

# GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS: SITUACIÓN, ANÁLISIS Y PERSPECTIVA



FUNDACION PARA ESTUDIOS SOBRE LA  
ENERGÍA



Resumen  
ejecutivo

© 2007. Fundación para Estudios sobre la Energía  
C/ Alenza, 1. 28003 Madrid  
[www.fundacionenergia.es](http://www.fundacionenergia.es)

Depósito legal: M-  
Diseño y maquetación: Dispublic, S.L.  
Impresión: Gráficas Monterreina, S.A.

# Prólogo



Con el impulso del rector de la Universidad Politécnica de Madrid y de los directores de las escuelas de Minas e Industriales, se ha creado la Fundación para Estudios sobre la Energía, con la participación de las diferentes escuelas de Ingenieros relacionadas con la energía y de tres organismos de la Administración del Estado, el Ciemat, el IDAE y la Comisión Nacional de la Energía.

La Fundación pretende desempeñar un papel de ayuda a la Administración para tomar las medidas que parezcan adecuadas y a la opinión pública para que las exija y las acepte. La problemática energética necesita, en efecto, cada vez más estudios y opiniones que permitan fundamentar las decisiones políticas y empresariales.

En este documento presentamos hoy un estudio sobre la gestión de los residuos radiactivos, tema especialmente controvertido en torno a la problemática de la energía nuclear. No pretendemos en él aconsejar políticas o medidas al respecto, sino tan sólo situar el problema en sus justos términos, describiendo lo que se sabe y lo que no se sabe, sobre lo que se debe y se puede hacer frente a los riesgos que entraña la existencia de dichos residuos.

El estudio se materializa en dos volúmenes, en el primero se revisa la situación de la gestión del combustible gastado en sus diferentes aspectos: técnico, de seguridad y de opinión pública y hace un análisis específico de la situación en España. El volumen 2 recoge el análisis de la situación de la gestión en los principales países de la OCDE. El trabajo se completa con dos separatas: un resumen técnico del trabajo realizado y un resumen ejecutivo del mismo.

El estudio ha sido realizado por el siguiente equipo de técnicos:

Alberto López García. Ingeniero Industrial, director del estudio.

Carlos del Olmo. Ingeniero de Minas, subdirector del estudio.

Armando Uriarte. Doctor en Ciencias Químicas.

Manuel Toharia. Físico, sociólogo y periodista.

Eduardo Gallego. Profesor titular de la E.T.S. de Ingenieros Industriales de Madrid.

Aurelio Ulibarri. Ingeniero Industrial.

Isaac González. Doctor en Ciencias Físicas, Fundación Gómez Pardo.

Con la colaboración de un grupo de expertos internacionales formado por:

Klaus Kühn. Profesor de la Universidad de Clausthal, ha sido director del IFT (RFA).  
Allan Duncan. Miembro del RWMC (NEA), fue director del H.M. Inspectorate of Pollution (UK).  
Robert Guillaumont. Miembro de la Comisión Nationale d'Evaluation y Académico (Francia).  
Claes Thegerström. Presidente de SKB (Agencia de Gestión de R.R. Suecia).  
Javier Reig. Director de Seguridad Nuclear de la Agencia de Energía Nuclear (NEA-OCDE).

Y supervisado por.

Juan Manuel Kindelán. Ingeniero de Minas, vicepresidente de la Fundación.  
José María Martínez Val. Ingeniero Industrial, adjunto al vicepresidente.  
Ramón Gavela. Doctor en Ciencias Químicas, Ciemat.  
Carlos Fernández Ramón. Catedrático de la E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid.  
Francisco Javier Elorza. Subdirector de la E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid.  
Fernando Robledo. Ingeniero Naval, Fundación Gómez Pardo.

El estudio se ha llevado a cabo con la aportación económica de Unesa, Enresa, Consejo de Seguridad Nuclear, Ciemat y la Comisión Nacional de la Energía, que, sin embargo, no han participado en su elaboración.

**Juan Manuel Kindelán**  
Vicepresidente Ejecutivo de la Fundación  
para Estudios sobre la Energía

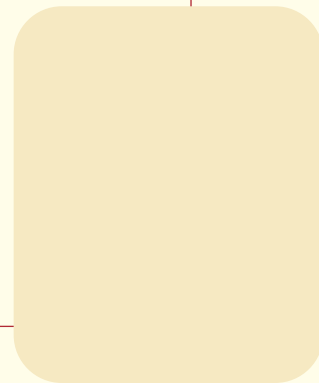
**Jose María Martínez Val**  
Adjunto al vicepresidente

# Sumario

<b>Introducción</b> .....	7
<b>1. La gestión del combustible gastado (CG) y residuos de alta actividad (RAA)</b> .....	8
<b>2. Situación y perspectiva de la gestión del combustible gastado y los residuos de alta actividad en España</b> .....	13



# Resumen ejecutivo



## Introducción

La Fundación para Estudios sobre la Energía ha elaborado el estudio *Gestión de Residuos Radiactivos: Situación, Análisis y Perspectiva*. En este resumen ejecutivo se presentan los aspectos principales del mismo.

La energía nuclear y los isótopos radiactivos son ampliamente utilizados en actividades como la producción de electricidad, aplicaciones médicas o procesos industriales. Todas estas actividades generan residuos radiactivos cuya gestión es necesaria por razones de protección de las personas y del medio ambiente.

