

PRIMER EJERCICIO

GRUPO B. Física y tecnología nucleares

TEMA B-8: Residuos radiactivos. Tipos. Origen. Gestión

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. RESUMEN | 2 |
| 2. INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| 3. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS | 3 |
| Clasificación internacional de Residuos radiactivos, la Guía GSG 1 del OIEA:..... | 4 |
| Clasificación de residuos radiactivos en el séptimo plan general de residuos radiactivos de España | 6 |
| 4. ORIGEN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS..... | 7 |
| Residuos del ciclo de producción de energía eléctrica de origen nuclear | 7 |
| Residuos generados en la medicina, industria e investigación..... | 9 |
| Residuos generados en el desmantelamiento de las instalaciones nucleares y radiactivas | 10 |
| Residuos NORM (Natural Occurring Radioactive Material)..... | 11 |
| 5. PRINCIPIOS, ETAPAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS | 12 |
| Principios de la gestión de residuos radiactivos..... | 12 |
| Etapas de la gestión de residuos radiactivos..... | 13 |
| 6. GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS EN ESPAÑA. ALTERNATIVAS BÁSICAS PARA LA GESTIÓN SEGURA DE LOS RESIDUOS. | 15 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA. | 17 |

1. RESUMEN

Se generan residuos radiactivos en la producción de electricidad de origen nuclear, en el desmantelamiento de instalaciones nucleares y en el uso de materias radiactivas en las actividades médicas, en la agricultura, en la industria o en la investigación.

La Ley sobre Energía Nuclear, artículo 2, define residuo radiactivo como “cualquier material o producto de desecho, para el cual no esta 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”.

Estos residuos, que presentan elementos radiactivos se pueden clasificar atendiendo diferentes criterios, en función de su vida media, el tipo de radiación que emiten, su estado físico o con vistas a su gestión definitiva, en el caso del almacenamiento de los residuos sólidos.

En este tema, se analiza la definición, la clasificación y el origen de los residuos radiactivos en las diferentes actividades, así como aspectos relacionados con la situación actual de los residuos radiactivos y las vías de gestión de los residuos radiactivos implantadas en España.

Este tema se relaciona con los siguientes:

Primer ejercicio.

- B7. Tratamiento de combustibles irradiados, opciones. Sistemas reelaboración. Problemas asociados.

Tercer ejercicio:

- A-32 Gestión del combustible nuclear irradiado. Métodos de almacenamiento a corto, medio y largo plazo. Almacenamiento temporal y transporte de contenedores
- B14. Definición, clasificación y gestión de los residuos radiactivos sólidos. Gestión de los residuos radiactivos producidos en las instalaciones nucleares. Gestión de residuos radiactivos producidos en instalaciones radiactivas médicas, industriales y de investigación. Acondicionamiento y almacenamiento..
- B15. Criterios de exención y desclasificación de materiales y fuentes radiactivas. Definición y aplicación práctica.
- B16. Políticas y estrategias de gestión de residuos radiactivos en España. El Plan General de Residuos Radiactivos. Funciones y recursos de Enresa.
- B17. (2024) Seguridad y PR en las instalaciones de almacenamiento definitivo de RR

2. INTRODUCCIÓN

Se generan residuos radiactivos en muy distintos tipos de instalaciones, desde las relativas al ciclo de combustible nuclear, entre las que se encuentran las instalaciones para extracción y enriquecimiento de uranio, las fábricas de combustible, las plantas de producción de electricidad de origen nuclear, etc. a aquellas que utilizan sustancias radiactivas relacionadas con actividades médicas, la agricultura, la industria y la investigación o las que utilizan materias primas que contienen radionucleidos de origen natural. Esta diversidad de prácticas implica una gran variedad de residuos radiactivos, con una gran variedad de concentraciones de radionucleidos y diversos estados físicos y químicos. Estas diferencias se traducen en una serie igualmente amplia de opciones para su gestión.

La Ley de Energía Nuclear (LEN) de 1964 define Residuo Radiactivo como 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.

A lo largo de este tema se verán las distintas clasificaciones de los residuos, y el origen de los mismos, así como la vía de gestión más adecuada a cada tipología.

3. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS

A lo largo del tiempo se han desarrollado diversos sistemas de clasificación de residuos radiactivos en función de determinadas características que se consideraban de interés en función de las circunstancias en las que se gestionaban dichos residuos, como, por ejemplo:

Estado físico:

Los residuos se clasifican en sólidos, líquidos y gaseosos. Este criterio es importante por el distinto tratamiento o acondicionamiento que reciben los residuos radiactivos según sean sólidos, líquidos o gaseosos.

Tipo de radiación emitida:

Los radionucleidos contenidos en los residuos radiactivos pueden desintegrarse de diferentes formas, dando lugar a la emisión de diversas partículas o rayos. Desde este punto de vista, los residuos radiactivos se clasifican en emisores alfa, beta y gamma.

