

# LA GESTIÓN DEL COMBUSTIBLE GASTADO DE LAS CENTRALES NUCLEARES



• Documento elaborado por Foro Nuclear •

## ¿QUÉ ES EL COMBUSTIBLE GASTADO?

El combustible nuclear tiene en el reactor una utilización de unos tres a cuatro años. El elemento combustible se considera gastado cuando el crecimiento de los productos de fisión (absorbentes de neutrones) y el decrecimiento del U-235 que se va consumiendo hacen que el elemento ya no colabore en el mantenimiento de la cadena de fisiones. Entonces se retira el elemento del reactor y se sustituye por uno nuevo.

El combustible gastado o irradiado, como resultado de la desintegración de los nucleidos presentes en él, produce calor y radiaciones, de las cuales deben ser protegidos los trabajadores y el público a corto y largo plazo. Los factores más importantes a considerar son:

- El calor, que disminuye rápidamente a medida que se desintegran los radionucleidos que lo producen. Sólo después de un enfriamiento adecuado deben transportarse o tratarse estos elementos.
- Las radiaciones gamma (rayos X de alta energía), producidos principalmente por los radionucleidos de vida corta (con períodos de semidesintegración inferiores a 30 años, lo que significa su desaparición práctica en unos decenios). La exposición a la radiación gamma es peligrosa para la salud por la

interacción de la radiación con los tejidos y órganos vivos. La protección se logra mediante blindajes adecuados (agua, plomo, acero, hormigón).

- La emisión de radiaciones alfa por los radionucleidos de vida larga, con períodos de semidesintegración de hasta miles de años. La radiación alfa se detiene con facilidad, incluso por una hoja de papel. Sólo es peligrosa por ingestión, inhalación o a través de heridas en la piel. Entonces la fracción que permanece en el cuerpo puede dañar los tejidos circundantes durante años, dando lugar a células cancerosas. La protección se logra mediante el confinamiento a largo plazo de la sustancia emisora.

En resumen, debe haber una etapa corta de enfriamiento para reducir la carga calorífica, una etapa más larga de blindaje para protección contra las radiaciones gamma, y una etapa muy larga de confinamiento hermético (sin necesidad de blindaje) para impedir que los emisores alfa lleguen por cualquier camino a la biosfera, donde puedan ser incorporados a los seres vivos. La tecnología dispone ya de las soluciones adecuadas para cada etapa, y están en desarrollo nuevas y más avanzadas alternativas para la gestión de estos residuos.

## ALMACENAMIENTO INICIAL

El combustible irradiado, cuando se retira definitivamente del reactor, se traslada siempre bajo agua a una piscina donde se coloca en un bastidor situado en su fondo, que lleva un enrejado metálico que asegura su inmovilidad. El agua refrigera los elementos combustibles y sirve de blindaje eficaz contra las radiaciones. La piscina se considera saturada cuando se ocupan todas las posiciones, excepto las precisas para alojar el núcleo entero del reactor si fuera necesario vaciarlo. Las piscinas españolas de combustible, que están en las propias centrales nucleares, tienen ya bastidores compactos con capacidad de almacenamiento entre 2013 y 2022, con la excepción de Trillo, que tuvo que suplementar

su capacidad con un almacenamiento en seco. En las piscinas, el combustible permanece un mínimo de cinco años, durante los cuales se enfría y pierde parte de su radiactividad, permitiendo su traslado posterior.

ACTUALMENTE EXISTEN SOLUCIONES  
TÉCNICAS PARA GESTIONAR  
ADECUADAMENTE  
EL COMBUSTIBLE NUCLEAR

## DESTINO DEL COMBUSTIBLE GASTADO

Una vez que el combustible gastado se ha enfriado en las piscinas se introduce en contenedores para cualquiera de estas opciones:

- Traslado a repositorios (almacenes definitivos) para su disposición final.
- Traslado a instalaciones de reproceso.
- Almacenamiento temporal en seco en la central, cuando no haya sitio en las piscinas.
- Almacenamiento temporal centralizado, en donde se espera hasta la disposición final.