El mayor volumen de estos residuos corresponde a los residuos de media y baja actividad. Las tecnologías necesarias para la adecuada gestión de los mismos han sido desarrolladas, gracias al esfuerzo tecnológico realizado durante los últimos treinta años, y en la actualidad están disponibles para su utilización. Ello ha permitido que en la mayoría de los países de la OCDE, como es el caso de España, estén instalados y en operación a escala industrial sistemas de gestión de estos residuos, seguros y respetuosos con el medio ambiente. La cantidad de residuos de media y baja actividad que en los principales países de la OCDE, ya están almacenados de forma definitiva, supera la cifra de 12.000.000 m<sup>3</sup>. Ello da una idea de la amplia experiencia técnica y operativa alcanzada.

El establecimiento y operación de los sistemas de gestión de los residuos de baja y media actividad es también condición necesaria para abordar el desmantelamiento de las centrales nucleares al final de su vida operativa. En España, por ejemplo, las actuaciones de desmantelamiento llevadas a cabo en Vandellós I o las previstas para el desmantelamiento de Zorita no hubieran sido posibles si no estuviera en operación el almacenamiento de El Cabril y el resto de sistemas y procesos constitutivos de la gestión de residuos de media y baja actividad.

El combustible gastado, descargado de los reactores nucleares es el principal material con alta actividad y radiotoxicidad generado en el mundo. Desde los años cincuenta se ha venido trabajando en el desarrollo de tecnologías para su gestión, lo que ha permitido su manejo, acondicionamiento y almacenamiento temporal de forma segura. No obstante, aún no se ha llevado a cabo la eliminación o el almacenamiento definitivo de estos materiales o de los residuos de alta actividad (RAA) generados en su gestión.

Este estudio se centra precisamente en la gestión del combustible gastado y los residuos de alta actividad. Si bien el informe tiene un marcado enfoque tecnológico y medioambiental, se han considerado, también, otras variables relacionadas con la gestión de estos materiales, como son las estratégicas, las económicas y las de aceptación social.

## 1. La gestión del combustible gastado (CG) y residuos de alta actividad (RAA)

### Energía nuclear y generación de combustible gastado

La energía nuclear proporciona el 16% de la electricidad mundial, manteniéndose en los últimos 20 años su aportación porcentual respecto al total de fuentes energéticas. Hay en el mundo más de 440 reactores nucleares comerciales en funcionamiento, en 34 países, con más de 370.000 MW de potencia eléctrica instalada. Algunos países, tales como Finlandia, Japón, Corea, China, India y Rusia están construyendo nuevas centrales nucleares, y otros como Francia, Estados Unidos y Sudáfrica tienen planes de construcción. Sin embargo Alemania, Bélgica, España, Suecia y Holanda han considerado o tienen en discusión el abandono de este tipo de energía.

En España la utilización comercial de la energía nuclear comenzó en 1968 con la conexión a la red de la primera central nuclear. A fin de 2006 había ocho reactores en funcionamiento con una potencia instalada de 7.728 Mwe<sup>1</sup> que produjeron en dicho año 60.110 Gwh, el 20% de la electricidad generada en España, **figura 1**, siendo, después del gas natural y del carbón, la tercera fuente de generación.

Se estima que, anualmente, en la producción de electricidad de origen nuclear, se producen en el mundo unas 10.500 t de combustible gastado, y se espera un incremento a 11.500 t para 2010. Dado que menos de la tercera parte de esta cantidad es reprocesada, unas 8.000 tU se unen cada año al inventario de combustible gastado almacenado temporalmente. En el año 2003, la cantidad acumulada de combustible gastado generado en el mundo era de unas 275.000 tU, [EST-05] y la de combustible almacenado unas 186.000 t, siendo el resto (89.000 tU) reprocesado.

<sup>1</sup> Una vez producido el cese definitivo de la explotación de la central nuclear Jose Cabrera en abril de 2006



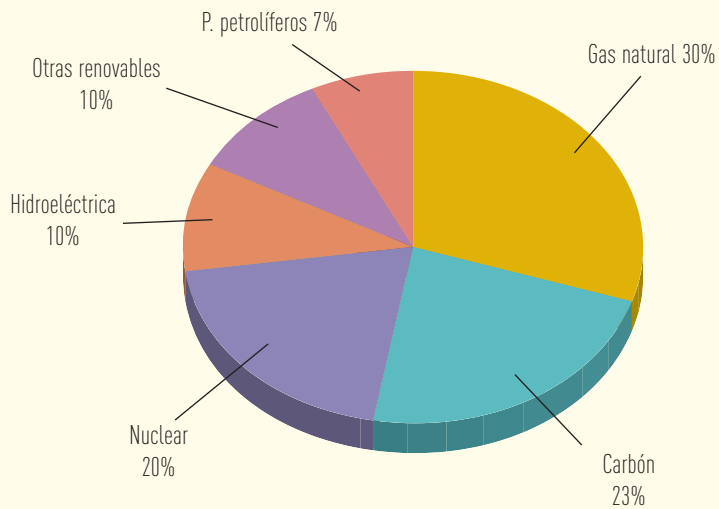
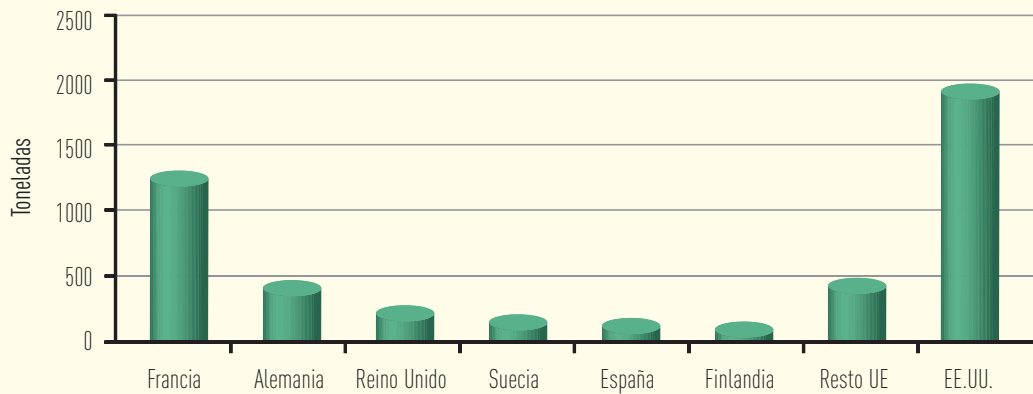