Período de semidesintegración

En función del período de semidesintegración de los radionucleidos contenidos en los residuos éstos se clasifican en:

- Residuos radiactivos de vida corta: aquellos contaminados básicamente con isótopos radiactivos cuyo período de semidesintegración es inferior a 30 años.
- Residuos radiactivos de vida larga: aquellos contaminados con isótopos radiactivos cuyo período de semidesintegración es superior a 30 años.

Concentración de actividad.

Los residuos radiactivos se pueden clasificar por la concentración de actividad por unidad de masa o volumen de material radiactivo (actividad específica). Típicamente se puede definir un umbral por encima del cual se considera al residuo como de alta actividad y recíprocamente, por debajo, como de baja.

Radiotoxicidad

Se pueden clasificar los residuos en función de la radiotoxicidad de los radionucleidos de los que están compuestos. Esta propiedad define la peligrosidad desde el punto de vista biológico.

Clasificación internacional de Residuos radiactivos, la Guía GSG 1 del OIEA:

Con el objetivo de establecer un sistema general para clasificar residuos radiactivos sólidos, el OIEA ha desarrollado la Guía GSG-1 en la que se propone un sistema de clasificación basado principalmente en los aspectos relativos a la seguridad a largo plazo de su gestión.

En su alcance se incluye todo el conjunto de residuos radiactivos: desde el combustible nuclear gastado, cuando se considera residuo radiactivo, hasta residuos con unos niveles de concentración de actividad tan bajos que no es necesario gestionarlos o regularlos como residuos radiactivos, e incluyendo tanto las fuentes selladas en desuso como los residuos que contienen radionucleidos de origen natural.

Como se puede comprobar en la figura 1 de la GSG-1, que se incluye a continuación, el sistema propuesto se basa en seis categorías de residuos:

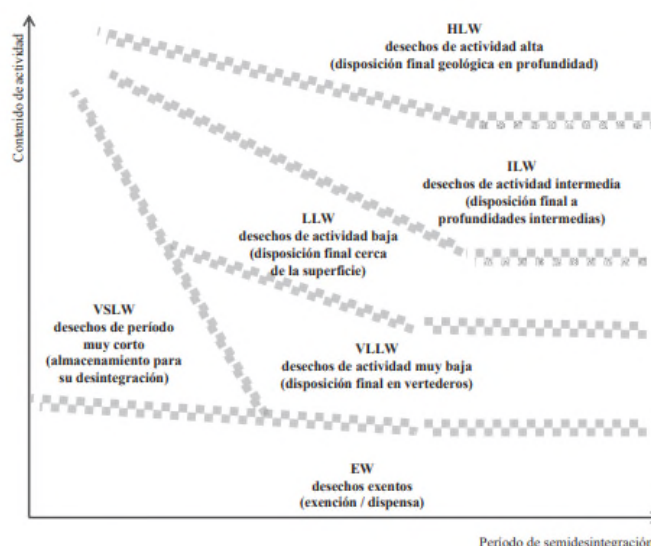


Fig. 1. Ilustración conceptual del sistema de clasificación de desechos.

- 1) Residuos exentos (EW): son aquellos que cumplen los criterios necesarios para su exclusión del control regulador. A pesar de esta denominación, se considera que, una vez que los residuos se han caracterizado como exentos, dejándose de aplicar el control reglamentario, éstos ya no se consideran residuos radiactivos.
- 2) Residuos de período muy corto (VSLW): residuos que tras un periodo de almacenamiento temporal limitado de algunos años pueden ser considerados como exentos del control regulador para su gestión posterior. Esta clase incluye los residuos que contienen principalmente radionucleidos con períodos de semidesintegración muy cortos utilizados frecuentemente con fines médicos y de investigación.
- 3) Residuos de actividad muy baja (VLLW): residuos que no necesariamente cumplen los criterios de los residuos exentos, pero que por su bajo riesgo (baja actividad y periodo de desintegración corto o medio) no precisan un alto grado de contención y aislamiento y, por consiguiente, se pueden someter a almacenamiento definitivo en instalaciones superficiales bajo un control regulador adaptado al bajo nivel de riesgo. Por ejemplo: suelen formar parte de esta clase de residuos la tierra y los escombros con baja concentración de actividad. Las concentraciones de radionucleidos de período más largo presentes en los VLLW son, por lo general, muy limitadas.
- 4) Residuos de actividad baja (LLW): residuos cuya actividad se encuentra por encima de los niveles de exención, pero que contienen cantidades limitadas de radionucleidos de período largo. Estos residuos requieren un aislamiento y contención sólidos durante períodos de hasta algunos cientos de años y se pueden someter a almacenamiento definitivo en instalaciones cerca de la superficie. Esta clase abarca una variedad muy amplia de residuos. Los LLW pueden incluir radionucleidos de período corto con un nivel más elevado de concentración de la actividad, así como radionucleidos de período largo, pero sólo con niveles relativamente bajos de concentración de la actividad.
- 5) Residuos de actividad intermedia (ILW): residuos que, debido a su contenido, particularmente de radionucleidos de período largo, precisan un grado mayor de contención y aislamiento que el que ofrece el almacenamiento definitivo cerca de la superficie. No obstante, en el caso de los ILW no hace falta adoptar disposiciones, o sólo de forma limitada, en relación con la disipación del calor durante su almacenamiento temporal y almacenamiento definitivo. Los ILW pueden contener radionucleidos de período largo, en particular radionucleidos emisores de radiación alfa, hasta un nivel de concentración de la actividad que sea aceptable para proceder a su almacenamiento definitivo en instalaciones a mayor profundidad, del orden de decenas de metros hasta algunos cientos de metros.
- 6) Residuos de actividad alta (HLW): residuos con niveles de concentración de la actividad suficientemente elevados para generar cantidades importantes de calor mediante el proceso de desintegración radiactiva, o residuos con grandes cantidades de radionucleidos de período largo. El almacenamiento definitivo en formaciones geológicas profundas y estables es la opción más aceptada para su almacenamiento definitivo.

