

Origen, gestión y clasificación

de residuos radiactivos

Ibon Asua Aberasturi.....17915
Óscar Pérez Posado.....17936

ORIGEN, GESTIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS

1	Introducción.....	5
2	<i>Criterios de clasificación de los residuos radiactivos.....</i>	6
	<i>2.1 Estado físico.....</i>	6
	<i>2.2 Tipo de radiación emitida.....</i>	6
	<i>2.3 Período de semidesintegración.....</i>	6
	<i>2.4 Actividad específica.....</i>	7
	<i>2.5 Radiotoxicidad.....</i>	7
3	<i>Clasificación de los residuos radiactivos.....</i>	8
4	<i>Origen de los residuos radiactivos.....</i>	9
	<i>4.1 Residuos del ciclo de producción de energía eléctrica.....</i>	9
	<i>4.2 Residuos generados en la medicina, industria e investigación.....</i>	13
	<i>4.3 Clausura de instalaciones nucleares y radiactivas.....</i>	14
5	<i>Producción de residuos en España.....</i>	16
	<i>5.1 Situación actual.....</i>	16
	<i>5.2 Previsiones de generación.....</i>	16
6	<i>Opinión personal.....</i>	20
7	<i>Tragedias en almacenamientos</i>	22
8	<i>Esquemas y fotos.....</i>	24
9	<i>Bibliografía.....</i>	28

1 Introducción

Los residuos de alta actividad son tóxicos durante unos 250.000 años!!

Se considera residuo radiactivo a 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 favorable del Consejo de Seguridad Nuclear, y para el cual no está previsto ningún uso.

La radiactividad ni huele, ni se ve, ni se oye. Aunque se puede medir con cierto tipo de contadores, es imposible suprimirla.

Las consecuencias de la exposición a una radiactividad elevada son fatales para el ser humano. Está probado que puede causar la muerte, y en dosis más bajas, provoca cánceres, enfermedades y trastornos genéticos que afectan muy seriamente a la descendencia del afectado. En los sesenta años de existencia de la energía nuclear y pese a las enormes inversiones, nadie ha conseguido dar una solución satisfactoria al problema de los residuos radiactivos de alta actividad.

De todos los problemas asociados al uso de la energía nuclear, que aconsejan su inmediato abandono, éste puede ser el determinante. Los peligrosos residuos son el talón de Aquiles de las centrales nucleares.

Estos letales residuos se están acumulando en las centrales nucleares de todo el mundo. En España también. La industria nuclear no sabe qué hacer con ellos. Desesperada por el enorme volumen de los residuos radiactivos y el elevado coste de su gestión, ha tratado y trata de resolver su problema de diversas formas procurando "sobre todo" solucionarlo de la manera más barata para ellos.

Elementos radiactivos de distinto tipo se emplean en muy variadas actividades. Las centrales de energía nuclear son las que mayor cantidad de estos productos emplean, pero también muchas aplicaciones de la medicina, la industria, la investigación, etc. emplean isótopos radiactivos y, en algunos países, las armas nucleares son una de las principales fuentes de residuos de este tipo.

Dos **características** hacen especiales a los residuos radiactivos:

Su gran **peligrosidad**. Cantidades muy pequeñas pueden originar dosis de radiación peligrosas para la salud humana

Su **duración**. Algunos de estos isótopos permanecerán emitiendo radiaciones miles y decenas de miles de años

Así se entiende que aunque la cantidad de este tipo de residuos que se producen en un país sea comparativamente mucho menor que la de otros tipos, sus tecnologías y métodos de tratamiento sean mucho más complicados y difíciles

2 Criterios de clasificación de los residuos radiactivos

Hay una amplia gama de residuos radiactivos. Algunos de los criterios más importantes que pueden servir de base para el establecimiento de clasificaciones de residuos son: el estado físico, el tipo de radiación emitida, el período de semidesintegración, la actividad específica y la radiotoxicidad.

2.1 Estado físico

Por su 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.

