

MONOGRAFÍA

Residuos radiactivos

Las actividades en las que se utilizan o producen materiales radiactivos con fines médicos, industriales o de investigación y las instalaciones relacionadas con el ciclo del combustible nuclear para la producción de energía, generan como consecuencia de su funcionamiento residuos radiactivos.

En España, el concepto de residuo radiactivo está definido en el artículo 2 de la Ley 25/1964, de 29 de abril, sobre energía nuclear (LEN) como sigue: "Residuo radiactivo es cualquier material o producto de desecho, para el cual no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado con radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por el Ministerio de Industria y Energía, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).

De acuerdo con lo establecido en el artículo 38 bis de la LEN, el Gobierno establecerá la política y el programa nacional sobre la gestión de los residuos radiactivos, incluido el combustible nuclear gastado, y el desmantelamiento y clausura de las instalaciones nucleares, mediante la aprobación del Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR).

Dicho plan debe recoger, de acuerdo con el Real Decreto 102/2014, de 21 de febrero, para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos, las estrategias, actuaciones necesarias y soluciones técnicas a desarrollar en España en el corto, medio y largo plazo, encaminadas a la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos, al desmantelamiento y clausura de instalaciones nucleares y al resto de actividades relacionadas con las anteriores, incluyendo las previsiones económicas y financieras y las medidas e instrumentos necesarios para llevarlas a cabo. A fecha actual se encuentra vigente el 6º PGRR aprobado en 2006.

La gestión de los residuos radiactivos en España, incluido el combustible gastado, se categoriza como un servicio público que se encomienda a la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A. (Enresa).

Durante el primer trimestre de cada año, Enresa debe remitir al CSN, a quien corresponde el control de la seguridad de la gestión del combustible nuclear gastado y de los residuos radiactivos y la realización de las evaluaciones e inspecciones de los planes, programas y proyectos necesarios para todas las fases de dicha gestión, la información sobre las actividades desarrolladas en el año anterior y las previsiones para el año en curso, en relación con lo establecido en el PGRR vigente en cada momento.

El CSN ejerce la vigilancia y control de los residuos radiactivos generados en cada una de las instalaciones nucleares y radiactivas, cubriendo las fases de generación, acondicionamiento, transporte y almacenamiento de los mismos y de las actividades realizadas por las empresas o entidades que participan en cada una de estas etapas. El objetivo de estos controles es garantizar que la gestión de los residuos radiactivos

es segura y no supone un riesgo radiológico inaceptable para las personas y para el medio ambiente, tanto en el momento presente como en el futuro.

Seguridad en la gestión de los residuos radiactivos

Considerando las recomendaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) sobre seguridad en la gestión de los residuos radiactivos, las directivas de la Unión Europea en la materia y el marco regulador español, pueden resumirse como principios de seguridad que deben orientar la gestión de los residuos radiactivos los siguientes principios:

- 1: Protección de la salud humana y protección del medio ambiente.
- 2: Protección más allá de las fronteras nacionales.
- 3: Protección de las generaciones futuras.
- 4: Necesidad de no imponer cargas indebidas a las generaciones futuras.
- 5: Necesidad de un marco legal nacional y de independencia de los órganos reguladores.
- 6: Control de la generación de residuos radiactivos: Minimización de su producción.
- 7: Necesidad de tener en cuenta las interdependencias entre todas las etapas de generación y de gestión de los residuos radiactivos.
- 8: Necesidad de garantizar la seguridad de las instalaciones de gestión durante toda su vida.

España ha ratificado la convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y de los residuos radiactivos, comprometiéndose internacionalmente de esta manera a requerir los más altos niveles de seguridad en la gestión de estos materiales, de acuerdo con las recomendaciones del OIEA.

Cada periodo de tres años, España elabora un informe nacional sobre este asunto y se somete a un examen de carácter internacional para que los demás países firmantes de la convención conjunta valoren la seguridad de nuestra gestión de los residuos radiactivos. El primero de dichos exámenes se realizó en 2003.

Generación de residuos radiactivos

Los residuos radiactivos se generan en España como resultado de los procesos que se llevan a cabo en los diversos tipos de instalaciones nucleares y radiactivas distribuidas por todo el territorio. Ocasionalmente, pueden generarse residuos radiactivos como consecuencia de incidentes en los que se encuentre involucrado algún material radiactivo.