Los residuos radiactivos líquidos o gaseosos podrán ser gestionados en forma de efluentes líquidos o gaseosos descargados al medio ambiente bajo un control reglamentario

adecuado, dando cumplimiento con las restricciones de dosis que se establecen, o bien podrán ser procesados para su solidificación con el objetivo de cumplir los criterios de aceptación para su almacenamiento definitivo.

Clasificación de residuos radiactivos en el séptimo plan general de residuos radiactivos de España

El marco legislativo y regulador español no ha establecido una clasificación legal de los residuos radiactivos. No obstante, en el 7º Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR) se clasifican los residuos radiactivos en función de su gestión definitiva en los siguientes grupos:

a) Residuos de baja y media actividad, cuyas características principales son:

- No generan calor.
- Contienen radionucleidos emisores beta-gamma con períodos de semidesintegración inferiores a 30 años, y con actividades que, tras un período máximo de 300 años en el almacenamiento definitivo, resultan inocuas.
- Su contenido en emisores alfa debe ser inferior a 370 Bq/g.

Algunos ejemplos de radionucleidos contenidos en los residuos de baja y media actividad son el Cs-137, el Sr-90 y el Co-60.

Dentro de esta categoría, se incluyen los residuos denominados como de muy baja actividad que se corresponden con aquellos de menor actividad (en general, presentan actividades específicas entre 1 y 100 Bq/g, pudiendo llegar hasta varios miles en el caso de algunos radionucleidos de baja radiotoxicidad o tratándose de cantidades pequeñas).

b) Residuos de alta actividad, cuyas características principales son:

- Contienen radionucleidos emisores alfa de vida larga en concentraciones apreciables por encima de 370 Bq/g (0,01 Ci/tonelada).
- Pueden desprender calor.
- Los radionucleidos contenidos en residuos de alta actividad tienen un período de semidesintegración superior a 30 años, llegando algunos a alcanzar decenas de miles de años.

A diferencia del PGRR anterior, el 7º PGRR establece una categoría adicional, ya que considera como Residuos Especiales aquellos que no son susceptibles de ser gestionados en las instalaciones del Centro de almacenamiento definitivo de residuos sólidos de media y baja actividad de El Cabril (Córdoba), dado su contenido en radionucleidos de larga vida y actividad significativa. Su gestión se plantea de una manera similar a la de los residuos de alta actividad. Algunos ejemplos de estos tipos de residuos son las fuentes neutrónicas, la instrumentación intranuclear usada o los componentes internos del reactor.

Por último, el 7º PGRR establece la siguiente correlación entre la clasificación nacional y la propuesta por el OIEA:

Tabla 1. Clasificación de los RR

| Clasificación sistema nacional | | Clasificación GSG-1 OIEA |
|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| RBBA | Residuos de muy baja actividad | VLLW |
| RBMA | Residuos de baja y media actividad | LLW |
| RE | Residuos especiales | ILW |
| RAA | Residuos de alta actividad | HLW |

4. ORIGEN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS

Los residuos radiactivos se generan en las siguientes actividades:

- Producción de energía eléctrica de origen nuclear.
- Aplicaciones de los radioisótopos en la medicina, industria e investigación.
- Desmantelamiento de instalaciones nucleares y radiactivas.
- Otras industrias que utilizan materias primas que contienen radionucleidos de origen natural.

De todas las actividades que producen residuos radiactivos, las que originan una mayor cantidad de residuos tanto en lo que respecta a su volumen, como a su actividad específica, son las relacionadas con la generación de energía eléctrica.

A continuación, vamos a describir los residuos que se producen en cada una de estas actividades.

Residuos del ciclo de producción de energía eléctrica de origen nuclear

Según su origen se pueden distinguir tres tipos correspondientes al ciclo del combustible nuclear.

a) Los residuos de la primera fase del ciclo del combustible, entendiendo como tales los comprendidos en las siguientes fases:

- Los residuos generados en las etapas de minería del uranio, constituidos por partes de la roca extraída conteniendo óxido de uranio (U_3O_8) y estériles provenientes de la fabricación de concentrados, que esencialmente contienen radionucleidos naturales derivados del decaimiento del U-238, como el U-234, Th-230, Ra-226 y Pb-210.
- Los residuos de la conversión a hexafluoruro de uranio (UF_6), y enriquecimiento del uranio, constituidos por las colas de uranio empobrecido en forma de UF_6 .