La primera opción es necesaria, antes o después, para el combustible gastado o para los residuos de período largo. Conviene insistir en que ya existe la tecnología para trasladar los residuos de vida larga a repositorios, una vez que su carga calorífica ha disminuido y se dispongan, con las barreras tecnológicas adecuadas, en formaciones geológicas profundas. Esta solución, aunque posible técnicamente, no se ha implantado de manera generalizada por varios motivos que aconsejan un período de espera:

- La construcción de los repositorios definitivos requiere largos períodos para la selección de las formaciones geológicas adecuadas, estudios para respaldar las autorizaciones necesarias y la construcción de importantes infraestructuras. Por otra parte, no existe aún una percepción completa por la sociedad de la necesidad de estas instalaciones que permita su aceptación pública.

La investigación de formaciones geológicas profundas de arcillas, granitos, basaltos o rocas salinas, y los ensayos realizados para asegurar la ausencia de sismicidad, de corrientes de agua, etc., permiten diseñar la disposición de los residuos finales en cápsulas herméticas (primera barrera, tecnológica) rodeadas por una capa impermeable o absorbente, por ejemplo, de arcilla o bentonita (segunda barrera, tecnológica) y alojadas en la roca circundante (tercera barrera, geológica). Se calcula que este conjunto será impermeable ante improbables intrusiones de agua en el curso de los siglos que pudieran atacar al contenido de las cápsulas.

**MIENTRAS EL COMBUSTIBLE GASTADO PERMANECE EN LA CENTRAL NUCLEAR, SE ALMACENA EN LAS PISCINAS DISEÑADAS PARA ESTE FIN CON TODAS LAS GARANTÍAS DE SEGURIDAD**

- Mediante el reproceso del combustible gastado puede separarse el uranio residual y el plutonio, ambos con un gran potencial energético, eliminando la escasez de re-

ursos energéticos durante muchos decenios, incluso siglos. Los residuos de este proceso, con bajo contenido de emisores beta y alfa de período largo, pueden tratarse hasta producir barras vitrificadas, que se prestan a una disposición final mucho más fácil en repositorios. Varios países han elegido esta vía, incluidos Francia, India y Japón. En España se destinaron inicialmente al reproceso en el Reino Unido varias recargas de Zorita y Santa M<sup>a</sup> de Garoña, además de todo el combustible gastado de Vandellós-1, que se reprocesa en Francia. La mayor parte de estas operaciones implican la obligación contractual de devolución de los residuos vitrificados del reproceso al país de origen.

- Actualmente se encuentran en fase de desarrollo técnicas de separación de radionucleidos de período largo (actínidos menores como neptunio, americio y curio, y algunos productos de fisión) y su transmutación en otros de período más corto, utilizando reactores rápidos o conjuntos subcríticos acoplados a aceleradores de partículas de alta energía. Con esta técnica, la disposición final podría simplificarse mucho.

