

# Gestión del combustible gastado proveniente de reactores de potencia y de investigación: Situación y tendencias internacionales

*Se amplían las instalaciones de almacenamiento en vista de que la mayoría de los países están aplazando sus decisiones sobre las opciones de evacuación final y de reelaboración*

por F. Takáts,  
A. Grigoriev e  
I.G. Ritchie

La gestión del combustible gastado siempre ha sido una de las etapas más importantes del ciclo del combustible nuclear, y figura entre los problemas más vitales que comparten todos los países que poseen reactores nucleares.

Este proceso comienza con la descarga del combustible gastado procedente de un reactor de potencia o de un reactor de investigación y culmina con su evacuación final, ya sea de manera directa o mediante su reelaboración. En la actualidad existen dos opciones: un ciclo abierto e irreversible con evacuación directa del combustible gastado, y un ciclo cerrado basado en la reelaboración del combustible gastado y el reciclado del plutonio y el uranio en nuevos combustibles de mezcla de óxidos.

En la evacuación directa se coloca el combustible gastado en un emplazamiento y en condiciones que no permiten su recuperación. En la reelaboración se separa el plutonio y el uranio fisionables del material de desechos para su reutilización en combustibles nuevos. La selección de una estrategia en relación con el combustible gastado es un procedimiento complejo en que hay que sopesar muchos factores como son las cuestiones políticas, económicas y de salvaguarda, así como las relativas a la protección del medio ambiente. A causa del bajo precio actual del uranio, el uranio y el plutonio reciclados cuestan más que el uranio recién extraído.

Las demoras que se han producido en la aplicación de la opción de reelaboración del combustible en algunos países, el abandono completo de esa opción en otros, y las dilaciones en cuanto a la asignación de un lugar para la evacuación final del combustible gastado en casi todos, han extendido cada vez más los períodos de almacenamiento provisional del combustible gastado. Este enfoque de "esperar a ver qué sucede" permite contar con más tiempo y libertad para analizar las opciones disponibles y seleccionar la tecnología más conveniente. Por consiguiente, el problema de la gestión del combustible gastado ha adquirido mayor importancia para muchos países.

Las políticas que en materia de gestión del combustible gastado aplican actualmente los diferentes países pueden dividirse en tres grandes categorías:

- Un ciclo abierto centrado en el almacenamiento provisional seguido de la evacuación del combustible gastado;
- La opción de reelaboración para plantas en explotación o en construcción, o en casos en que se han concertado contratos para la reelaboración en el extranjero, y/o en que una parte del combustible o su totalidad regresa al país de origen.
- La opción de "esperar a ver qué sucede", en los casos en que aún se estén evaluando los programas de gestión del combustible gastado.

## Combustible gastado almacenado

**Centrales nucleares.** En 1992 el combustible gastado procedente de todos los tipos de reactores de las centrales nucleares ascendía a unas 10 000 toneladas de metal pesado (tMP), lo que da un total acumulativo estimado de más de 135 000 tMP, del cual en la actualidad se almacenan unas 90 000 tMP de combustible gastado.

La cantidad de combustible gastado acumulado supera 20 veces la capacidad anual total de reelaboración. Para el año 2000 se prevé que la cantidad anual de combustible gastado en todo el mundo sobrepase las 11 000 tMP, lo que constituye un incremento en comparación con las 10 000 tMP generadas en 1992.

Se prevé que para el año 2000 la cantidad de combustible gastado acumulado llegue a 225 000 tMP. (Véase el gráfico.) Suponiendo que parte de ese total sea reelaborado, se calcula que la cantidad almacenada ascienda a unas 150 000 tMP. Como no es probable que los primeros repositorios definitivos para la evacuación de combustible gastado en gran escala estén en funcionamiento antes del año 2010, la opción primordial para los próximos 20 años será el almacenamiento "provisional".

**Reactores de investigación.** En cuanto a los reactores de investigación, el OIEA no dispone en estos momentos de una amplia base de datos sobre la cantidad de combustible gastado que está almacenado actualmente. Para enmendar esa situación, recientemente se envió un cuestionario a los explotadores de reactores de investigación y de ensayo, y se están evaluando las respuestas recibidas hasta la fecha. Los Estados Unidos han exportado más de 25 000 kilogramos de uranio muy enriquecido (UME). De esa cantidad, actualmente unos

Los Sres. Takáts, Grigoriev y Ritchie son funcionarios de la División del Ciclo de Combustible Nuclear y Gestión de Desechos del OIEA.



17 500 kg se utilizan o permanecen almacenados como combustible gastado en 51 países. La mayor parte del UME exportado fue enviado a los 12 países de la Euratom (85%), y el resto a otros 39 países.