- Los residuos sólidos producidos durante la fabricación de elementos combustibles, que incluyen papeles, plásticos, ropas, vidrios, metales, etc. así como los filtros de los sistemas de tratamiento de gases y los lodos obtenidos en el tratamiento de los residuos líquidos.

b) Residuos generados en el funcionamiento de las centrales nucleares

La producción de residuos radiactivos en una central nuclear tiene su origen en dos procesos:

- Durante la fisión del uranio en el núcleo del reactor se originan productos de fisión que contienen isótopos radiactivos de diferentes elementos y neutrones libres. Una pequeña fracción de estos productos de fisión pasa al agua del circuito de refrigeración, bien a través de defectos de las vainas de las barras de combustible o bien por difusión a través de las mismas.
- Productos de activación originados por los elevados niveles de irradiación en el seno del reactor o por el bombardeo neutrónico de los neutrones que escapan del núcleo sobre el refrigerante, sobre los aditivos, sobre las impurezas del refrigerante del reactor o sobre materiales estructurales o provenientes de su corrosión.

Durante la operación de las CCNN, entre los residuos radiactivos de baja y media actividad más importantes destacan aquellos equipos y dispositivos utilizados para la purificación y limpieza de los circuitos de refrigeración como por ejemplo las resinas de intercambio iónico, los filtros de circuitos líquidos o los concentrados de evaporación.

Otros residuos radiactivos de media y baja actividad incluyen repuestos, herramientas, uniformes de trabajo, trapos, papeles, etc. que han sido contaminados durante los trabajos de reparación y mantenimiento de la central.

c) Residuos de la segunda fase del ciclo del combustible

El combustible nuclear gastado, una vez ha cubierto 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 aparecen dos estrategias de gestión:

1. Ciclo abierto: en la que no se prevé una utilización posterior para el combustible nuclear irradiado y se le considera como un residuo radiactivo sólido de alta actividad. La estrategia fundamental de gestión consiste en su almacenamiento temporal hasta su disposición definitiva en un almacenamiento geológico profundo.

El almacenamiento temporal puede ser en vía húmeda, en las denominadas como piscinas de combustible gastado, o en seco (ya sea en bóvedas o en contenedores metálicos o de hormigón).

2. Ciclo cerrado: después de un período de almacenamiento temporal, se realizan actividades orientadas al reprocesado 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.

En las plantas de reelaboración se generan residuos sólidos, líquidos y gaseosos con niveles de actividad muy diferentes que deberán ser gestionados como residuos de media y baja actividad o como de alta actividad.

El ciclo cerrado avanzado supone la separación del uranio y el plutonio de los actínidos y productos de fisión. Donde los actínidos y productos de fisión se someten a un proceso de transmutación para disminuir su actividad.

Aunque las operaciones de transmutación puedan reducir significativamente el inventario radiotóxico a largo plazo de los residuos de alta actividad; cabe esperar la producción de residuos, tanto de baja y media como de alta actividad que deberán ser gestionados posteriormente

Residuos generados en la medicina, industria e investigación

Se distinguen tres grupos diferentes de instalaciones radiactivas en función del fin para el que los isótopos radiactivos son utilizados: instalaciones sanitarias, industriales y centros de investigación.

a) En las instalaciones médicas y hospitalarias, el uso de isótopos radiactivos para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades ha ido creciendo a lo largo de los últimos cincuenta años. Así, elementos radiactivos no encapsulados, normalmente en estado líquido, son utilizados para fines diferentes como son el diagnóstico mediante trazadores (Tc-99, Tl-201, Ga-67, I-131, I-125) que permiten el estudio de órganos como el corazón, glándula tiroides, hígado y glándulas hormonales, o bien para el tratamiento de enfermedades del tiroides (I-131) o de la sangre (P-32), o bien para investigación (H-3 ó C-14).

Estas actividades generan residuos radiactivos sólidos: algodones, guantes de goma, jeringuillas, etc. así como residuos líquidos, fundamentalmente líquidos de centelleo.

En el tratamiento de tumores se emplean fuentes encapsuladas, siendo muy frecuente el uso del Co-60. Estas fuentes, frecuentemente de mucha actividad, han de ser cambiadas debido al decaimiento cuando su actividad disminuya por debajo de un determinado nivel y por tanto, dejan de ser útiles para estos fines. Estas fuentes constituyen un residuo radiactivo que es necesario gestionar.

b) En las aplicaciones de los isótopos radiactivos en los procesos industriales, está especialmente extendido el uso de fuentes encapsuladas. Mediante el uso de este tipo de fuentes –generalmente de baja actividad–, se suelen obtener medidas de nivel, humedad, densidad o espesor en procesos continuos o de difícil acceso. También se utilizan fuentes encapsuladas de mayor actividad en aplicaciones como la gammagrafía de construcciones industriales o en la esterilización industrial.