El origen de los residuos radiactivos que se generan actualmente o que ya han sido generados en España es el siguiente:

- Operación de las centrales nucleares (ocho reactores, incluida la central nuclear de Santa María de Garoña que se encuentra actualmente en cese de explotación).
- Operación de la Fábrica de Elementos Combustibles de Juzbado (Salamanca).
- Operación de instalaciones radiactivas con fines industriales, médicos, agrícolas e investigación.

- Operación de la propia instalación de almacenamiento definitivo de residuos radiactivos de El Cabril.
- Reprocesado en Francia del combustible gastado procedente de la central nuclear de Vandellós I.
- Desmantelamiento y clausura de las centrales de Vandellós I y José Cabrera.
- Desmantelamiento y clausura de instalaciones en el Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).
- Estériles procedentes de la minería del uranio y de la fabricación de concentrados de uranio.
- Incidentes producidos ocasionalmente.

Estos residuos se clasifican en diversas categorías, según el tipo de gestión prevista o implantada actualmente en España. Según las estimaciones más recientes, el volumen total de residuos radiactivos acondicionados de muy baja, baja y media actividad susceptibles de ser almacenados de forma definitiva en el centro de almacenamiento de El Cabril es del orden de 180.000 m³.

Clasificación de residuos radiactivos

Desde el punto de vista de su gestión final, la clasificación de residuos radiactivos en España tal y como se refiere en los sucesivos informes nacionales sobre la Convención para la Seguridad de la Gestión del Combustible Gastado y de los Residuos Radiactivos (Convención Conjunta), consta de las siguientes categorías:

1. Residuos de muy baja actividad (vida corta y media).
2. Residuos de muy baja actividad (vida larga).
3. Residuos de baja y media actividad (vida corta y media).
4. Residuos de baja y media actividad (vida larga).
5. Residuos de alta actividad.

La clasificación tiene en cuenta la actividad inicial de los residuos y el periodo de semidesintegración de los radionucleidos que contienen mayoritariamente, que pueden ser de vida corta y media (menor de 30 años) o bien de vida larga, cuando su periodo de semidesintegración es superior a este valor.

La tabla siguiente (incluida en el 4º informe nacional de la Convención Conjunta) muestra la clasificación de los residuos radiactivos en España con sus vías de gestión ya operativas o previstas.

ACTIVIDAD INICIAL	PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN	
	Vida corta y media Principales elementos < 30 años	Vida larga Principales elementos > 30 años
Muy baja (RBBA)	Almacenamiento en superficie existente: CENTRO DE ALMACENAMIENTO "El Cabril"	Estabilización "in situ" en los emplazamientos mineros
Baja y Media (RBMA)	Almacenamiento en superficie existente: CENTRO DE ALMACENAMIENTO "El Cabril".	Previsto en Almacén Temporal Centralizado en superficie.
Alta (RAA)	Almacenamiento in situ, incluso con Almacenes Temporales Individuales (ATI). Previsto en Almacén Temporal Centralizado (ATC) en superficie.	

- Los denominados **residuos radiactivos de baja y media actividad (vida corta y media)** son aquellos cuya actividad se debe principalmente a la presencia de radionucleidos de periodo de semidesintegración corto o medio (inferior a 30 años), y cuyo contenido en radionucleidos de vida larga es muy bajo y se encuentra limitado.
- Los denominados **residuos radiactivos de muy baja actividad (vida corta y media)** podrían definirse como un subconjunto de los anteriores cuando solo alcanzan unas concentraciones de actividad del orden de 10 a 1000 Bq/g. En España se ha establecido desde 2008 una gestión final diferenciada mediante sistemas de almacenamiento final adecuados al riesgo radiológico que suponen.
- Los **residuos radiactivos de muy baja actividad de vida larga** generados en España, proceden de las actividades mineras y de fabricación de concentrados de uranio y contienen radionucleidos de las cadenas de desintegración del uranio (238) y torio (232), que tienen en general periodos de semidesintegración muy elevados. En España la gestión de este tipo de residuos radiactivos se lleva a cabo hasta la fecha mediante el apilamiento y la estabilización in situ en las propias instalaciones productoras.
- Los denominados **residuos radiactivos de alta actividad**, son los que contienen emisores alfa de vida larga, con período de semidesintegración superior a 30 años, en concentraciones apreciables y pueden generar calor por efecto de la desintegración radiactiva, ya que su actividad específica es elevada. El principal exponente de estos residuos es el combustible gastado descargado de los reactores nucleares. Adicionalmente, a efectos de gestión integral, se incluyen también en este conjunto aquellos otros residuos de Media Actividad que por sus características no son susceptibles de ser gestionados de forma final en las condiciones establecidas para "El Cabril" y requieren instalaciones específicas para ello. La solución temporal para todo este conjunto de residuos radiactivos consistirá en su almacenamiento en el Almacén Temporal Centralizado (ATC).

