

Situación y perspectiva de la gestión del combustible gastado en España

A. López García

Entre septiembre 2006 y septiembre 2007, la Fundación para Estudios sobre Energía desarrolló el estudio "Gestión de Residuos Radiactivos. Situación, Análisis y Perspectiva". Este estudio se centra especialmente en la gestión del combustible gastado y los residuos de alta actividad.

Los principales aspectos considerados en el trabajo fueron:

- Descripción y estado del arte de las diferentes tecnologías aplicables.
- Análisis y comparación de las diferentes opciones de gestión del combustible gastado, incluyendo aspectos estratégicos y económicos.
- Situación, estrategias y previsiones en los principales países.
- Análisis de la situación y alternativas para la gestión del combustible gastado en España.

Si bien el informe tiene un marcado enfoque tecnológico y medioambiental, también fueron consideradas otras variables relacionadas con la gestión de estos materiales, como son las estratégicas, las económicas, institucionales y las de aceptación social.

Respondiendo a la amable invitación formulada por la revista de la SNE, el artículo que se presenta a continuación es un resumen de uno de los capítulos de ese trabajo, en concreto del dedicado a la situación de la gestión del combustible gastado y residuos radiactivos de alta actividad en España.



ALBERTO LÓPEZ GARCÍA

es ingeniero industrial por la ETSII de Madrid. Parte de su carrera profesional la ha dedicado a la energía nuclear, tanto en sus aspectos tecnológicos como de gestión, habiendo desarrollado responsabilidades como subdirector general de Energía Nuclear del Ministerio de Industria y Energía y como director general de la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA).

Between september 2006 and september 2007, the Foundation for Energy Studies carried-out the study "Radioactive Waste Management: Situation, Analysis and Perspectives". This study focuses specially on spent fuel and high level radioactive waste management.

The different aspects covered in this study are as follows:

- *Description of the different applicable technologies.*
- *Analysis and comparison of the different options of spent fuel management, including the strategic and economic aspects.*
- *Situation, strategies and forecasts in the main countries.*
- *Analysis of the situation and alternatives for the spent fuel management in Spain.*

Although the report focuses principally on the technological and environmental aspects, other issues related with the management of these materials were considered, such as the strategic, economic and institutional aspects as well as the social acceptance.

In answer to the request of the SNE publication, the article enclosed is a summary of one of the chapters of this study, and more particularly the one dedicated to the situation of spent fuel and high level radioactive waste management in Spain.

INTRODUCCIÓN. 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 (CG) 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 las personas 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 Residuos de Alta Actividad (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 los Residuos de Media Actividad (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.

GESTIÓN DEL COMBUSTIBLE GASTADO Y DE LOS RAA EN ESPAÑA

Situación actual

La situación de la gestión de CG 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 de CG y residuos de alta actividad y larga vida a gestionar, una vez encapsulados, se estima en unos 13.000 m³, de los cuales unos 10.000 m³ (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. Esta proporción se mantendría prácticamente igual en caso de que la vida de nuestras centrales se alargara hasta los 60 años, considerando que la tendencia actual en términos generales en Europa no parece ser la disminución de la potencia nuclear instalada en ese periodo.
- 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 Vandellós 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 con una cierta urgencia.

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

El PGRR vigente, aprobado por el Consejo de Ministros en junio de 2006, 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 resoluciones parlamentarias habidas reconociendo la conveniencia de esta instalación y la Comisión Interministerial creada al efecto son instrumentos muy valiosos favorables para el cumplimiento de lo establecido en el Plan.

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 Almacenamiento Geológico Profundo (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.

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



Desmantelamiento de la central nuclear Vandellòs I.

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 mera 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, te-

niendo 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.

En especial si se tiene en cuenta que el encapsulado del CG o de los RAA previo a su depósito en el AGP puede garantizar la estanqueidad de la barrera mecánica en el mismo entre varios miles y varias decenas de miles de años en función de los materiales de las cápsulas y que adicionalmente la exigencia

del criterio de recuperabilidad en el diseño del AGP dotará de una gran flexibilidad a la gestión de estos materiales.

Todo ello hace que el AGP sea 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.

Los programas nacionales que más han avanzado en los últimos años, Suecia, Finlandia o Francia, 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. La experiencia de estos países 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 PGR 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.

¿ATC o AGP 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 redonda 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.

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. El Plan General de Residuos vigente 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.

En caso de extensión de la vida de las centrales nucleares españolas más allá de 40 años, el sistema de financiación establecido seguiría siendo igualmente idóneo si bien con dos factores favorables adicionales como son un mayor plazo para ir ajustando las estimaciones de costes a la realidad y una potencial reducción de los costes unitarios de gestión derivados de la economía de escala y costes marginales asociados a las cantidades adicionales de combustible gastado que serían producidas.

El coste estimado de la segunda parte del ciclo cerrado (almacenamiento temporal, encapsulado y almacenamiento final en el AGP) es sólo del or-

den del 5% del coste unitario total de la producción de electricidad en una central con reactor térmico y uranio ligeramente enriquecido, esto es entre 0,15 y 0,2 c€/KWh.

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.

CONCLUSIÓN

La situación actual de la gestión de combustible gastado en España permite ser optimistas en cuanto a sus perspectivas de futuro. Las cantidades y tipologías de los materiales a gestionar, la capacidad tecnológica y de evaluación de seguridad disponibles, la capacidad financiera, el ordenamiento institucional en este campo e incluso las características de nuestra geología soportan la afirmación anterior.

No obstante quedan actuaciones importantes pendientes como son el incremento de la capacidad de almacenamiento temporal en el corto plazo, el establecimiento de programas tecnológicos, de evaluación de seguridad y de concertación social en el caso del AGP para desarrollar las premisas establecidas en el PGR al respecto y la participación en programas de desarrollo tecnológico en el campo de la cooperación internacional, en especial en el marco de I+D la UE, para aquellos procesos relacionados con los ciclos abiertos para la gestión del CG al objeto de ir alcanzando los conocimientos e información necesarios para soportar las decisiones que sobre estos temas será necesario ir tomando en el futuro. ■