2.2 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 emisiones alfa, beta y gamma.

Debido a que cada tipo de radiación interacciona de distinta forma con la materia, presentando diferentes longitudes de penetración o lo que es lo mismo, alcances en el medio irradiado, este criterio condiciona las barreras de protección, el manejo de los residuos y en general la exposición a las radiaciones en el lugar de almacenamiento.

2.3 Período de semidesintegración

Como es sabido, la radiactividad decrece regularmente con el tiempo. En función del período de semidesintegración de los radionucleidos contenidos en los residuos (o tiempo al cabo del cual la radiactividad se reduce a la mitad), se puede hacer la siguiente clasificación:

- Residuos radiactivos de vida corta: estos residuos están contaminados básicamente con isótopos radiactivos cuyo período de semidesintegración es inferior a 30 años. No generan calor. emisores beta-gamma.
- Residuos radiactivos de vida larga: estos residuos están contaminados con isótopos radiactivos cuyo período de semidesintegración es superior a 30 años. Pueden desprender calor. emisores alfa.

Este criterio condiciona las soluciones a poner en práctica a *largo plazo* por cuestiones de riesgo potencial, ya que el período de semidesintegración da idea del tiempo necesario para que un radionucleido reduzca su actividad hasta niveles aceptables. Así, los residuos de vida corta reducen su actividad inicial a menos de la milésima parte en un plazo como máximo de 300 años (es decir, 10 períodos). Sin embargo, los residuos de vida larga pueden conservar una actividad apreciable durante miles de años.

2.4 Actividad específica

Otro de los parámetros más significativos para la clasificación de residuos es la actividad por unidad de masa o volumen de material radiactivo (actividad específica). Su unidad de medida en el SI es Bq/gr.

Una cierta porción del residuo, en general, contendrá distintos radionucleidos, cada uno de ellos con una determinada actividad específica. Para cada radionucleido hay definido un umbral por encima del cual se considera al residuo como de alta actividad y recíprocamente, por debajo, como de baja.

Este criterio determina los problemas de protección a corto plazo, ya que el nivel de actividad de los residuos condiciona el blindaje durante su manejo normal y transporte.

2.5 Radiotoxicidad

La radiotoxicidad es una propiedad de los residuos radiactivos que define su peligrosidad desde el punto de vista biológico.

La radiotoxicidad de un radionucleido engloba varios parámetros como el tipo de radiación, el período de semidesintegración, la mayor o menor rapidez con que es expulsado del organismo por los procesos orgánicos, y también depende de si tiende a fijarse selectivamente en determinados órganos o tejidos.

Tanto la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), como el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), y el Organismo de Energía Atómica de las Comunidades Europeas (EURATOM), han recomendado una clasificación en cuatro grupos de los radionucleidos, según su grado de radiotoxicidad por unidad de actividad.

- El primero de dichos grupos o *Grupo A* comprende los radionucleidos de más alta toxicidad, entre los que figuran como ejemplos representativos el ^{226}Ra , el ^{239}Pu y el ^{241}Am .
- El segundo grupo o *Grupo B* comprende los radionucleidos de toxicidad entre media y alta, como por ejemplo el ^{90}Sr y los yodos-125, 126 y 131.
- El tercer grupo o *Grupo C* comprende los radionucleidos de toxicidad entre media y baja y figuran en él como ejemplos típicos en ^{32}P , el ^{198}Au y el $^{99\text{m}}\text{Tc}$.
- Finalmente, el cuarto grupo o *Grupo D* comprende los radionucleidos de baja toxicidad entre los que se encuentran el ^3H , el ^{51}Cr y el $^{99\text{Tc}}$. En este grupo se puede considerar también incluido el uranio natural.

Este criterio sirve de base para fijar los requisitos de protección y seguridad que han de cumplir las instalaciones en las que se manipulen sustancias radiactivas, a fin de reducir adecuadamente el riesgo de irradiación interna.