Figura 1. Estructura de la producción eléctrica en España en 2006.



Fuente WNA

Figura 2. Generación anual de combustible gastado. Estimación 2006.

Las centrales nucleares españolas tenían almacenado en sus piscinas, a finales de 2005, un total de 3.370 t, estimándose que el parque nuclear actual generará una cantidad adicional similar de combustible gastado hasta el final de la vida operativa de las centrales, supuesta, a efectos de planificación, en 40 años. España es el quinto productor de combustible gastado de la UE (figura 2).

### Características del combustible gastado (CG) en reactores térmicos de agua ligera

La mayoría del combustible gastado, figura 3, está compuesto por el U original, que representa el 95% del porcentaje másico del combustible, correspondiendo el resto a productos de activación y de fisión, así como a actínidos transuránicos (TRU): Np, Pu, Am y Cm y sus descendientes.

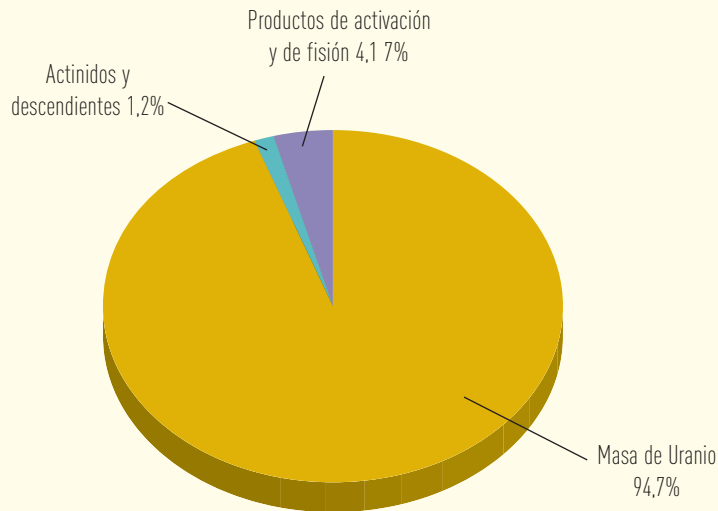


Figura 3. Composición en porcentaje másico en una pastilla de combustible gastado con un quemado de 40.000 MWd/tU (Enresa).

La radiactividad del combustible gastado es muy elevada, decreciente en el tiempo pero duradera durante largos periodos como se puede apreciar a escala logarítmica en la figura 4.

Durante los primeros 200 años, es debida principalmente a los productos de fisión que son emisores de radiaciones beta y gamma. Después de estos 200 años, serán los elementos transuránicos, básicamente emisores de partículas alfa, los mayores contribuidores a la radiactividad del combustible. Pasados 100.000 años, la radiactividad será debida, fundamentalmente, al U, Np, Pu y sus productos de desintegración radiactiva, así como a los productos de fisión Tc-99, I-129, Cs-135 y otros de vida larga.

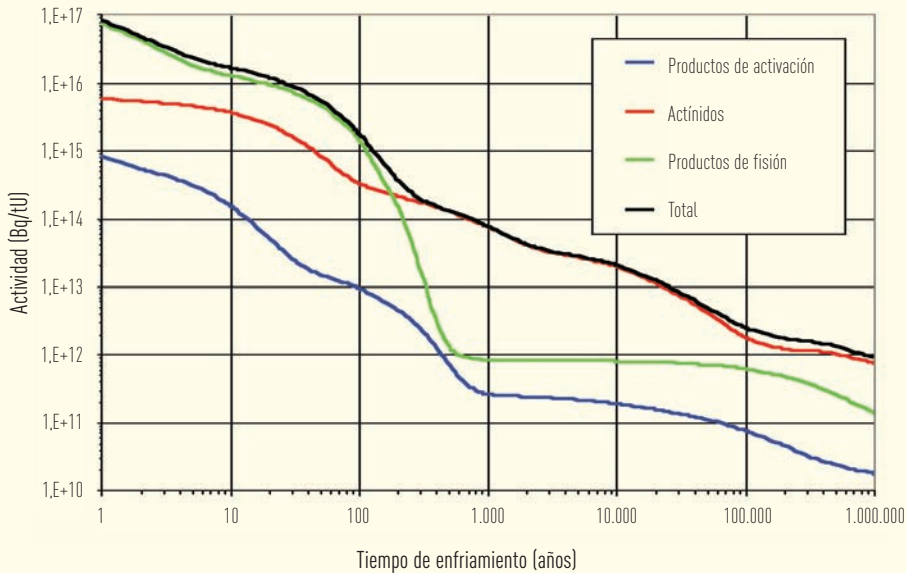


Figura 4. Radiactividad total del combustible gastado (Enresa).