Al igual que las fuentes encapsuladas utilizadas en medicina, cuando decae su nivel de actividad, deben ser retiradas considerándose residuos radiactivos a gestionar.

c) Los residuos procedentes de centros de investigación nuclear, de reactores de enseñanza e investigación, celdas calientes, metalúrgicas (instalaciones auxiliares de investigación donde se realizan ensayos, manipulaciones, pruebas, etc.) plantas piloto o servicios de descontaminación son de naturaleza física, química y radiactiva muy variable debido a la gran diversidad de isótopos utilizados y la amplia gama de procesos.

Residuos generados en el desmantelamiento de las instalaciones nucleares y radiactivas

Tras el cese definitivo de actividad de las instalaciones nucleares y radiactivas, comienza la fase de desmantelamiento, entendiendo como tal las medidas administrativas y técnicas que se adoptan para suprimir parcial o totalmente los controles reglamentarios aplicados a una instalación.

Durante el desmantelamiento de una central nuclear, se retiran todos los materiales, equipos y partes de la instalación que contengan radiactividad por encima de los niveles aceptables, dejando el emplazamiento en condiciones seguras para su uso futuro, generándose una gran variedad de residuos radiactivos, entre los que destacan:

- Vasija del reactor, internos del reactor, y componentes existentes en el interior del blindaje biológico. Generalmente se trata de residuos de gran tamaño, altamente activados y contaminados. Tras su pretratamiento y segregación, se producirán algunos residuos especiales conjuntamente con residuos de media y baja actividad.
- Componentes externos al blindaje biológico (cambiadores de calor, bombas de circulación, tuberías, etc.). Se trata de residuos de media y baja actividad cuyo riesgo operacional es menor pero su gestión es semejante.
- Hormigón activado y contaminado. Suelen ser tratados mediante escarificado o demolición. Se trata de residuos de media y baja actividad cuyo riesgo operacional es menor pero su gestión es semejante.
- Los sistemas auxiliares y estructuras de edificios son materiales ligeramente contaminados que podrán ser igualmente sometidos a tratamientos de descontaminación. Se trata de residuos de media y baja actividad cuyo riesgo operacional es menor pero su gestión es semejante.
- Tierras y escombros de demolición, normalmente, ligeramente contaminados. Se trata de residuos de media y baja actividad cuyo riesgo operacional es menor pero su gestión es semejante.
- Residuos secundarios provenientes de las distintas etapas de descontaminación y procesado de los residuos radiactivos, como por ejemplo líquidos de descontaminación, filtros de gases, etc. que requieren un tratamiento similar a los residuos que se generan durante la operación del reactor.

De entre las estrategias implementadas para la minimización de los residuos, la desclasificación es una actividad prioritaria ya que permite que determinados materiales residuales con contenido radiactivo puedan ser gestionados como residuos convencionales sin necesidad de un posterior control radiológico.

Residuos NORM (Natural Occurring Radioactive Material)

La mayor parte de los materiales contienen de forma natural radiactividad, debida esencialmente al potasio 40 y a los radionucleidos de las familias del uranio y del torio.

Teniendo en cuenta el reparto heterogéneo de los elementos mencionados, ciertos residuos producidos en algunas instalaciones industriales presentan a veces niveles de radiactividad significativamente superiores a los valores medios encontrados en el medio ambiente.

Todos los sectores industriales en los que se manejan materiales radiactivos de origen natural (NORM), son también generadores de residuos que contienen radionucleidos de origen natural, con concentraciones que son, en la mayoría de las ocasiones, superiores a las inicialmente presentes en los materiales debido a los procesos físicos y químicos experimentados en su tratamiento.

La Orden IET/1946/2013 es aplicable a las actividades laborales que impliquen el almacenamiento o la manipulación de materiales o de residuos que habitualmente no se consideran radiactivos, pero que contengan radionucleidos naturales que puedan provocar un incremento significativo de la exposición de los trabajadores y, en su caso, de miembros del público.

Esta Orden recoge en su Anexo los valores de las concentraciones de actividad (niveles de exención/desclasificación) que, en caso de no superarse, permiten abordar directamente la gestión convencional de los residuos NORM. Los valores recogidos en la Orden IET/1946/2013 son los recomendados por la Unión Europea en el documento RP-122 parte 2 *"Practical use of the concepts of clearance and exemption. Application of the concepts of exemption and clearance to the natural radiation sources"* y han sido calculados considerando como criterio de dosis para los miembros del público un límite de dosis de 300 $\mu\text{Sv/año}$.

Si por el contrario los residuos NORM presentan un contenido o contaminación de radionucleidos en valores superiores a los niveles que se establecen en el Anexo de esta Orden, se deberá realizar el estudio de impacto radiológico. Si una vez realizado el estudio de impacto radiológico, la estimación de dosis efectiva anual asociada a la gestión de los residuos resulta inferior o igual a 1 mSv para los miembros del público y a 6 mSv para los trabajadores, se podrá realizar la gestión convencional de dichos residuos.