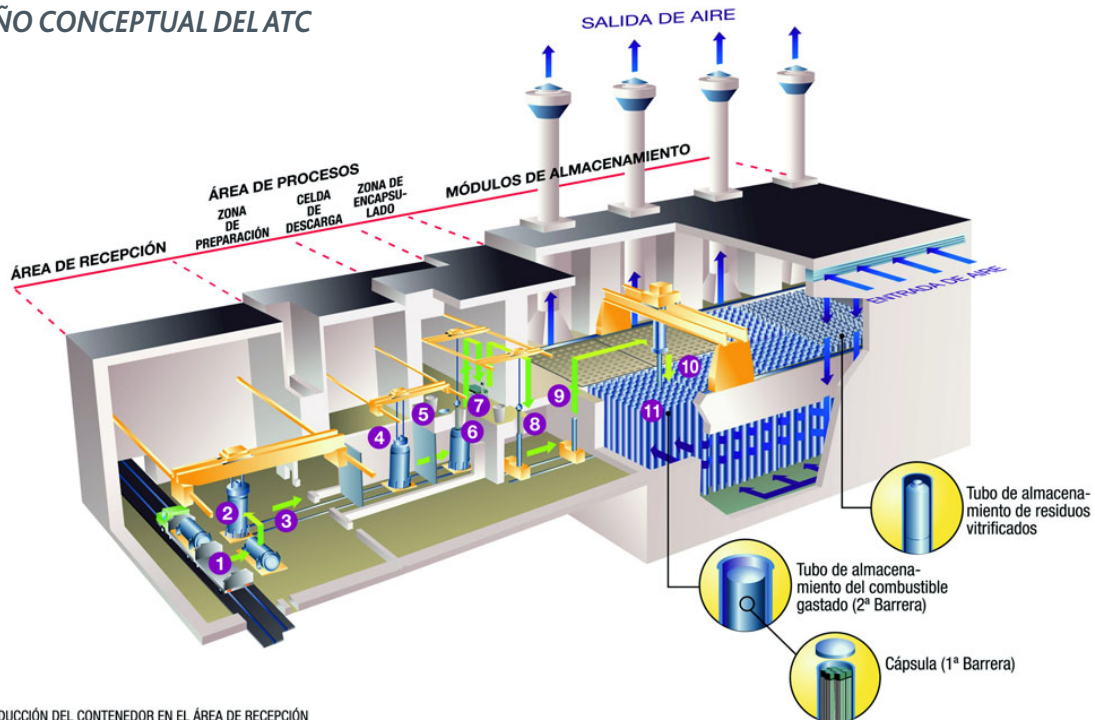
**EL COMBUSTIBLE GASTADO QUE SE GENERA A LO LARGO DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS CENTRALES NUCLEARES EQUIVALE, APROXIMADAMENTE, AL VOLUMEN DE 16 CAMPOS DE FÚTBOL**

## ALMACENAMIENTO TEMPORAL INDIVIDUALIZADO (ATI)

Cuando las piscinas se llenan, los elementos combustibles gastados pueden almacenarse en seco en las instalaciones de las centrales mediante técnicas diversas, todas ellas probadas y licenciadas, que siempre proporcionan la refrigeración natural, el blindaje contra las radiaciones y el confinamiento hermético. En España se utilizan en la central de Trillo contenedores de unas 100 toneladas que contienen 21 elementos gastados. Están contruidos en acero inoxidable, plomo y venenos neutrónicos en una configuración cilíndrica y están rellenos con un gas inerte y provistos de dos tapas herméticas. Se colocan verticalmente sobre una losa de hormigón en un edificio ventilado. En el caso de la central de Zorita, parada en abril de 2006, los elementos gastados se almacenarán utilizando una técnica distinta, que combina materiales metálicos con blindajes de hormigón.

Los almacenes individualizados en central pueden utilizarse durante decenios para después trasladar los contenedores a plantas de reproceso o a repositorios definitivos, si se han elegido estas opciones y cuando estén disponibles las instalaciones correspondientes.