## Principios básicos de la gestión de los residuos radiactivos

El objetivo principal de la gestión de los residuos radiactivos es su tratamiento con vistas a proteger la salud del ser humano y el medio ambiente ahora y en el futuro sin que ello suponga una carga para las generaciones venideras.

En la gestión del CG y RAA, como en toda práctica con radiaciones, los objetivos de protección radiológica, del público y del medio ambiente se basan en el sistema de limitación de dosis recomendado por la Comisión Internacional de Protección Radiológica. Este sistema es la base del *Reglamento español sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes*.

## Opciones de gestión del combustible gastado

La gestión del combustible gastado es el término aplicado al conjunto de medidas, tanto en sentido técnico como institucional, por medio de las cuales se pretende asegurar que los combustibles gastados no sean un obstáculo para la operación normal de las centrales nucleares y que esas medidas técnicas no supongan, ni individualmente ni en su conjunto, un riesgo indebido para el ser humano y el medio ambiente.

El combustible nuclear, una vez ha finalizado su etapa de producción de energía en el reactor, es almacenado en las piscinas de combustible gastado de la misma central nuclear para evacuar el

calor residual que produce. A partir de este momento existen las siguientes opciones básicas de actuación:

- ▶ **Ciclo abierto:** después de un período indefinido de almacenamiento temporal (bien en húmedo: piscinas, bien en seco: contenedores), se procede al acondicionamiento y encapsulado del combustible para su almacenamiento definitivo como residuo.
- ▶ **Ciclo cerrado:** tras un periodo de almacenamiento temporal, se procede al reproceso del combustible gastado, con objeto de separar el uranio y el plutonio del resto de componentes, para su utilización posterior en un nuevo proceso de fisión nuclear como materiales energéticos, mejorando el aprovechamiento de la potencialidad energética del U. Los RAA producidos son acondicionados mediante vitrificación para su posterior manejo y almacenamiento final.
- ▶ **Ciclo cerrado avanzado:** incluye el ciclo cerrado y la separación y transmutación de los actínidos minoritarios y algunos productos de fisión para disminuir su actividad y radiotoxicidad.

En los ciclos cerrados, los RAA y RMA no susceptibles de ser almacenados definitivamente cerca de la superficie, deberán ser almacenados en un Almacén Geológico Profundo (AGP), igual que los CG, considerados residuos de alta actividad en el ciclo abierto, si bien la actividad total de los residuos almacenados sería inferior.

La decisión sobre una determinada estrategia para la gestión del combustible gastado es un asunto complejo en el que intervienen factores políticos, económicos, de conservación de recursos, protección medioambiental y opinión pública, el último de los cuales ha llegado a ser un factor predominante en la toma de decisiones de muchos países.

### **Coste de la gestión del combustible gastado**

El coste de producción de electricidad de un ciclo, incluye tanto los costes de inversión, operación y mantenimiento de las centrales nucleares productoras de electricidad, como los correspondientes al ciclo del combustible (primera parte, previa a su entrada en el reactor y segunda parte, una vez retirado del reactor como combustible gastado). De forma general, para cualquiera de los ciclos considerados, el coste de construcción y operación de la central nuclear es muy superior al del ciclo del combustible. Como ejemplo, en la [figura 5](#) se representa la estructura de coste de producción eléctrica en el caso de ciclo abierto, donde puede apreciarse que la inversión en la central nuclear representa alrededor del 62% del coste unitario de producción, a la operación y mantenimiento de la central corresponde el 22%, el coste de la primera parte del ciclo (mineral de uranio, concentrado, conversión, enriquecimiento y fabricación del combustible) contribuye al 11% del total, mientras que el coste de la segunda parte del ciclo (almacenamiento temporal, encapsulado y almacenamiento final en el AGP) es sólo del orden del 5% del coste unitario total, esto es entre 0,15 y 0,2 c€ / kWh.

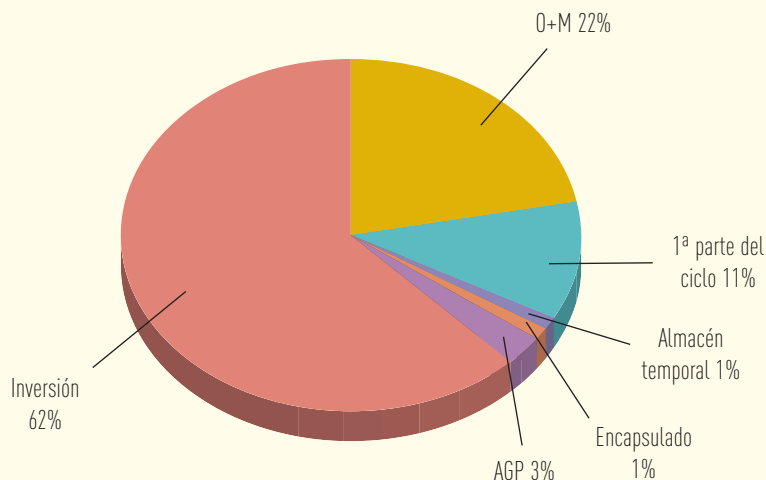


Figura 5. Estructura del coste unitario de producción eléctrica en ciclo abierto.