3 Clasificación de los residuos radiactivos

La clasificación más aceptada internacionalmente es la propuesta por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) que divide a los residuos sólidos, líquidos y gaseosos en distintas categorías.

En España, *desde el punto de vista de su gestión*, los residuos radiactivos se clasifican generalmente en:

a) Residuos de baja y media actividad

Sus características principales son:

- Actividad específica por elemento radiactivo baja.
- No generan calor.
- Contienen radionucleidos emisores beta-gamma con períodos de semidesintegración inferiores a 30 años, lo que quiere decir que reducen su actividad a menos de la milésima parte en un período máximo de 300 años.
- Su contenido en emisores alfa debe ser inferior a 0,37 Gbq/t. (0,01 curios/tonelada en promedio)

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

b) Residuos de alta actividad

Sus características principales son:

- Contienen radionucleidos emisores alfa de vida larga en concentraciones apreciables por encima de 0,37 Gbq/t (0,01 Ci/t).
- 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.

4 Origen de los residuos radiactivos

Los residuos radiactivos se generan en las siguientes actividades:

1) *Producción de energía eléctrica de origen nuclear.* Se incluyen los residuos generados en todas las etapas por las que pasa el combustible nuclear hasta ser usado en los reactores nucleares, los residuos de funcionamiento de las centrales nucleares y los residuos generados en la gestión del combustible gastado.

2) *Aplicaciones de los radisótopos en la medicina, industria e investigación.*

3) *Clausura de instalaciones nucleares y radiactivas.* 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.

4.1 Residuos del ciclo de producción de energía eléctrica

Según su origen se pueden distinguir tres tipos:

a) *Residuos de la primera fase del ciclo del combustible.* Comprende los residuos generados en las etapas de minería del uranio, fabricación de concentrados, conversión a hexafluoruro de uranio y enriquecimiento del uranio y fabricación de los elementos combustibles.

b) *Residuos generados en el funcionamiento de las centrales nucleares*

c) *Residuos de la segunda fase del ciclo del combustible*

Dependiendo de la estrategia de gestión del combustible gastado, tendremos residuos generados en el reproceso del combustible (ciclo cerrado), o bien en caso de ciclo abierto, el propio combustible gastado se considera como residuo (en España los ciclos de energía eléctrica son ciclos abiertos).

a) Residuos de la primera fase del ciclo del combustible nuclear

Estériles de minería de uranio

En los yacimientos de mineral de uranio (U_3O_8), los residuos sólidos están constituidos por partes de la roca extraída, con tan bajo contenido en uranio que no es económico su aprovechamiento. Para evitar riesgos biológicos, estos estériles se apilan en áreas de la propia mina de forma tal que su lixiviación y erosión por los agentes atmosféricos sea mínima.

Fabricación de concentrados

En la fabricación de concentrados las pulpas de los rechazos del mineral de las que se ha separado el máximo posible de uranio (estériles de planta), se apilan en diques, generalmente en las inmediaciones de la fábrica de concentrados.

Origen, gestión y clasificación de residuos radiactivos

Desde el punto de vista radiactivo estos estériles sólo contienen radionuclidos naturales, principalmente derivados del decaimiento del U-238, siendo los de vida superior a un año el ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra y ^{210}Pb .

El agua de infiltración a través de los diques conteniendo ^{226}Ra y ^{230}Th es recogida por una red de drenaje y, si es necesario, tratada antes de su vertido.

Las emisiones del gas radón (^{222}Rn) a la atmósfera, y la dispersión de pequeñas partículas por el viento se evitan cubriendo los diques de estériles con una capa de tierra o de asfalto.

Así pues, aunque los subproductos que se originan en la concentración del uranio son de muy baja actividad específica y de origen natural, han de ser tratados desde el punto de vista de protección radiológica, debido a que los isótopos contenidos han pasado de un medio geológico natural, que los ha retenido durante grandes períodos de tiempo, a un nuevo emplazamiento donde son almacenados y apilados en superficie.