Los residuos radiactivos pueden también clasificarse siguiendo otros criterios: en función de su origen, por su estado físico (líquido, sólido o gaseoso), por sus propiedades (compactable/no compactable, incinerable/no incinerable, metálicos...).

Residuos de baja y media actividad

Los residuos radiactivos se clasifican en diferentes categorías teniendo en cuenta su niveles de radiactividad, el periodo radiactivo de los radionucleidos que mayoritariamente contengan y la gestión final prevista o ya implantada.

Atendiendo a la clasificación vigente, en España se denominan residuos radiactivos de baja y media actividad a aquellos cuyos principales radionucleidos tienen un periodo de semidesintegración inferior o igual a 30 años (vida corta o media). Su contenido de radiactividad se sitúa en general entre algunas decenas de Bq/g (bequerelios por gramo) y unos 1000000 Bq/g, y su contenido en radionucleidos de periodo de semidesintegración superior a 30 años es muy bajo y está limitado. Su radiactividad dentro de algunos cientos de años habrá decaído y podría ser comparable a los niveles de la radiactividad natural existente en la superficie de la tierra.

En España, estos residuos radiactivos de baja y media actividad (vida corta o media) se originan fundamentalmente en la operación y en el desmantelamiento de las centrales nucleares y otras instalaciones nucleares. También se generan pequeñas cantidades en las instalaciones médicas e industriales que utilizan materiales radiactivos.

Existe en España desde 2008 una gestión final diferenciada para los residuos de baja y media actividad (vida corta o media) cuando solo alcanzan unas concentraciones de actividad del orden de 10 a 1000 Bq/g. A estos residuos radiactivos se les ha denominado residuos radiactivos de muy baja actividad (vida corta o media), y su generación mayoritaria sucede durante el desmantelamiento de las instalaciones nucleares.

Se generan también en España residuos radiactivos de muy baja actividad de vida larga, como consecuencia de las actividades de minería y fabricación de concentrados del uranio necesarios para la fabricación del combustible nuclear. Los radionucleidos componentes de estos residuos pertenecen a las cadenas de desintegración del uranio (238) y torio (232) y tienen en general periodos de semidesintegración muy elevados. En España la gestión de este tipo de residuos radiactivos se lleva a cabo hasta la fecha mediante el apilamiento y la estabilización in situ en las propias instalaciones productoras.

Las cantidades de residuos radiactivos de estas categorías que se generan o que se han generado en España pueden consultarse en el 5º Informe Nacional sobre la Convención Conjunta de Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y los Residuos Radiactivos y en el 6º Plan General de Residuos Radiactivos, aprobado por el Gobierno de España en 2006.

Residuos de alta actividad

Los residuos de alta actividad son aquellos que contienen concentraciones apreciables de radionucleidos emisores alfa de vida larga y/o emisores beta-gamma con periodos de semidesintegración superiores a 30 años, que pueden generar calor por efecto de la desintegración radiactiva, dada su elevada actividad específica.

La Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa) tiene encomendada la gestión de los residuos radiactivos en España, que se realiza siguiendo las directrices del 6º Plan General de Residuos Radiactivos, documento aprobado por el Gobierno.

En las centrales nucleares, la gestión de los residuos radiactivos se realiza conforme al Plan de Gestión de los Residuos Radiactivos y del Combustible Gastado, documento oficial de la instalación cuyo contenido está establecido en una Guía de Seguridad del CSN sobre el contenido y criterios para la elaboración de los planes de gestión de residuos radiactivos de las instalaciones nucleares.

Conforme a lo indicado en la definición, los residuos de alta actividad contienen isótopos radiactivos con períodos de semidesintegración superiores a 30 años. Además, pueden emitir calor y estar activos durante miles o decenas de miles de años.

Este tipo de residuos están constituidos esencialmente por el combustible gastado generado durante la operación de las centrales nucleares, en forma de elementos combustibles. Además, en España existe una pequeña cantidad de materiales procedentes del reprocesado del combustible gastado de la central Vandellós I.