Los problemas que ocasiona la gestión del combustible gastado han puesto en crisis a muchos explotadores de reactores de investigación. Este es particularmente el caso de varios países de Europa occidental, donde las prórrogas de las licencias de explotación dependen del éxito que se alcance en la solución de los problemas relacionados con el combustible gastado. La crisis se ha precipitado debido a que los países en que originalmente se enriquecían los combustibles de los reactores de investigación (principalmente los Estados Unidos y Rusia) han dejado de aceptarlos nuevamente. También la crisis se ha exacerbado en razón del Programa de Enriquecimiento Reducido para Reactores de Investigación y de Ensayo que ha dejado muchas piscinas de los reactores de investigación llenas de UME y un enorme volumen de combustible poco enriquecido. Aunque existen signos alentadores de que tanto los Estados Unidos como Rusia reanudarán su práctica de recibir nuevamente el combustible de los reactores de investigación, una demora prolongada en la aplicación de esas políticas podría dar lugar a la clausura de importantes instalaciones de investigación.

**Instalaciones de almacenamiento de combustible gastado.** El almacenamiento de combustible gastado abarca todas las actividades relacionadas con el almacenamiento de combustible hasta que se reelabora o se envía para su evacuación definitiva. Las instalaciones de almacenamiento de combustible gastado pueden estar situadas en el reactor (ER) o fuera de los límites de la central nuclear, en un emplazamiento "fuera del reactor" (FDR), que posiblemente preste servicio a varios reactores como instalación centralizada. Las instalaciones de almacenamiento de combustible gastado también pueden clasificarse como "húmedas" o "secas" de acuerdo con el medio de almacenamiento. En las instalaciones "húmedas" el combustible gastado se almacena en piscinas. El combustible gastado puede mantenerse en bastidores dentro de la piscina, y/o contenerse en recipientes sumergidos. Las instalaciones "secas" almacenan el combustible gastado en un medio gaseoso, como un gas inerte o aire. En el almacenamiento en seco el combustible gastado se coloca en cofres o cámaras. El cofre es un contenedor sólido que puede estar diseñado o no para su fácil transporte. Las cámaras consisten en construcciones de hormigón reforzado situadas sobre la superficie o debajo de ella con una serie de cavidades de almacenamiento adecuadas para contener una o más unidades de combustible.

Los requisitos para el almacenamiento provisional del combustible gastado dependen de muchos aspectos relacionados con la opción de gestión seleccionada. En la opción cerrada del ciclo de combustible, se puede necesitar una capacidad de almacenamiento adicional para equiparar la cantidad de combustible gastado con la capacidad de la planta de reelaboración. En el ciclo abierto, es preciso mantener almacenado el combustible gastado hasta que se haya construido el repositorio definitivo y éste entre en servicio. En el caso de las decisiones aplaza-

das, de más está decir que la disponibilidad de un almacenamiento provisional adecuado constituye también un elemento clave.

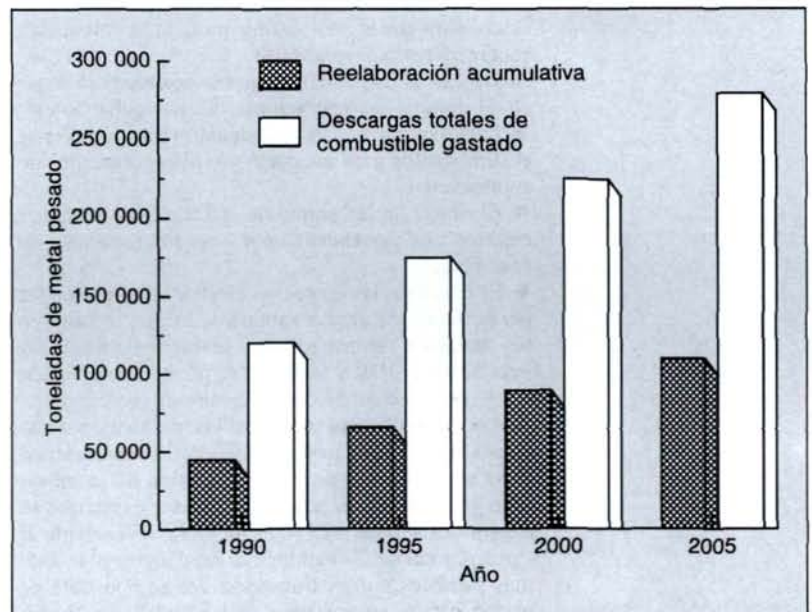
Diferentes tipos de instalaciones de almacenamiento en medio húmedo y en medio seco están funcionando o siendo estudiadas por los Estados. El Programa Coordinado de Investigaciones (PCI) del OIEA denominado BEFAST ha demostrado que el combustible gastado puede almacenarse en condiciones de seguridad durante largos períodos: algunos combustibles gastados se han almacenado ahora por más de 30 años. Casi todos los países que explotan centrales nucleares han aumentado su capacidad en los reactores mediante la instalación de nuevos bastidores que utilizan materiales que absorben neutrones entre los conjuntos, la consolidación de las barras de combustible o sencillamente una mejor distribución del combustible en las piscinas de almacenamiento.