## 2. Situación y perspectiva de la gestión del combustible gastado y los residuos de alta actividad en España

### Situación actual

La situación de la gestión del combustible gastado y residuos de alta actividad y larga vida en España se identifica por las siguientes características:

- ▶ Una tipología de residuos ya ocasionados o previstos muy poco variada, constituida en un 80% del volumen total a gestionar por CG procedente de centrales de agua ligera con características físicas, químicas y radiológicas similares, el 13,4% son residuos acondicionados procedentes del reproceso de combustible realizado en años pasados y el 6,6% restante se estima sean residuos provenientes del futuro desmantelamiento de las centrales españolas. La poca diversidad en la tipología de los residuos a gestionar debería representar una simplificación en la gestión por la homogeneización de procesos y soluciones que ello permite.
- ▶ Supuesta una vida operativa de las centrales nucleares de 40 años, el volumen total del combustible gastado y residuos de alta actividad y larga vida a gestionar, una vez encapsulados, se estima en unos 13.000 m<sup>3</sup>, de los cuales unos 10.000 m<sup>3</sup> (6.674 tU) serían combustible gastado. Este volumen es el quinto mayor entre los países de la UE, equivalente al 6% del total de la Unión.

- ▶ La ausencia de compromisos futuros con otros países en materia de reproceso del CG almacenado en España, tal como se desprende del texto del PGRR (Plan General de Residuos Radiactivos), permite una gran flexibilidad en la definición de estrategias y toma futura de decisiones, lo cual es muy importante en un sector en que por sus características, las decisiones tienen efectos de muy larga duración y difícil reversibilidad.
- ▶ El compromiso con Francia de retorno a España de los residuos provenientes del reproceso del CG de Vandellos 1, el desmantelamiento de Zorita y alguna situación puntual de posible saturación de la capacidad de la piscina de alguna central aconseja implantar las oportunas soluciones de incremento de capacidad de almacenamiento temporal en el entorno del 2010.

### **Estrategia establecida en el Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR)**

El PGRR ha establecido el ATC (Almacenamiento Temporal Centralizado) como pieza esencial de gestión para el almacenamiento temporal de estos residuos por un periodo de 60 años, ello independientemente de las soluciones individuales que pudieran establecerse en cada central, como segunda opción, para resolver los problemas puntuales de almacenamiento temporal que se puedan plantear en el corto plazo en caso de retraso del ATC.

Dotar al sistema español de una instalación de almacenamiento temporal centralizado de CG y residuos de alta actividad y larga vida parece una decisión acertada que comparada con cualquier otra alternativa tiene ventajas estratégicas, de seguridad, de protección física, económicas y operativas.

No obstante, el plazo de cinco años previsto para la ubicación, construcción y puesta en marcha de la instalación puede ser insuficiente, en especial para resolver de forma satisfactoria el proceso de negociación y aceptación pública requerido para su ubicación. Las recientes resoluciones parlamentarias habidas reconociendo la conveniencia de esta instalación y la Comisión Interministerial creada al efecto son instrumentos muy valiosos favorables para el cumplimiento en plazo establecido en el programa.

El Plan estima en más de 3.000 M€ el coste de las actividades de gestión final del CG, equivalente al 50% de toda la gestión del CG y residuos de alta actividad y larga vida y al 25% del coste total estimado para toda la gestión de todos los tipos de residuos radiactivos, incluyendo los del desmantelamiento de las centrales.

### **Análisis de la viabilidad de los diferentes tipos de ciclo de CG en el caso español**

La alternativa de **ciclo abierto** y almacenamiento directo del CG en un AGP es reconocida a nivel mundial como una solución viable, recomendable para muchos por motivos de no proliferación y sus costes pueden ser estimados con mayor fiabilidad que los del resto de alternativas. Todo ello gracias al conocimiento tecnológico adquirido por el esfuerzo de I+D desarrollado a nivel internacional durante los últimos cuarenta años. Es la solución elegida en la UE por países con programas nucleares para usos exclusivamente civiles como Suecia o Finlandia y por los Estados Unidos para el CG procedente de las centrales nucleares comerciales. Sin embargo, aún no hay en operación ningún almacén geológico profundo de combustible gastado.

El potencial tecnológico español parece suficiente para abordar con éxito esta alternativa, gracias tanto a los conocimientos ya adquiridos mediante el programa de I+D desarrollado por Enresa durante

los últimos veinte años, como a los que podrían ser adquiridos de continuar con este proceso de generación de conocimientos en sus dos dimensiones, doméstica y de cooperación internacional.

Debido al sistema de financiación establecido desde 1984 y a las dotaciones de recursos financieros que se han venido destinando desde entonces al Fondo para la Gestión de Residuos Radiactivos y la previsión de su continuidad según las estimaciones de los PGRR, España tiene también la capacidad económica suficiente para abordar con éxito esta alternativa de ciclo abierto y almacenamiento directo del CG en el AGP.