Durante la irradiación del combustible en el reactor, se generan en él isótopos radiactivos de alta actividad como el propio uranio, plutonio y actínidos minoritarios, y productos de fisión y activación. Las radiaciones emitidas por el combustible durante el tiempo de desintegración de estos isótopos requieren la implantación de una gestión acorde con los riesgos para el público, el medio ambiente y las generaciones futuras, en diferentes etapas:

- Almacenamiento inicial. El combustible gastado se almacena por unos pocos años para reducir la carga calorífica en las piscinas de combustible gastado de las centrales nucleares.
- Almacenamiento intermedio. Se almacena a medio o largo plazo (entre 20 y 60 años) en las piscinas de combustible gastado o en contenedores en seco, en los Almacenes Temporales Individualizados (ATI) del emplazamiento de las centrales que disponen del mismo. También puede almacenarse en un Almacén Temporal Centralizado (ATC), independientemente al emplazamiento de las centrales nucleares.
- Almacenamiento definitivo. Dado el largo periodo de actividad de estos residuos, el Almacenamiento Geológico Profundo (AGP) es la opción internacionalmente aceptada para la gestión final de los residuos radiactivos de alta actividad. En el concepto de diseño multibarrera es clave la barrera geológica.

Para reducir el volumen de estos residuos y reutilizar los materiales fisionables, en otros países se adoptan estrategias de ciclo cerrado, como el reprocesado del combustible gastado, que supone la separación del uranio y plutonio contenidos en el combustible para su reutilización en un nuevo proceso de fisión nuclear en las centrales nucleares. Los residuos de alta actividad generados son vitrificados para su almacenamiento. Actualmente se encuentra en desarrollo el denominado ciclo cerrado avanzado, que implica la transmutación de los actínidos minoritarios (de vida larga) y algunos productos de fisión, para disminuir su actividad y radiotoxicidad antes de su almacenamiento.

Tratamiento de residuos radiactivos

Se denomina tratamiento de los residuos radiactivos al conjunto de procesos físicos y químicos que llevan consigo el cambio de alguna característica del residuo generado inicialmente, con el objetivo de optimizar la seguridad y/o la economía de su gestión.

Los tres conceptos básicos de tratamiento son:

- Reducción del volumen de los residuos. (Evaporación, filtración, centrifugación, descontaminación).
- Eliminación de determinados radionucleidos. (Precipitación, desgasificación).
- Cambios de composición. (Solidificación / reacción de cementación).

Se denomina acondicionamiento de los residuos radiactivos al conjunto integral de operaciones que transforman el residuo radiactivo en un producto final aceptable para su transporte y/o almacenamiento temporal y/o almacenamiento definitivo.

Las instalaciones de tratamiento y acondicionamiento de residuos de baja y media actividad existentes en las centrales nucleares españolas están basadas en los procesos de cementación de los residuos sólidos húmedos (resinas, concentrados, lodos) y en la compactación para la reducción de volumen de sólidos compresibles secos (papel, textil, etc...). También se han instalado en algunas centrales nucleares plantas para la desecación de concentrados y lodos, que dan lugar a importantes reducciones del volumen de los residuos. Durante el proceso de licenciamiento de estos sistemas se requiere específicamente al titular la elaboración y aplicación del denominado Programa de Control de Procesos (PCP), de acuerdo con la guía de seguridad 9.1 del CSN.

En el caso de los residuos radiactivos de muy baja, baja y media actividad que se almacenan en el centro de El Cabril, los bultos de residuos deben cumplir con un conjunto de criterios de aceptación en la instalación, que constituyen uno de los documentos oficiales de explotación de la misma que debe ser apreciado favorablemente por el CSN.

Los criterios de aceptación de los residuos están diseñados para garantizar la seguridad de la instalación durante su operación y a largo plazo, constituyendo la

referencia a tener en cuenta por los productores de residuos en la definición de nuevos bultos y en lo referente a la calidad del confinamiento de la que deben dotar a los residuos durante el proceso de acondicionamiento. En los criterios de aceptación se definen los requisitos en cuanto a las propiedades que deben cumplir los bultos de residuos: resistencia mecánica, resistencia a la lixiviación, resistencia a los ciclos térmicos, contenido de radionucleidos de periodo de semidesintegración elevado, etc.