Conversión a hexafluoruro y enriquecimiento del uranio

La conversión del concentrado de U_3O_8 en UF_6 (volátil), y su enriquecimiento, generan pequeñas cantidades de residuos, siendo los de mayor entidad las colas de uranio empobrecido en forma de UF_6 , que no suele ser tratado como residuo, pero que por su toxicidad química es aconsejable su reconversión final a óxido de uranio (UO_2) que es el paso siguiente en el proceso de fabricación del combustible.

En los procesos de descontaminación y operaciones auxiliares, también se generan algunos residuos líquidos. Éstos se descargan en unos estanques de retención, para su posterior tratamiento, con el fin de recuperar el uranio. Este tratamiento de los residuos líquidos da lugar a barros con pequeñas cantidades de metales precipitados, no necesitando almacenamiento.

Fabricación de elementos combustibles

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

Los residuos líquidos se originan en el sistema de tratamiento de gases en la conversión del UF_6 a polvo de UO_2 . También se generan en la descontaminación de equipos y personal, laboratorios, etc.

Se estima que del total de UO_2 procesado en la fabricación desde la llegada del polvo a la fábrica de combustible, hasta que son introducidas las pastillas cerámicas en las vainas, alrededor del 0,1% en peso, se pierde en forma de residuos, que son finalmente almacenados en bidones metálicos, sin necesidad de blindaje adicional.

b) Residuos generados en el funcionamiento de las centrales nucleares

La producción de residuos radiactivos en una central nuclear tiene su origen en el proceso de fisión del combustible que se produce en el reactor. En este proceso se originan productos de fisión que contienen isótopos radiactivos de diferentes elementos y neutrones libres.

La experiencia de funcionamiento de los reactores de agua ligera, ha mostrado que una pequeña fracción de los productos de fisión producidos 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.

Origen, gestión y clasificación de residuos radiactivos

También aparecen productos de activación radiactivos originados por bombardeo neutrónico de los materiales estructurales de los elementos combustibles y de las impurezas del refrigerante primario del reactor, así como transuránidos de vida larga por procesos de captura neutrónica.

Entre los residuos radiactivos de operación, se incluyen los equipos y dispositivos que son utilizados para la purificación y limpieza de los circuitos de refrigeración. Los isótopos radiactivos quedan finalmente incorporados o acumulados en forma sólida en resinas de intercambio iónico, o en filtros, así como en forma de concentrados de evaporación, con el objeto de disminuir el volumen de los residuos líquidos que son acondicionados en matrices sólidas. Estos residuos son clasificados como de *baja y media actividad*.

Para una central de agua ligera, se estima que el volumen de residuos generado por Gw/año de operación, es de 150 m³, una vez acondicionados.

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

c) Residuos de la segunda fase del ciclo del combustible

El combustible nuclear, 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 líneas básicas de actuación:

- Una de las opciones es proceder, después de un período indefinido de almacenamiento temporal (bien en piscinas, bien en contenedores en seco), al acondicionamiento y encapsulado del combustible para seguidamente almacenarlo de forma definitiva en una formación geológica profunda. Esta opción se denomina *ciclo abierto*.
- Otra opción básica es proceder, después de un período de almacenamiento temporal, al reproceso del combustible gastado con objeto de separar el uranio y el plutonio del resto de componentes para su utilización posterior en un nuevo proceso de fisión nuclear. Esta opción se denomina *ciclo cerrado*.
- Otra tercera opción básica, en estudio, es la del *ciclo cerrado avanzado* que incluye la separación del uranio y el plutonio de los actínidos y productos de fisión. El uranio y el plutonio se reprocessan para su posterior utilización y los actínidos y productos de fisión se someten a un proceso de transmutación para disminuir su actividad.

La primera opción implica que todo el combustible gastado es considerado como residuo, mientras que en la segunda, una vez retirados el uranio y el plutonio, los residuos resultantes son acondicionados mediante vitrificación para su posterior manejo y almacenamiento. La tercera opción, en estudio, contempla la transmutación de los residuos resultantes para disminuir su actividad.

