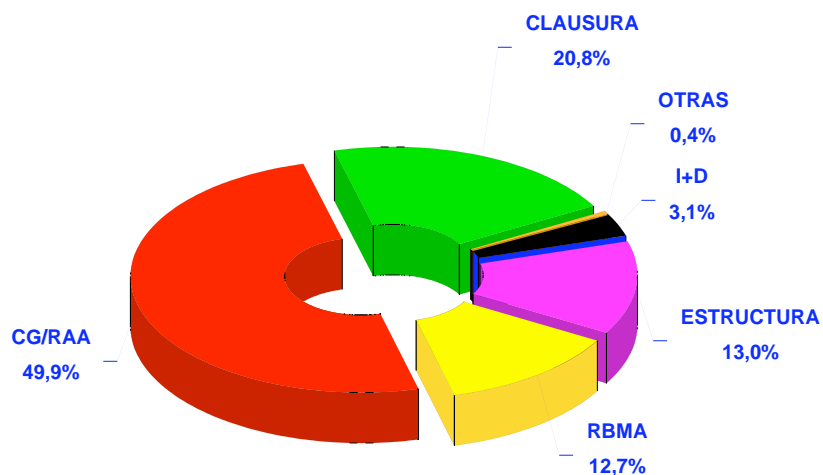


Retirada Cabezal Pararrayos Radiactivo



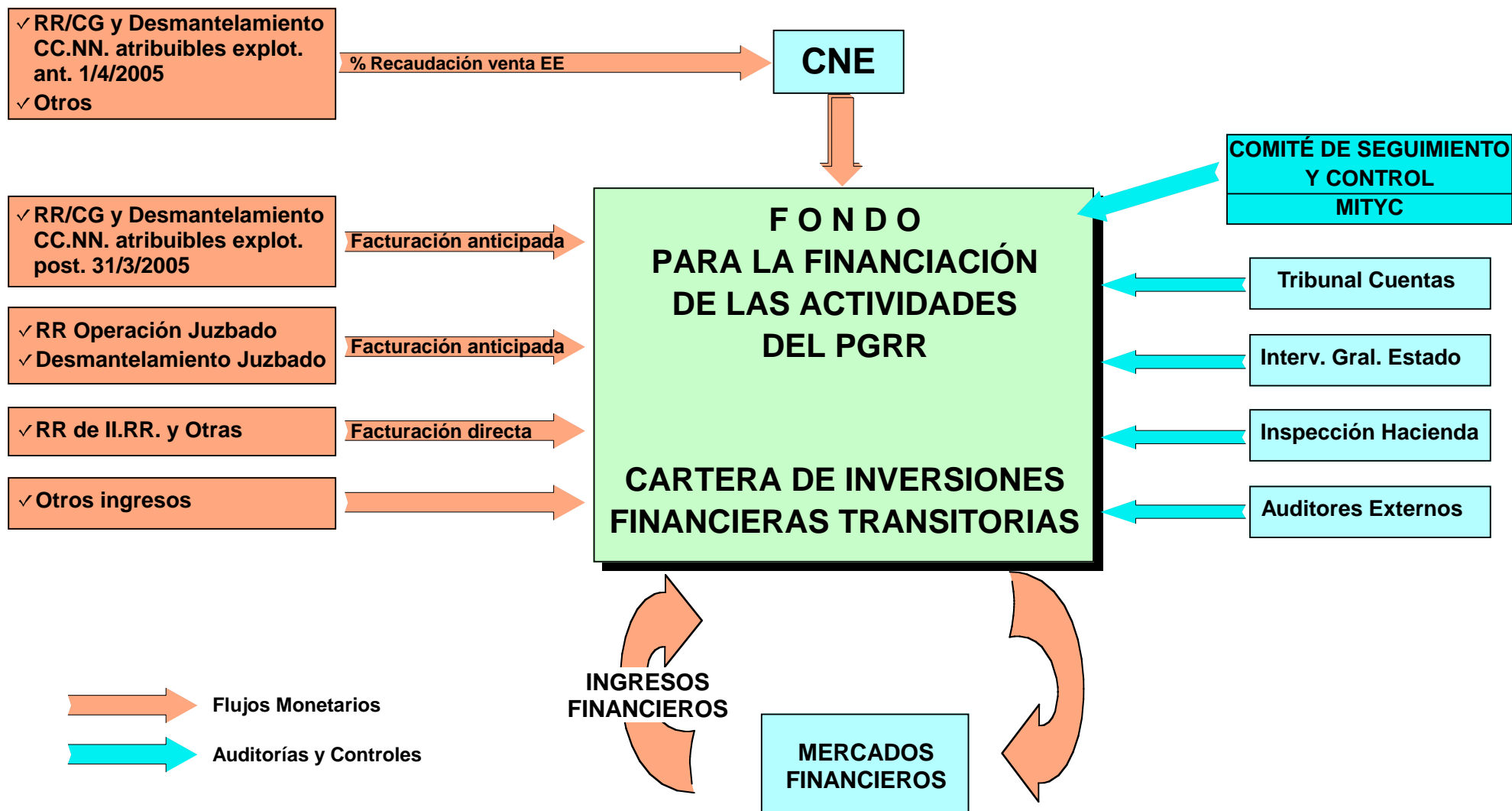
Equipo Intervenido en una Instalación

- **Coste de la Gestión**
  - **Coste total estimado: 12.000 M€04 (1985-2070)**



- **Incurrido el 24% del total a finales de 2004**

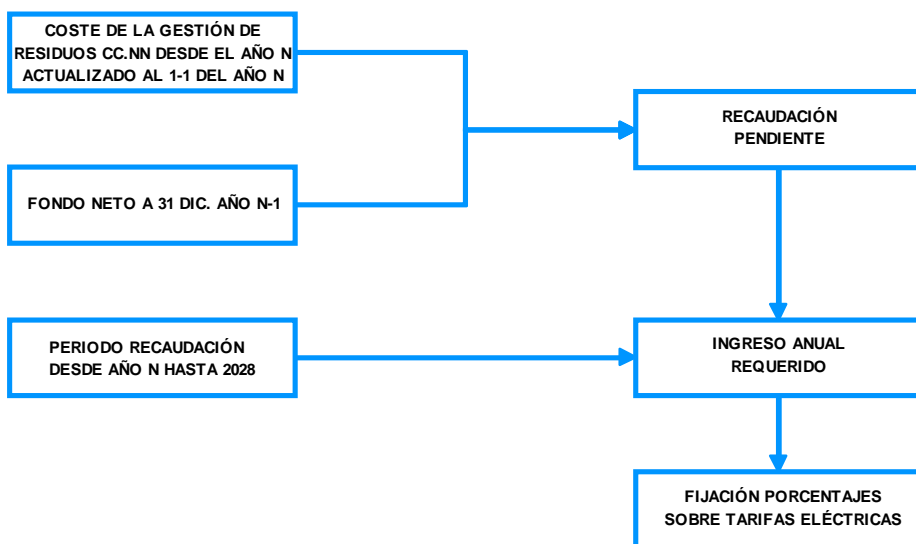
## Aspectos Económico-Financieros



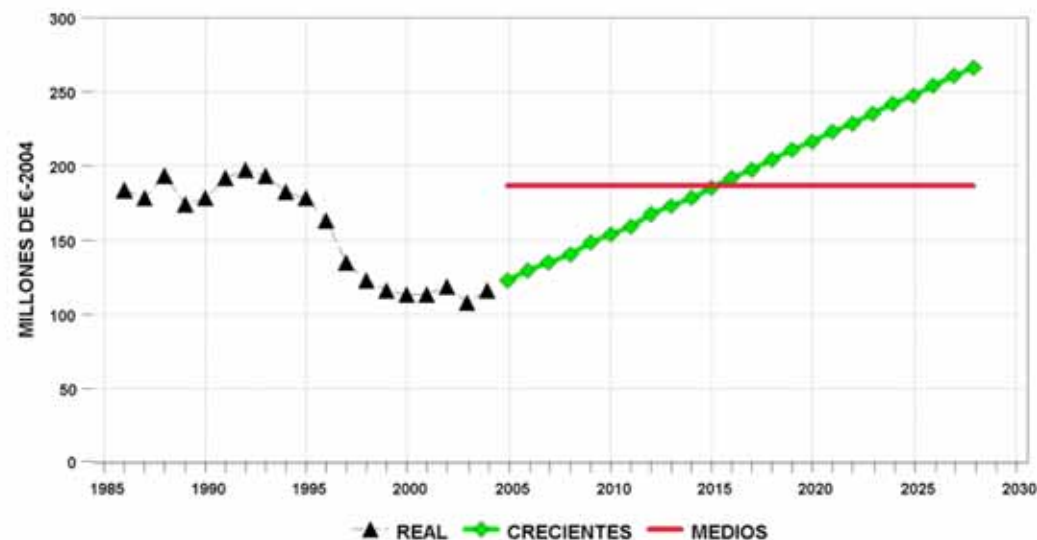
### Financiación con Cargo a la Tarifa Eléctrica

- **Establecimiento porcentajes aplicables sobre la recaudación por venta de energía