Además de introducir cambios en los niveles de desclasificación/exención, para los residuos conteniendo radionucleidos naturales, la Directiva 2013/59/Euratom, pendiente de trasposición, a su vez, establece los siguientes criterios:

- El incremento de dosis por encima del fondo natural de radiación que puede recibir una persona debido a la práctica exenta es del orden de 1 mSv anual o inferior. La evaluación de dosis para la población tendrá en cuenta no solamente las vías de exposición a través de efluentes gaseosos o líquidos, sino también las vías resultantes de eliminación o el reciclado de residuos sólidos
- Deberá demostrarse que los trabajadores no deberían estar clasificados como trabajadores expuestos

5. PRINCIPIOS, ETAPAS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS

Principios de la gestión de residuos radiactivos

El objetivo principal de la gestión de los residuos radiactivos es tratar los residuos radiactivos 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 futuras.

Los principios fundamentales de seguridad establecidos por el OIEA en el SF-1 son de aplicación a las actividades relativas a la gestión de residuos radiactivos. Además, en base a los principios establecidos en la Convención Conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y los residuos radiactivos, y transponiendo la Directiva 2011/70/Euratom del Consejo, de 19 de julio de 2011, por la que se establece un marco comunitario para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y de los residuos radiactivos, el Real Decreto 102/2014, de 21 de febrero, para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos, en su artículo 3, establece los siguientes principios básicos en la gestión de residuos radiactivos aplicables en España:

1. La generación de residuos radiactivos se reducirá al mínimo razonablemente posible, tanto en actividad como en volumen, mediante la aplicación de medidas adecuadas, incluidos el reciclaje y la reutilización de los materiales.
2. Se tendrá en cuenta la interdependencia entre todas las etapas de la generación y la gestión del combustible nuclear gastado y de los residuos radiactivos.
3. Se gestionarán con seguridad el combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos, incluso a largo plazo con sistemas de seguridad pasiva.
4. El coste de la gestión del combustible nuclear gastado y de los residuos radiactivos será soportado por quienes hayan generado dichos materiales.
5. La aplicación de las medidas destinadas a la gestión segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos responderá a un proceso de aproximación graduada.
6. Se aplicará un proceso decisorio basado en pruebas empíricas y documentado en todas las etapas de la gestión del combustible nuclear gastado y de los residuos radiactivos.

Por su lado, el artículo 4 del RD 102/2014 establece que la responsabilidad respecto de los residuos radiactivos será de quienes los hayan generado y éstos instaurarán y aplicarán sistemas integrados de gestión que otorguen la debida prioridad a la seguridad en la gestión global los residuos radiactivos.

Adicionalmente, el artículo 38 bis de la LEN, también declara que la gestión del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos constituye un servicio público esencial que se reserva a la titularidad del Estado, sin perjuicio de las responsabilidades que correspondan a los generadores de estos materiales.

Por último, en el mismo articulado, se encomienda dicha gestión a la «Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S. A.» (ENRESA).

Etapas de la gestión de residuos radiactivos

Existen tres estrategias básicas para gestionar los residuos radiactivos de forma segura:

- a) Retención en espera de la desintegración. Consiste en retener los residuos durante un período de tiempo corto pero suficiente para que se desintegren los radionucleidos que contienen. Es aplicable a los residuos que contienen radionucleidos con $T_{1/2}$ muy corto y sólo se aplica si no se pueden retener. Los ejemplos más significativos son: el Xe-133 ($T_{1/2} = 3$ d) o I-131 ($T_{1/2} = 8$ d), el Xe-133 es retenido en tanques herméticos y el I-131 en filtros de carbón durante unas semanas que son suficientes para su desintegración.
- b) Dilución y dispersión. Consiste en diluir los radionucleidos en un medio inactivo y dispersarlos directamente en el medio ambiente. Es apropiada para pequeñas cantidades de residuos líquidos o gaseosos¹ con bajas concentraciones de radionucleidos de $T_{1/2}$ relativamente largo. Sólo se pueden descargar después de evaluar su impacto y demostrar que es inferior a los límites establecidos.
- c) Concentración y contención. Consiste en concentrar los radionucleidos e inmovilizarlos en matrices sólidas muy estables (cemento, vidrio, etc.) para almacenarlos en una instalación adecuada de forma indefinida en condiciones seguras. Se aplica a los residuos que contienen radionucleidos de $T_{1/2}$ largo.

Las etapas básicas de la gestión de residuos abarcan desde la generación hasta su gestión definitiva (almacenamiento definitivo de residuos sólidos o su descarga al medio ambiente de aquellos efluentes radiactivos que puedan ser eliminados por esta vía).

Todos los residuos radiactivos que se generen deben ser controlados. La generación de los mismos se hará considerando el principio de minimización que consiste en reducir tan bajo como sea razonablemente posible los residuos radiactivos producidos tanto en términos de cantidad como de actividad. Este concepto engloba la reducción en origen, el reciclado y la optimización de la gestión del residuo.

Los residuos que se generen, deben ser caracterizados, clasificados y segregados en función de sus propiedades físicas, mecánicas, químicas, radiológicas y biológicas.