## DISEÑO CONCEPTUAL DEL ATC



1 INTRODUCCIÓN DEL CONTENEDOR EN EL ÁREA DE RECEPCIÓN

2 VOLTEO DEL CONTENEDOR A LA POSICIÓN VERTICAL

3 CARRO DE TRANSFERENCIA

4 RETIRADA DE LA 1ª TAPA Y COMPROBACIÓN DEL INTERIOR DEL CONTENEDOR

5 RETIRADA DE LA TAPA DE LA CELDA Y DE LA 2ª TAPA DEL CONTENEDOR

6 DESCARGA DEL COMBUSTIBLE GASTADO

7 ZONA DE ALMACENAMIENTO EN TRÁNSITO DEL COMBUSTIBLE GASTADO

8 CÁPSULA DE ACERO INOXIDABLE

9 TRANSFERENCIA DE LA CÁPSULA AL CONTENEDOR DE MANEJO

10 TRANSFERENCIA A LOS TUBOS DE ALMACENAMIENTO

11 TUBOS DE ALMACENAMIENTO

Fuente: ENRESA

## ALMACENAMIENTO TEMPORAL CENTRALIZADO (ATC)

La solución de los almacenes temporales individualizados no es la mejor a plazo medio, por el coste de instalaciones y equipos de mantenimiento y vigilancia en cada central. La solución óptima es la construcción de un Almacén Temporal Centralizado (ATC). Con ello, se optimizan las operaciones de vigilancia y seguridad. Estos almacenes se diseñan para varios decenios. Países como Alemania, Francia, Holanda, India y Japón han elegido esta solución, que no requiere para su emplazamiento características especialmente particulares.

En junio de 2006, el Gobierno español aprobó la construcción de un ATC en un emplazamiento a determinar, siempre con la aprobación de la población vecina. El ATC español está diseñado para albergar durante un período de 60 años unas 6.700 toneladas de elementos combustibles consumidos por las centrales nucleares españolas durante toda su vida de operación, así como los residuos vitrificados procedentes del reproceso, especialmente de Vandellós-1, que deben ser aceptados y gestionados a partir de 2010. El ATC tendrá características modulares y podrá ampliarse en caso de alargamiento de la operación de las centrales o de construcción de otras nuevas.

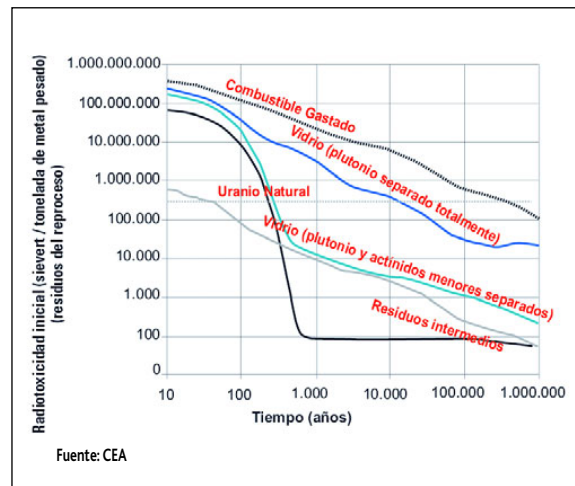
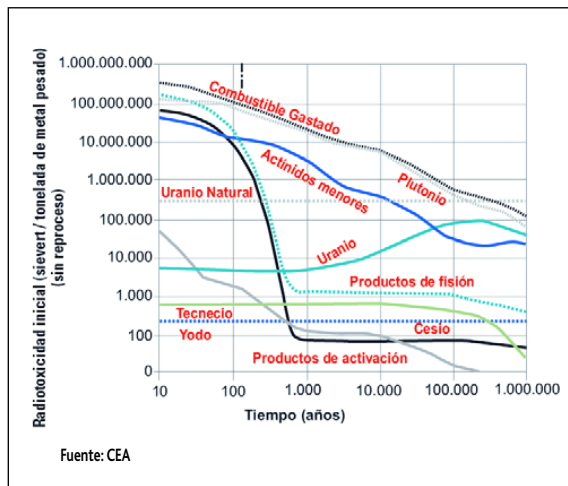
Con el fin de reutilizar los residuos y disminuir su volumen, está previsto instalar en el mismo emplazamiento un centro tecnológico sobre técnicas de gestión avanzada de los combustibles gastados, la separación y transmutación de los residuos de período largo y la utilización óptima de los materiales energéticos recuperados en el reproceso.

La solución elegida para el ATC, gestionado por la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA), es la llamada de cámaras o bóvedas de almacenamiento, consistentes en recintos de hormigón armado de gran espesor dotados de tubos metálicos verticales de almacenamiento en dos zonas distintas para combustibles encapsulados en acero inoxidable y para los residuos vitrificados procedentes del reproceso. En la parte superior de la cámara se extenderá el área de manipulación, con la cubierta correspondiente. La disposición de las cámaras asegura las funciones básicas del almacenamiento: subcriticidad, evacuación del calor de desintegración, blindaje contra la radiación y confinamiento del material radiactivo. El módulo de almacenamiento, compuesto por dos cámaras, más los edificios de recepción de contenedores, procesos mecánicos, encapsulado y servicios y sistemas auxiliares, forman una instalación integral de casi 300 metros de largo y 80 de ancho, con una altura de 26 metros. La refrigeración de las cámaras es por circulación natural de aire, con entradas y salidas independientes. El conjunto estará vallado, vigilado y controlado.