También gracias al conocimiento geológico desarrollado en los últimos años, parece razonable pensar que nuestra geología ofrece rocas estables, con las características necesarias para albergar un AGP con las garantías requeridas.

La alternativa de **ciclo cerrado** con reproceso según la tecnología y procesos hoy utilizados a escala industrial en Francia y Gran Bretaña y el posterior potencial reciclado de los materiales fisionables recuperados en reactores térmicos o rápidos es una opción que España dejó de considerar a principio de los años ochenta, principalmente por razones económicas. Las condiciones que aconsejaron esa decisión no han cambiado de forma sustancial por lo que no parece previsible un cambio estratégico al respecto. Sólo una subida desorbitada y persistente del precio del uranio podría aconsejar su consideración, al margen de otros factores sociales y de política energética, que en todo caso deberían ser tenidos en cuenta.

Adicionalmente, si se hubiera reprocesado el CG procedente de las centrales de agua ligera en las plantas de reproceso actuales, el consiguiente vitrificado de los RAA, imposibilitaría la separación y transmutación futuras de los actínidos minoritarios y productos de fisión contenidos en los mismos, en caso de que la transmutación fuera una opción utilizable en el futuro.

La gestión del CG basada en el reproceso y separación avanzados seguidos de la transmutación de los elementos radiactivos de larga vida en reactores rápidos de nueva generación (**ciclo cerrado con transmutación**), tiene potenciales e importantes ventajas como son el mayor aprovechamiento del contenido energético del CG y la menor radiotoxicidad y cantidad de los residuos a ser almacenados en el AGP. No obstante esta opción tiene aún incertidumbres esenciales sobre su viabilidad para poder ser considerada en la actualidad una verdadera alternativa tecnológica, quedando pendiente la realización de los correspondientes análisis de coste / beneficio, una vez que se disponga de la información necesaria para su desarrollo. No parece factible que los países más avanzados en estas tecnologías, Francia y Estados Unidos, dispongan antes de 2040 de instalaciones industriales de separación avanzada, fabricación de combustibles para su transmutación y reactores avanzados donde esa transmutación, al menos parcialmente, sea posible.

El ciclo cerrado del combustible gastado basado en el reproceso y reciclado múltiple, con o sin transmutación posterior, requeriría, como característica principal, la disponibilidad de nuevos tipos de reactores rápidos. El diseño, construcción y operación de estos nuevos reactores, requieren un horizonte del orden de un siglo de actividad nuclear.

En resumen, la separación y transmutación es una opción de gran interés potencial, que puede contribuir, de forma relevante, a disminuir el inventario radiológico a gestionar en el AGP, pero requiere un gran esfuerzo de I+D para su desarrollo. Este esfuerzo solo tiene sentido en un contexto de continuidad del uso de la energía nuclear de fisión para la producción de electricidad.

La capacidad científica y tecnológica española parece insuficiente para generar aportes significativos, a un coste razonable, a esta opción salvo que se realicen de forma coordinada con otros países en proyectos de cooperación internacional.

Las estimaciones de costes de esta opción, aún muy preliminares y con fuertes incertidumbres, superarían los previstos en el PGRR vigente para la gestión final del CG, planteando dudas sobre la suficiencia del Fondo para la Gestión de Residuos Radiactivos para completar con éxito esta gestión.

Por todas las razones apuntadas y por las implicaciones de largo plazo asociadas, esta opción de ciclo de combustible debiera considerarse principalmente una opción de estrategia o política energética de largo plazo, más que una opción de gestión de residuos.

### **Importancia del ATC y del AGP para el programa español**

#### **► ATC**

Los diversos sistemas de almacenamiento temporal del combustible en operación en el mundo, constituyen hoy en día tecnologías probadas, con más de 50 instalaciones funcionando en más de una quincena de países, experiencia a la que hay que añadir la de operación de las piscinas de las centrales.

No obstante, el almacenamiento temporal del combustible gastado, más o menos prolongado, no puede considerarse como una opción de gestión del mismo, sino como la etapa inicial de cualquier tipo de gestión.

Una vez que se produzca la puesta en marcha del ATC, tal como está programado en el PGRR, el CG podrá estar almacenado de forma segura durante varias generaciones (el vigente PGRR contempla al menos sesenta años tras su construcción). España tendría una situación muy consistente y flexible en cuanto a su estrategia de gestión, teniendo abierta la posibilidad de elegir cualquiera de las opciones de ciclo de combustible:

- El periodo de vida del ATC y el Fondo para la gestión de residuos radiactivos facilitan el tiempo y los recursos financieros necesarios para el desarrollo del AGP, estando por tanto éste disponible para recibir el combustible gastado si la opción finalmente elegida es la de ciclo abierto.
- Si durante esos sesenta años se registraran de forma sostenida subidas del precio del uranio y descensos en el del servicio de reproceso, de forma que la opción de ciclo cerrado con reciclado, bien en reactores térmicos bien en rápidos, fuera competitiva respecto a la opción de ciclo abierto, España estaría en condiciones de elegir esa opción pues tendría en el ATC el CG intacto disponible para su reproceso, los recursos financieros necesarios facilitados por el Fondo y disponibilidad futura para recibir los RAA procedentes del reproceso en el AGP gracias al desarrollo de las actividades del mismo mantenidas a lo largo del tiempo.
- Incluso si en las próximas décadas se resolvieran de forma satisfactoria las incertidumbres existentes sobre las nuevas tecnologías de reproceso, separación y reciclado múltiple y se mostraran competitivos los futuros reactores transmutadores, España también estaría en condiciones de tomar esta opción si las futuras decisiones de política energética lo considerasen oportuno.