La figura siguiente, obtenida de la edición de 2022 del glosario del OIEA, presenta de forma ordenada las etapas fundamentales en la gestión de los residuos radiactivos.

¹ Los residuos radiactivos líquidos o gaseosos podrán ser gestionados en forma de efluentes líquidos o gaseosos descargados al medio ambiente bajo un control reglamentario adecuado, dando cumplimiento con las restricciones de dosis que se establecen, o bien podrán ser procesados para su solidificación con el objetivo de cumplir los criterios de aceptación para su almacenamiento definitivo.

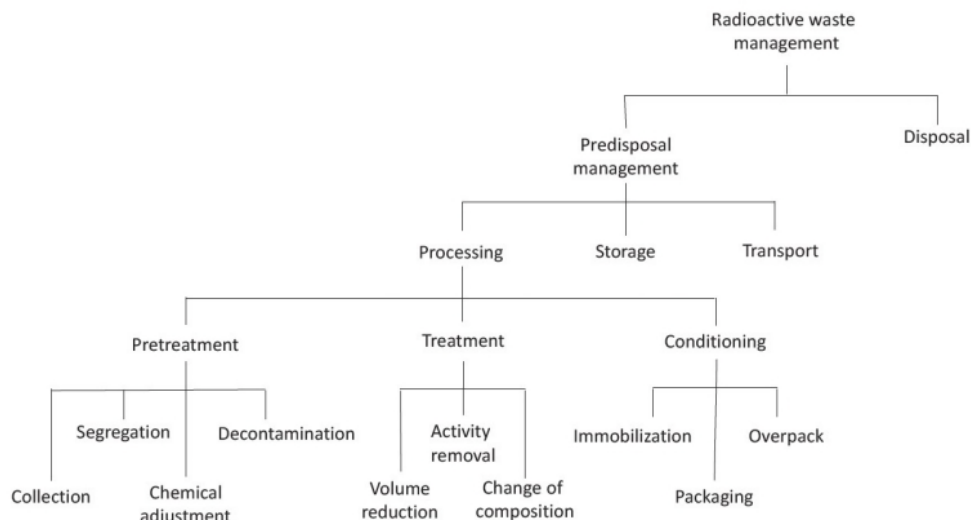


Fig. 2 Etapas fundamentales de la gestión de los residuos radiactivos.

El procesamiento de los residuos radiactivos tiene por objetivo aumentar la seguridad de éstos produciendo una forma de residuo que cumpla con los criterios de aceptación para cada una de las etapas posteriores hasta llegar a su almacenamiento definitivo y se basará en el examen apropiado de las características de los residuos y de las exigencias que imponen las diferentes etapas de su gestión:

- El tratamiento previo abarca las operaciones previas a su tratamiento incluyendo procesos como la recolección, la segregación, el ajuste químico, troceado o la descontaminación. También puede incluir un período de almacenamiento provisional.
- El tratamiento de residuos radiactivos que incluye las operaciones cuya finalidad es lograr una mayor seguridad o eficiencia económica modificando las características de los residuos. Los conceptos básicos aplicados durante el tratamiento son: reducción del volumen, extracción de radionucleidos y modificación de la composición.
- El acondicionamiento de residuos radiactivos que consiste en las operaciones realizadas con el fin de dar a los residuos una forma adecuada para su manipulación, transporte, almacenamiento y evacuación. Estas actividades pueden comprender la inmovilización de los residuos radiactivos, su introducción en contenedores y el dotarlos de un embalaje suplementario.

En muchos casos, el tratamiento y el acondicionamiento se llevan a cabo de forma estrechamente relacionada.

El almacenamiento temporal es una etapa intermedia de la gestión en la que se proporciona a los residuos radiactivos el confinamiento, la vigilancia y la protección durante un periodo de tiempo limitado, cumpliendo con el criterio de la recuperabilidad y

el principio de la interdependencia con las posteriores o futuras etapas de la gestión y las interfases entre las distintas organizaciones involucradas.

El transporte fuera de la instalación generadora hacía otra instalación u otra etapa de la gestión, normalmente, la gestión definitiva o el tratamiento también es una etapa en la gestión de los residuos radiativos.

El almacenamiento definitivo es la etapa final del sistema de gestión de residuos radiativos. Se trata fundamentalmente de su disposición con una garantía razonable de seguridad, sin intenciones de recuperarlos. Esta seguridad se logra fundamentalmente mediante su concentración, su inmovilización y aislamiento en una instalación diseñada para tal fin.