Esas modificaciones han permitido al menos que se duplique la capacidad de almacenamiento. Un mayor aumento de la capacidad quizás imponga la necesidad de recurrir al denominado "crédito de quemado" en los cálculos de la criticidad de los combustibles irradiados.

En muchos casos, las modificaciones han sido insuficientes y ha habido que construir instalaciones de almacenamiento FDR por separado. Si bien la mayoría de las instalaciones de almacenamiento son del tipo húmedo (por ejemplo, en Francia, Gran Bretaña, Rusia y Suecia), muchos países con grandes cantidades de combustible gastado han escogido o escogen el almacenamiento FDR en medio seco (por ejemplo, Alemania, el Canadá, Escocia y los Estados Unidos, mientras que en Rusia se está desarrollando el almacenamiento en seco para el combustible de los RBMK). Este tipo de almacenamiento tiene muchas ventajas pues ofrece la posibilidad de un enfriamiento pasivo, necesita poco mantenimiento o ninguno y no crea un medio corrosivo.

En 1992 la capacidad de almacenamiento FDR en explotación era de 47 373 tMP: 44 833 tMP en medio húmedo y 2540 tMP en medio seco. (Véase el cuadro.) En estas cifras también se incluyen las

**Cantidades acumulativas previstas de combustible gastado procedentes de centrales nucleares**





	En explotación	En construction	Previstas	Paradas/ Paradas temporalmente
Alemania	2 150		700	1 500
Argentina	365			
Bélgica				370
Bulgaria	600			
Canadá	475	200	12 600	
Corea, República de			3 000	
China			500	
España			5 500	
Estados Unidos de América	900		15 000	
Finlandia	1 270			
Francia	15 000			
Hungría			600	
India	523			
Japón	140		3 000	
Reino Unido	10 350		1 200	
República Checa			600	
República Eslovaca	600			
Rusia	10 100	1 900	3 000	
Suecia	3 000	2 000	4 000	
Ucrania	1 900			
<b>Total</b>	<b>47 373</b>	<b>4 100</b>	<b>49 700</b>	<b>1 870</b>

Notas: Los valores se expresan en toneladas de metal pesado. Varios reactores de los Estados Unidos disponen de licencias para explotar instalaciones adicionales de almacenamiento en seco. Fuente: Datos notificados al OIEA.

### Capacidades de almacenamiento fuera del reactor existentes a finales de 1992

capacidades de almacenamiento en piscina de las instalaciones de reelaboración.

El desarrollo alcanzado en las tecnologías FDR no da motivos para prever un cambio de los principios básicos en el futuro cercano. Sin embargo, en los futuros diseños FDR pueden influir algunos factores, como son los siguientes:

- La repercusión de los conceptos de evacuación (una vez concluidos). Es posible que se ejerzan presiones para que el combustible gastado se coloque en contenedores que respondan a los requisitos de evacuación en la etapa más temprana posible para reducir al mínimo las operaciones de manipulación.

- La definición de nuevos requisitos para almacenar el combustible muy quemado y/o tipos avanzados de combustibles.

- El deseo de las empresas eléctricas de reclamar créditos de quemado por consideraciones de criticidad.

- El deseo de las empresas eléctricas de prolongar los períodos de almacenamiento, lo que influirá en los requisitos de inspección y mantenimiento de las instalaciones FDR y hará que se preste más atención a los mecanismos de degradación del combustible.

Los cambios operados en las políticas y relaciones comerciales de los países de Europa oriental están afectando sus políticas de gestión del combustible gastado. En la actualidad, Rusia exige que se paguen sus servicios en moneda fuerte con arreglo al "precio mundial". También existen algunos problemas jurídicos con el transporte del combustible de origen ruso y su posterior reelaboración en Rusia.

Tales factores pueden propiciar cambios en la política de gestión del combustible gastado en esos países.