## ► AGP

Existe consenso internacional en el reconocimiento de la necesidad del almacenamiento geológico profundo para la disposición final de estos residuos independientemente de la opción tecnológica elegida para la gestión del CG, ciclo abierto o ciclo cerrado en cualquiera de sus variantes, con o sin transmutación.

El aislamiento del CG y los RAA en formaciones geológicas mediante sistemas de barreras múltiples, se considera la opción más segura y viable que puede satisfacer los restrictivos límites y condiciones de seguridad impuestos a este tipo de almacenamiento con tecnologías actualmente disponibles. El AGP es un concepto recomendado por los principales organismos internacionales competentes en materia nuclear y sobre el que se ha acumulado un gran conocimiento, a través de importantes programas de I+D de la UE y países avanzados.

Sin embargo, el rechazo social a este concepto ha retrasado su puesta en práctica. Actualmente dos países: Estados Unidos, que ya tiene un AGP en operación para los residuos con elementos transuránicos no emisores de calor, y Finlandia, han designado el emplazamiento donde se construirá el AGP para combustible gastado y tienen prevista su operación antes de 2020. Suecia y Francia cuentan con laboratorios subterráneos avanzados, y aunque aún no han designado el emplazamiento elegido para la construcción del AGP, prevén su operación hacia 2025.

Los programas nacionales que más han avanzado en los últimos años, han escogido una aproximación mediante un proceso de toma de decisiones con etapas claramente definidas en un proceso de concertación social y con apoyo parlamentario. Esto permite flexibilización y adaptación a desarrollos (o involuciones) político-sociales y científico-tecnológicos. En este contexto, la recuperabilidad es un elemento esencial en dicha flexibilización ya que permitiría revertir decisiones tomadas en su momento.

La referencia de los países que más adelantado tienen sus programas de AGP (Estados Unidos, Francia, Suecia o Finlandia) muestra que para completar el conjunto de actividades necesarias para disponer de esta instalación, esto es, la generación de conocimientos previos, el proceso de ubicación de la instalación, la caracterización del emplazamiento y la construcción de las instalaciones, se requiere del orden de 40 / 50 años de actividad continua.

El PGRR español establece a efectos de planificación y estimación de costes que el AGP iniciaría su operación en el año 2050. Para ello, considera un periodo, entre 2025 y 2040, para toma de decisiones y caracterización del emplazamiento, previendo la construcción de las instalaciones entre 2040 y 2050. No especifica sin embargo una programación de actividades entre 2006 y 2025, a efectos de cumplir el objetivo de poner en marcha el AGP en 2050.

Para disponer de un AGP en funcionamiento en 2050 sería necesario establecer una programación específica de las actividades a realizar tanto en el corto como en el largo plazo, así como los correspondientes hitos de cumplimientos parciales en especial aquellos que permitan la participación ciudadana y del Consejo de Seguridad Nuclear en el proceso.

### ¿ATCs o AGPs internacionales?

Salvo alguna iniciativa realizada por Rusia, no existe un mercado internacional de servicios de almacenamiento temporal sin reproceso y cada vez son más los países cuyas legislaciones prohíben

el almacenamiento final del CG originario de centrales de fuera de sus fronteras y de los residuos provenientes del tratamiento o reproceso del mismo. Independientemente de los esfuerzos que organismos como la OIEA está realizando para conseguir la ubicación y construcción de un AGP internacional, en especial para albergar CG y residuos provenientes de países con geologías poco favorables o con programas nucleares de pequeño tamaño, parece poco probable que haya en el corto y medio plazo un mercado internacional para futuros servicios de almacenamiento geológico.

El razonamiento anterior redundante en la idea de que tanto el ATC como el AGP son piezas necesarias en una gestión ambiental responsable de un país con un programa nuclear de la dimensión del español. Parece por tanto aconsejable focalizar los esfuerzos de gestión (técnicos, sociales y de comunicación) en los programas de ubicación y construcción de aquellas instalaciones para las que no parece posible otra solución que la que cada país pueda implantar por sí mismo, esto es el ATC y el AGP, cada uno con sus respectivas características, prioridades y calendario.

### **Capacidad tecnológica española e I+D**

En España hay un importante desequilibrio entre la dimensión del programa nuclear de generación eléctrica (con las consiguientes cantidades de CG a gestionar) y la limitada infraestructura existente en instalaciones de contenido científico y tecnológico adecuadas para el estudio del comportamiento del CG y su evolución en el tiempo. El PGRR prevé reducir este desfase con la dotación de nuevas instalaciones, previsiblemente a ser instaladas en el ATC, para evaluar la evolución y comportamiento del combustible irradiado en el largo plazo. La dotación de estas nuevas instalaciones debería ir acompañada de un programa de incorporación y preparación del personal científico encargado de su operación y de colaboración con universidades y centros de investigación.