El aislamiento se consigue mediante un sistema de barreras múltiples entre los residuos radiativos y el hombre (tecnológicas y geológicas) que impidan o retarden lo suficiente la llegada de los radionucleidos al medio ambiente hasta que hayan perdido la mayor parte de su actividad. Este sistema de barreras múltiples incluye:

- La primera barrera (barrera química) se constituye, mediante un proceso de acondicionamiento del residuo, inmovilizando el residuo radiactivo en una matriz sólida, estable y duradera, capaz de evitar la dispersión del material radiactivo al medio ambiente.
- La segunda barrera (barrera física) la constituye el contenedor donde se confina el residuo radiactivo, ya acondicionado. Este contenedor ha de quedar completamente sellado para constituir una buena barrera frente a la dispersión del material radiactivo de su interior. El residuo acondicionado y embalado, listo para su almacenamiento, constituye lo que se denomina bulto de residuos radiativos.
- La tercera barrera (barrera de ingeniería) la constituye la instalación donde se almacenan los residuos radiativos, cuyo diseño incluye estructuras, blindajes y todos aquellos sistemas requeridos en función de las características de los residuos radiativos a albergar

Los residuos de alta actividad, provistos de las tres barreras anteriores, se sitúan en el seno de un medio geológico (barrera geológica), cuya misión es detener y retardar el acceso de los mismos a la biosfera y al ser humano.

6. GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS EN ESPAÑA. ALTERNATIVAS BÁSICAS PARA LA GESTIÓN SEGURA DE LOS RESIDUOS.

El 7º PGR establece las estrategias y políticas relativas a la gestión de los residuos radiativos y el RD 102/2014 las responsabilidades de las distintas partes involucradas. A continuación se detallan algunas características relevantes del sistema de gestión de residuos radiativos de España.

Existe un sistema de desclasificación basado en los requisitos de la directiva 2013/59 de Euratom, que ha quedado establecido, entre otras normas, en la Orden ETU 1185/2017 para la desclasificación de material residual en instalaciones nucleares y en la Orden ECO/1449/2003, de 21 de mayo, sobre gestión de materiales residuales sólidos con contenido radiactivo generados en las instalaciones radiactivas de 2.^a y 3.^a categoría en las que se manipulen o almacenen isótopos radiactivos no encapsulados.

Para aquellos residuos radiactivos que no pueden ser desclasificados, la estrategia aplicable es la de concentración y contención, previa a su almacenamiento definitivo mediante las etapas establecidas en la sección 5 de este tema.

En relación con los residuos radiactivos de baja y media actividad, los generadores se corresponden con las instalaciones nucleares, la fábrica de elementos combustibles de Juzbado, el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) y las instalaciones radiactivas, también denominados como pequeños productores (hospitales, centros de investigación, industrias, etc.)

Los residuos de baja y media actividad producidos en las centrales nucleares, la fábrica de elementos combustibles y el CIEMAT, son acondicionados en sus propias instalaciones, mientras que los residuos de pequeños productores (agujas, líquidos orgánicos, sólidos biológicos, etc,..) son acondicionados en las instalaciones del Centro de almacenamiento definitivo de residuos sólidos de baja y media actividad de El Cabril (Córdoba).

Estos residuos son generalmente acondicionados en bultos de 220 litros (primera barrera) y posteriormente inmovilizados con conglomerante hidráulico en un contenedor de hormigón (segunda barrera) que se deposita definitivamente en las celdas de almacenamiento de El Cabril (tercera barrera).



Los únicos generadores de residuos radiactivos de alta actividad son las centrales nucleares, siendo el combustible gastado el residuo de alta actividad más importante.

El 7º PGR establece un ciclo abierto para la gestión del combustible gastado. La estrategia de gestión planteada es su almacenamiento temporal previo al diseño y puesta en marcha de un almacenamiento geológico profundo. Este almacenamiento temporal se realiza de dos formas diferentes en vía húmeda, en las piscinas de las centrales nucleares,

o bien en vía seca, en contenedores de combustible gastado situados en almacenes temporales individualizados ubicados en el emplazamiento de las propias centrales nucleares.

Por último, provenientes de las actividades de reprocesado del combustible gastado de CN Vandellós I, existe un conjunto de residuos de alta actividad y especiales para los que el 7º PGRR prevé la construcción de un almacén que estará operativo en 2027.

7. BIBLIOGRAFÍA.

OIEA. SF-1, Principios fundamentales de seguridad

OIEA Requisitos de seguridad Generales, Parte 5, GSR Part 5, Gestión previa a la almacenamiento definitivo de desechos radiactivos

OIEA Guía de Seguridad GSG-1. Clasificación de residuos radiactivos.

OIEA Terminology Used in Nuclear Safety, Nuclear Security, Radiation Protection and Emergency Preparedness and Response, 2022

Ley 35/1964 sobre Energía Nuclear

Directiva 2013/59/EURATOM por la que se establecen normas de seguridad básica de protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes.

Real Decreto 102/2014, de 21 de febrero, para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y los residuos radiactivos.

El séptimo Plan General de Residuos Radiactivos. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Diciembre 2023.

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre la seguridad en la gestión de residuos radiactivos". Primer y Segundo informe nacional. España. 2003, 2006.

Ilustre Colegio Oficial de Físicos "Origen y gestión de residuos radiactivos" (2000).

Gestión de residuos radiactivos: Situación, Análisis y perspectiva. Volumen 1. Fundación para estudios sobre la Energía. 2007.

Curso Gestión de Residuos Radiactivos. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat) y Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Serie ponencias.