EN ESPAÑA SE HA OPTADO POR LA CONSTRUCCIÓN DE UN ALMACÉN TEMPORAL CENTRALIZADO COMO MEJOR SOLUCIÓN A LA GESTIÓN DEL COMBUSTIBLE GASTADO

## RADIOTOXICIDAD DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS DE PERÍODO LARGO. ANÁLOGOS NATURALES

A muy largo plazo, los residuos radiactivos de período largo son principalmente emisores alfa que necesitan ser confinados para que no lleguen por ninguna vía a la biosfera, donde puedan ser ingeridos, inhalados o incorporados de otra forma a los seres vivos. Así como para períodos más cortos (hasta unos pocos cientos de años) puede asegurarse que las soluciones técnicas son suficientemente seguras y no plantearán problemas a las generaciones futuras.



En las figuras adjuntas puede verse, a fin de proporcionar la adecuada perspectiva, la predicción de la radiotoxicidad de los residuos radiactivos de período largo, en las distintas alternativas señaladas.

En la primera figura se observa la radiotoxicidad de los combustibles gastados si se disponen directamente en un repositorio. Desde algo más de 300 millones de sievert por tonelada a los diez años de sacarlos del reactor la radiotoxicidad tarda unos 300.000 años en decaer hasta la del uranio natural, que es de unos 300.000 Sv/t.

En la segunda figura se aprecia que la radiotoxicidad de los vidrios provenientes del reproceso (habiendo separado el plutonio y el uranio) tardan sólo unos 15.000 años en llegar al nivel del uranio natural. Si además se separan los actínidos menores, bastaría con unos 300 años.

La adecuación de los modelos de cálculo con las distintas formaciones geológicas y soluciones tecnológicas cobra una credibilidad muy acusada observando los llamados análogos naturales, situación de materiales en la naturaleza simi-

lar a la que se predice mediante cálculos que se producirá a muy largo plazo en una instalación como un repositorio radiactivo. El análogo natural más característico es el llamado reactor natural de Oklo, en Gabón. Se trata de una localización profunda donde existe mineral de uranio muy concentrado. Hace unos 2.000 millones de años el uranio natural contenía un 3% de U-235. La combinación de este uranio y agua que llegó al yacimiento causó reacciones en cadena que duraron quizás centenares de miles de años, lo que está demostrado por muestras de uranio que tienen hoy un contenido de U-235 ligeramente inferior al 0,712% del uranio natural en la Tierra y en todo el sistema solar. Además la composición isotópica de elementos intermedios está alterada, revelando la contribución de productos de fisión y sus descendientes. Pues bien, el rastro del plutonio y de los otros productos del funcionamiento del "reactor", 2.000 millones de años después, sin barreras tecnológicas ni nada parecido, apenas se separa del lugar de los hechos. Las medidas actuales para disponer de los residuos, en el peor de los casos, sin reproceso, tienen que ser eficaces durante 300.000 años, y se cuenta con las barreras tecnológicas.

HAY ANÁLOGOS NATURALES, COMO EL REACTOR NATURAL DE OKLO, QUE PRUEBAN LA VIABILIDAD DEL ALMACENAMIENTO A MUY LARGO PLAZO DE ESTOS MATERIALES

Si tiene comentarios o necesita información adicional, estamos a su disposición:

FORO NUCLEAR: Boix y Morer, 6 - 28003 MADRID • Teléfono: 91 553 63 03 • Fax: 91 535 08 82 • e-mail: correo@foronuclear.org

[www.foronuclear.org](http://www.foronuclear.org)