La construcción de una instalación de almacenamiento provisional puede ser una solución temporal si se mantienen abiertas las opciones de reelaboración o de evacuación directa. Por ejemplo, en 1992 Hungría decidió construir una instalación de almacenamiento FDR en su central de Paks. Un grupo de expertos independientes, convocado por el OIEA, ayudó al personal de la central de Paks a estudiar las diversas tecnologías. Por último, el explotador seleccionó una instalación del tipo de cámara en seco, que deberá estar lista en la primavera de 1995. Los expertos de la República Checa decidieron construir una instalación de almacenamiento del tipo de cofres en seco en el emplazamiento de Dukovany. Otros explotadores de reactores de agua a presión de diseño soviético (WWER) también están analizando las opciones de que disponen con miras a aumentar el tiempo de almacenamiento del combustible gastado. (Véase el cuadro referente al inventario de combustible gastado en los países de Europa oriental.)

### Necesidades mundiales y servicios del OIEA

En el plan a medio plazo del OIEA, resumido en 1991, se reconoce que la gestión del combustible gastado es una actividad de alta prioridad. Para mejorar el comportamiento satisfactorio de las instalaciones de almacenamiento existentes y, en especial, para brindar asesoramiento a los países que se proponen en estos momentos construir nuevas instalaciones de almacenamiento de combustible, el OIEA ha aplicado los programas siguientes:

- Elaboración de un conjunto de documentos de seguridad equivalentes a directrices internacionales sobre la seguridad del almacenamiento del combustible gastado.

- Programas de asesoramiento sobre todos los aspectos relacionados con la gestión del combustible gastado.

*Documentos de la Colección Seguridad sobre almacenamiento de combustible gastado.* Actualmente se están preparando tres documentos relativos al almacenamiento en condiciones de seguridad de combustible gastado procedente de los reactores de potencia. El primero es una guía de seguridad sobre el diseño de instalaciones de almacenamiento de combustible gastado; el segundo, una guía de seguridad sobre el funcionamiento de esas instalaciones; y el tercero, un documento de prácticas de seguridad relativo a la preparación de informes de análisis de la seguridad para el almacenamiento de combustible gastado.

Estos documentos se preparan en una serie de reuniones en las que participan expertos de renombre mundial en esa esfera. Estos documentos sólo se publican después de haber sido revisados varias veces por el Comité de Examen de la Colección Seguridad del Organismo. Según el plan actual, los documentos estarán listos para su publicación antes de 1994, y se espera que sean de utilidad a los Estados Miembros a la hora de establecer sus normas nacionales. También han comenzado los preparativos para la redacción de una nueva guía de seguridad sobre diseño, explotación y concesión de licencias en



relación con las instalaciones de almacenamiento para el combustible gastado procedente de los reactores de investigación y ensayo.

**Programa de Asesoramiento para la Gestión del Combustible Irrradiado (IFMAP).** Como se mencionó anteriormente tanto en lo tocante a los reactores de investigación como a los comerciales, el combustible irradiado se está almacenando por más tiempo que el previsto originalmente y en cantidades mayores. Aun cuando en unos cuantos países industrializados se han elaborado métodos para aumentar la capacidad de almacenamiento existente o construir instalaciones de almacenamiento adicionales según las normas modernas, no siempre se tiene acceso a esa información fuera del país de origen.

La diversidad de tipos de combustibles de que se dispone, sobre todo para los reactores de investigación, permite aprovechar toda una serie de evaluaciones imparciales de los conceptos tecnológicos, la experiencia operacional, la seguridad y los aspectos de reglamentación de la gestión del combustible irradiado antes de adoptar decisiones importantes respecto de posibles soluciones a largo plazo. Esta información también es importante para los países que en los últimos 40 años han explotado en gran escala reactores de investigación.

Con miras a cumplir esos requisitos, el OIEA inició el Programa de Asesoramiento para la Gestión del Combustible Irradiado (IFMAP). El Programa brindará asesoramiento en la esfera específica del almacenamiento de combustible irradiado y en la elaboración de programas nacionales para los Estados Miembros, en especial los países en desarrollo, que soliciten estos servicios.

En 1990 un grupo de expertos visitó China para prestar asesoramiento respecto al almacenamiento del combustible gastado procedente de su central nuclear. Como ya se indicó, en 1992 un equipo del OIEA ayudó a seleccionar una opción de almacenamiento provisional de combustible gastado en Hungría. En este año también se celebraron conversaciones preliminares entre el OIEA y especialistas de Ucrania y Tailandia para colaborar en la formulación de programas de almacenamiento de combustible gastado en esos países.