eléctrica por los suministradores a tarifas y peajes a lo largo del periodo en que exista generación de energía nucleoelectrica.**
- **Las cantidades procedentes de esta vía, mas los rendimientos financieros correspondientes, deben cubrir los costes futuros de:**
  - **La generación de los RR generados en la producción de energía nucleoelectrica desde el inicio de dicha producción.**
  - **La gestión de los RR procedentes de investigación que, a juicio del MITYC, hayan estado relacionados directamente con la producción de energía nucleoelectrica.**
  - **El desmantelamiento y clausura de la CC.NN. y la gestión de los RR resultantes.**
  - **Las operaciones de desmantelamiento y clausura que deben realizarse como consecuencia de la minería y producción de concentrados de uranio, con anterioridad a la autorización de la constitución de ENRESA.**
  - **Otros costes en que deba incurrir ENRESA para el desempeño de sus cometidos en relación con las actividades anteriores.**

### FIJACIÓN PORCENTAJES



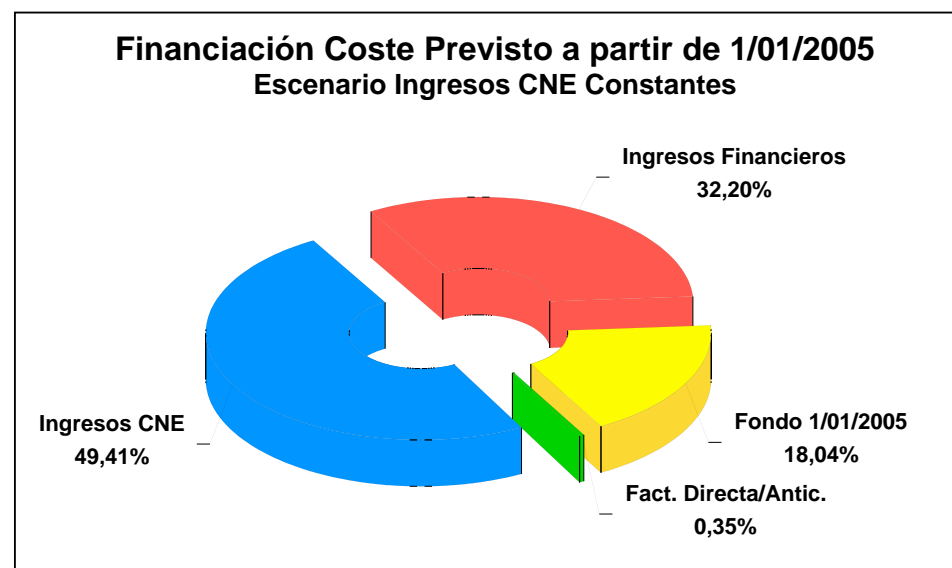
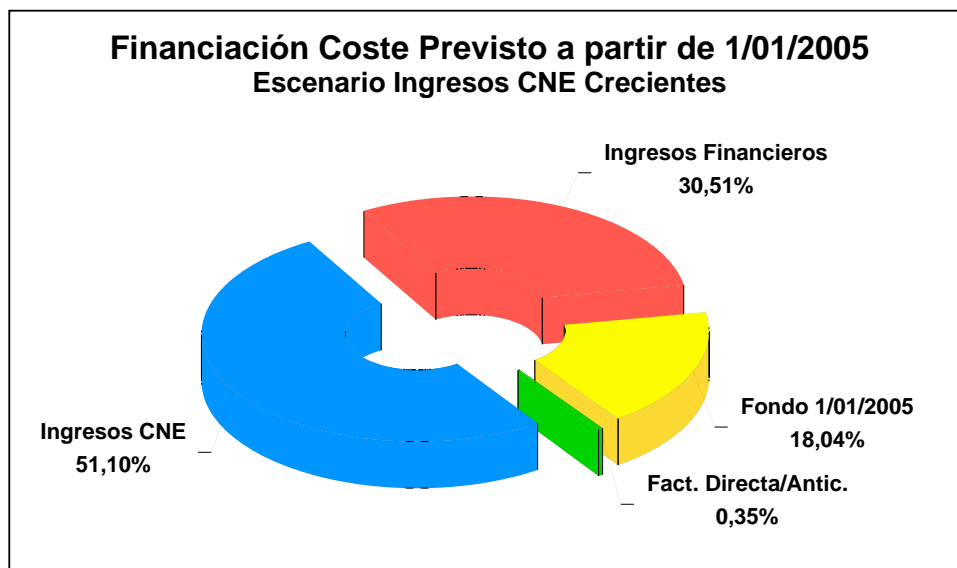
### EVOLUCIÓN INGRESOS