El CSN requirió a Enresa durante el proceso de licenciamiento del centro de El Cabril la elaboración de una metodología de aceptación de los bultos de residuos y de un conjunto de procedimientos técnicos y administrativos que desarrollaran su implantación práctica, tanto en la vertiente de la relación entre Enresa y los productores de residuos, como en la de las actividades que son de exclusiva responsabilidad de la empresa, en la aceptación de los diversos tipos de bultos.

Enresa estableció una metodología de aceptación para almacenamiento de residuos radiactivos de El Cabril, que implica la realización de un proceso de caracterización y aceptación, tras los pertinentes ensayos de los diversos tipos de bultos de los diferentes productores, con una vigilancia basada en inspecciones en la recepción, controles documentales y en campo sobre la producción de los residuos y la realización de ensayos de verificación programados sobre los bultos que se reciben. Este proceso de aceptación es objeto de inspección anualmente por el CSN.

Responsabilidades

La definición de la política de gestión de los residuos radiactivos corresponde a los gobiernos de las naciones, la responsabilidad inicial de la gestión corresponde a los productores de los residuos y a los operadores o empresas encargadas legalmente, mientras que el control de la seguridad de la gestión de los residuos recae en los organismos reguladores.

En España, la política y estrategia de la gestión de los residuos radiactivos se encuentra definida en los denominados Planes Generales de Residuos Radiactivos, aprobados periódicamente por el Gobierno, el último de ellos en julio de 2006. La Empresa Nacional de Residuos Radiactivos SA (Enresa), desde su creación en 1984, es la compañía encargada de la gestión de los residuos radiactivos. El conjunto de las estrategias para la gestión de los residuos radiactivos puede consultarse en su dirección de Internet.

El Consejo de Seguridad Nuclear, de acuerdo con las misiones asignadas por su Ley de Creación de 1980, modificada en 1999, está encargado de garantizar a la sociedad que la gestión de los residuos radiactivos se lleve a cabo de manera segura y que el riesgo radiológico asociado esté por debajo de límites aceptables. Para ello realiza el control y vigilancia de los residuos en las instalaciones en las que se generan, así como de las actividades que Enresa realiza para su gestión.

Residuos NORM

El Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes define las actividades y labores que implican la generación, el almacenamiento o la manipulación de residuos que contienen radionucleidos naturales, más conocidos como residuos NORM.

La Orden IET/1946/2013 regula la gestión de estos residuos y entiende por tales aquellos residuos para los que el titular de la actividad en la que se generan no prevé ningún uso y a los que debe proporcionar una gestión adecuada. Se excluyen del alcance de esta Orden los residuos NORM líquidos y gaseosos, que puedan evacuarse al medio ambiente mediante una autorización expresa.

En consonancia con la mencionada Orden, es necesario que los productores de este tipo de residuos, lleven a cabo determinadas actuaciones previas:

- La caracterización radiológica de los residuos para comprobar si su contenido radiactivo es o no inferior a los niveles de desclasificación que se recogen en el anexo a la Orden.
- Si el contenido radiactivo es inferior o igual a los niveles de desclasificación, los residuos podrán ser gestionados por las vías convencionales habituales, de acuerdo con la normativa legal que les sea de aplicación.

Los niveles de desclasificación para la gestión de los residuos NORM son los recomendados por la Unión Europea en su publicación “Application of the concepts of exemption and clearance to natural radiation sources” y fueron establecidos teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Dosis efectiva anual de 300 $\mu\text{Sv/año}$.
2. Considera todas las vías de exposición a la radiación (inhalación, ingestión, exposición externa).
3. Considera escenarios y parámetros envolventes.
4. Analiza todas las vías de exposición en cada uno de los escenarios seleccionando para cada radionucleido el más restrictivo y determinando la actividad específica que daría lugar a los 300 $\mu\text{Sv/año}$.

Cuando los residuos deban ser gestionados como residuos radiactivos, se indica que el titular de la instalación o actividad debe transferir estos residuos a Enresa, y establecer los acuerdos en los que se determinen las obligaciones de cada parte en cada etapa de la gestión de los mismos.

Adicionalmente, la Orden IET/1946/2013 requiere que la gestión de los residuos NORM se lleve a cabo con métodos y procedimientos para la caracterización, clasificación y gestión de estos residuos, en el marco de un sistema de control de calidad y con un sistema de registro y archivo que asegure la trazabilidad del proceso de gestión. Toda la documentación y registros asociados estarán a disposición de la inspección del CSN