**Actividades conexas.** Como se señaló con anterioridad, el OIEA está ejecutando un programa coordinado de investigación, conocido como BEFAST, que se centra en el comportamiento del combustible gastado y de los componentes de la instalación de almacenamiento durante el almacenamiento a largo plazo. Ya se han completado dos etapas del programa que se inició en 1981 y cuyos resultados han sido publicados por el OIEA.

La tercera etapa comenzó en 1992 y en ella se han concertado 15 acuerdos o contratos de investigación en que participan institutos de 12 países. La experiencia acumulada en esos países en cuanto al almacenamiento del combustible gastado se utilizará para ayudar a establecer una base de datos internacional en esta esfera, cuyos resultados se espera sean de utilidad a los Estados, en especial a los países en desarrollo, ya que constituirá un registro único sobre seguridad del almacenamiento a largo plazo del combustible gastado. Los datos serán especialmente valiosos para aquellos países que diseñan instala-

### **Inventario del combustible gastado almacenado proveniente de los reactores de potencia de países de Europa oriental**

	En el reactor (ER)	Fuera del reactor (FDR)	Total
Armenia	30		30
Bulgaria	320	120	440
Hungría	300		300
Lituania	800		800
República Checa	170	140	310
República Eslovaca	140	440*	580
Rusia	3900	4950	8850
Ucrania	830	1430	2260

\* Se incluyen 140 toneladas que se prevé transferir nuevamente a la República Checa.  
Nota: Los valores se expresan en toneladas de metal pesado. Fuente: Datos notificados al OIEA.

### **Métodos de gestión del combustible gastado en países seleccionados**

	Decisión aplazada	Evacuación directa	Reelaboración
Alemania		•	•
Argentina	•		•
Bélgica			•
Brasil			•
Bulgaria	•		•
Canadá		•	
Corea, República de	•		
China			•
Eslovenia	•		
España	•		•
Estados Unidos de América		•	
Finlandia	•	•	•
Francia			•
Hungría	•		•
India	•		•
Italia	•		•
Japón			•
Lituania	•		
México	•		
Países Bajos			•
Pakistán	•		
Reino Unido	•		•
República Checa	•		•
República Eslovaca	•		•
Rusia			•
Sudáfrica	•		
Suecia		•	
Suiza			•
Ucrania	•		•

Nota: Algunos países tienen diversos métodos de gestión del combustible gastado para diferentes tipos de combustibles. En ciertos países se está utilizando en estos momentos un solo método de gestión del combustible gastado pero se están estudiando opciones futuras basadas en métodos diferentes. Fuente: Datos notificados al OIEA.



ciones de almacenamiento provisional o les otorgan licencias.

Asimismo, el OIEA inició recientemente un PCI para estudiar la posible degradación de materiales utilizados en las instalaciones de almacenamiento de combustible gastado. El asunto es importante debido al creciente período de duración de la vida de las instalaciones provisionales de almacenamiento. Poco

se conoce acerca de las características de envejecimiento a largo plazo de muchos de los materiales de construcción, sobre todo cuando los procesos de degradación son inducidos o agravados por la irradiación.

Para ayudar a los especialistas de los países en desarrollo a consolidar las operaciones en sus instalaciones de almacenamiento, el OIEA está organizando además cursos de capacitación a nivel regional e interregional. En 1993 se están ofreciendo cursos de dos o tres semanas de duración y se han planificado otros para los años venideros. Se organizarán cursos especializados por separado para los explotadores de centrales nucleares y de reactores de investigación.

### Tendencias futuras

Para el próximo decenio se prevé que el almacenamiento a largo plazo de combustible gastado será la opción más común que elijan los explotadores de centrales nucleares en el mundo. Hasta ahora no existen serios problemas de seguridad. Sin embargo, la experiencia se ha limitado a menos de 40 años, mientras que el tiempo de almacenamiento requerido podría prolongarse el doble o más.

Es probable que algunas esferas reclamen mayor atención, entre ellas los asuntos relacionados con el almacenamiento en condiciones de seguridad de combustible de alto grado de quemado; el almacenamiento de combustible dañado o deficiente; los efectos económicos del almacenamiento a largo plazo; el uso de tecnologías de almacenamiento nuevas y diferentes y la mejor explotación de las tecnologías existentes. En esas y otras esferas, el OIEA continúa dispuesto a ayudar a los países a afrontar los problemas y solucionarlos.



Vista aérea de una instalación de almacenamiento de combustible gastado en recipientes de hormigón en el Canadá. (Cortesía: AECL).



Piscina de almacenamiento de combustible gastado de la Planta Térmica de Reelaboración de Oxido de Sellafield, en el Reino Unido. (Cortesía: BNFL).