## Aspectos Económico-Financieros

M€ 2004

Coste total gestión RR RR .....	12.000
Coste total gestión RR RR previsto a partir de 1/01/2005 .....	9.115
Coste total gestión RR RR previsto a partir de 1/01/2005, actualizado a esta fecha con una tasa de descuento del 2,5% .....	5.022
Fondo a 1/01/2005 .....	1.644
Coste pendiente de financiar .....	3.378



## Apéndice Disposiciones Legales

- LEY 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.
  - Disposición adicional cuarta, Artículo 2: Definición de residuo radiactivo y cobertura.
- LEY 14/1999, de 4 de mayo, de Tasas y Precios Públicos por servicios prestados por el CSN.
- REAL DECRETO LEY 5/2005 de 11 de marzo, de reformas urgentes para el impulso a la productividad y para la mejora de la contratación pública, que en su artículo vigésimo quinto da nueva redacción a la disposición adicional sexta de la Ley 54/1997, de 27 de noviembre del Sector Eléctrico, en relación con el Fondo para la financiación de las actividades del PGRR.
- REAL DECRETO 1349/2003, de 31 de octubre, sobre ordenación de las actividades de ENRESA y su financiación.
- REAL DECRETO 2392/2004, de 30 de diciembre, por el que se establece la tarifa eléctrica para 2005.
- ORDEN de 13 de julio de 1998, por la que se modifica la de 20 de diciembre de 1994, de desarrollo del R.D 1522/1984, de 14 de julio, por el que se autoriza la constitución de ENRESA, relativa a la asignación de fondos con destino a los Ayuntamientos en cuyo término municipal se ubiquen centrales nucleares que almacenen el combustible gastado generado por ellas mismas en su propio emplazamiento, instalaciones centralizadas específicamente concebidas para el almacenamiento de combustible gastado o residuos radiactivos, centrales nucleares en fase de desmantelamiento y a aquellos otros municipios que queden definidos como consecuencia de la aplicación de esta Orden.
- ORDEN ECO/1449/2003, de 21 de mayo, sobre gestión de materiales residuales sólidos con contenido radiactivo generados en las II.RR de 2ª y 3ª categoría en las que se manipulen o almacenen isótopos radiactivos no encapsulados.