Las actividades de I+D relativas al estudio del CG y su encapsulado, son sólo una parte de los desarrollos tecnológicos necesarios para disponer de un AGP. Es necesario además un progreso paralelo, progresivo y coordinado con el resto de actividades, de aquellas relativas a los métodos de caracterización del medio geológico, especialmente de las características geomecánicas, hidrogeológicas y geoquímicas de las formaciones cristalinas y sedimentarias de nuestro país a las profundidades de referencia para el AGP. Estas actividades debieran seguir simultaneándose con la participación en proyectos internacionales de I+D que dispongan de infraestructuras de I+D y laboratorios subterráneos no disponibles en España y cuya generación de conocimientos sea de interés para nuestro programa.

Parece también necesario, establecer un plan de actuación en I+D que permita el seguimiento de la generación de conocimientos científicos y tecnológicos que a nivel mundial se vayan generando en el ámbito de la separación para la transmutación, fabricación de combustibles para transmutación y transmutación, todo ello con el fin de orientar las futuras actualizaciones del PGRR en función de las perspectivas de viabilidad de la transmutación.

El esfuerzo de I+D a realizar en este campo, debería ser proporcionado al papel que la política energética española otorgue al programa nuclear futuro y a nuestras necesidades de gestión de residuos. Es recomendable en este sentido participar en los programas de la UE sobre separación y transmutación, así como en los relacionados con los desarrollos de nuevos reactores. Esta participación, debería tener siempre unos objetivos tecnológicos adaptados a nuestras necesidades y de retorno económico realistas.

## Financiación de la gestión

Uno de los elementos esenciales en la estrategia establecida en España para la gestión de estos residuos es el sistema de financiación. Los recursos financieros a recaudar para ser aplicados en las futuras actividades de la gestión son estimados en las diferentes revisiones del PGR. Estas estimaciones son por tanto esenciales para hacer posible la gestión, más aún si se tiene en cuenta que en el momento de cada futura revisión del plan la vida operativa pendiente de las centrales será cada vez menor y por lo tanto será menor el margen para rectificar el ritmo necesario de generación de las dotaciones al fondo.

Otro tema a considerar en el aspecto económico de la gestión de CG es el potencial incremento e incertidumbre de su coste por la realización de tareas relacionadas con el ciclo cerrado avanzado basado en la transmutación, tanto en sus aspectos científicos y de I+D en el corto y medio plazo como las potenciales futuras a mayor escala en el largo plazo. Esta opción, en caso de ser viable, debe ser considerada como una nueva alternativa de estrategia energética en vez de una mera opción de gestión de residuos. Para ésta ya existe una estrategia basada en soluciones accesibles y económicamente compatibles con los recursos financieros disponibles o previstos (ciclo abierto). De acuerdo con ello, y para evitar incertidumbres en la suficiencia de los recursos financieros necesarios para la gestión de residuos, parece poco recomendable aplicar los recursos del Fondo para la gestión de residuos radiactivos a las actividades relacionadas con el ciclo cerrado avanzado, las cuales deberían ser financiadas con recursos de otro origen.

## Importancia de la comunicación al público, de la participación ciudadana y de la aceptación social

En cuestiones relacionadas con la ciencia y la tecnología, y a fortiori con la energía nuclear y sus residuos, la mayoría de la población entiende mal, o sencillamente ignora, los conceptos básicos en los que reposan las informaciones que, de una u otra forma, llegan a través de los medios de comunicación. Seguramente los ciudadanos no necesitan saber mucho de todas estas cosas, pero muchas veces, precisamente por no saber, uno es fácil presa de los embaucadores o de los alarmistas. Y es fácil entonces acabar percibiendo de manera muy negativa el hecho mismo de tener que gestionar unos residuos industriales que entrañan riesgos para la salud y el entorno, como son los residuos radiactivos.

La mala comprensión de la mayor parte de la sociedad acerca de dicha gestión obedece, en gran parte, a ese bajo conocimiento científico que impide al ciudadano medio comprender cosas tan básicas como, por ejemplo, que los residuos, en general, son consustanciales a nuestras actividades vitales, mal que nos pese. Y aunque es obvio que se debe minimizar cualquier tipo de residuo, y reciclar cuantos materiales sean reciclables, hoy por hoy resulta inevitable que la industria genere, como también lo hace la vida doméstica, todo tipo de sobrantes sin utilidad alguna. Lo que exige que sean convenientemente tratados.

Con todo, la convivencia con la energía nuclear para usos civiles es consuetudinaria para los ciudadanos, sobre todo en los hospitales y en las proximidades de centrales nucleares españolas. Y el que sea percibida como algo natural, como un elemento más de la vida colectiva de los españoles en cuanto a su relación con la industria, sus ventajas y sus inconvenientes, sólo será posible mejorando la información pública al respecto, fomentando la participación ciudadana en cuantas decisiones impliquen a la colectividad y, hasta donde ello sea posible, objetivando el debate en torno a las soluciones que se deban arbitrar en cada momento por lo que a los residuos radiactivos respecta.

# GESTIÓN DE RESIDUOS RADIACTIVOS: SITUACIÓN, ANÁLISIS Y PERSPECTIVA

## Resumen ejecutivo



FUNDACION PARA ESTUDIOS SOBRE LA  
ENERGÍA