Ciclo abierto: el combustible gastado como residuo

Cuando se toma la decisión de planificar la energía nuclear en ciclo abierto, el combustible gastado debe gestionarse como un residuo sólido de alta actividad.

El combustible quemado en las centrales nucleares se traslada a las piscinas situadas en las propias centrales, donde se enfría. Dado que la capacidad de estas piscinas es limitada, es

Origen, gestión y clasificación de residuos radiactivos

necesario el paso del combustible gastado por un almacenamiento intermedio, donde su radiactividad y, consecuentemente, su calor residual, decaiga hasta niveles aceptables para el almacenamiento definitivo.

Existen dos técnicas utilizadas para el almacenamiento intermedio del combustible gastado: el almacenamiento en piscinas y el almacenamiento en seco (bóvedas, contenedores metálicos o de hormigón, etc.).

En el almacenamiento en piscinas, el agua se contamina con productos de corrosión activados y productos de fisión escapados de elementos defectuosos. El mantenimiento de la calidad del agua da lugar a la aparición de residuos tales como filtros y cambiadores de iones. Otros residuos generados son los filtros de ventilación y los absorbentes de yodo.

Ciclo cerrado: reproceso del combustible gastado

En las plantas de reelaboración se generan residuos sólidos, líquidos y gaseosos con características radiactivas muy diferentes. Desde este punto de vista, cabe diferenciar las siguientes corrientes:

- *Residuos sólidos de alta actividad constituidos por los componentes estructurales de los elementos combustibles*, tales como cabezas, vainas, espaciadores, muelles, etc. Contienen principalmente productos de activación y una pequeña porción de productos de fisión y transuránidos. Después de un almacenamiento temporal para decaimiento, se compactan e inmovilizan en matrices sólidas.
- *Residuos líquidos de alta actividad procedentes del primer ciclo de extracción por disolución del uranio y plutonio*. Estos residuos contienen aproximadamente el 99,5% de los productos de fisión del combustible, casi la totalidad de los actínidos (transuránidos) y el uranio y el plutonio no recuperados. Después de concentrados por evaporación y de un tiempo de decaimiento en depósitos de diseño especial, estos residuos se inmovilizan en matrices de vidrio, confinándose en contenedores de acero inoxidable que se cierran por soldadura. Han de almacenarse unas decenas de años antes de enviarlos al almacenamiento definitivo.
- *Residuos sólidos de actividad baja e intermedia*, entre los que hay que distinguir los que contienen radionucleidos de larga vida (emisores alfa), por encima y por debajo de un determinado nivel. Proceden del tratamiento de corrientes líquidas y gaseosas contaminadas que aparecen en los procesos químicos a que se somete el combustible y en el mantenimiento de la instalación.

Están constituidos, principalmente, por concentrados de evaporación, resinas de intercambio iónico, filtros para gases, filtros de ventilación gastados, equipos contaminados, etc., que se inmovilizan mediante matrices sólidas o mediante conglomerados hidráulicos. Todos ellos se introducen en contenedores, con o sin blindaje.

- *Residuos gaseosos* constituidos fundamentalmente por los gases nobles de fisión, xenón y kriptón, que se desprenden junto con el tritio, yodo, carbono, etc. al cortar y disolver los elementos combustibles. En tratamientos sucesivos se absorben todos los gases, excepto los gases nobles citados, dando lugar a residuos sólidos de media y baja actividad. Por su parte, el xenón y el kriptón se retienen por procedimientos criogénicos o por absorbentes específicos, almacenándose posteriormente en recipientes metálicos a presión.

Origen, gestión y clasificación de residuos radiactivos

Ciclo cerrado avanzado: separación y transmutación de radionucleidos de vida larga

En la opción del ciclo cerrado, si de los residuos líquidos de alta actividad que aparecen en el proceso, se separan los actínidos minoritarios (Np, Am y Cu), se puede reducir notablemente el inventario radiotóxico de los mismos antes de su vitrificación. Además de los actínidos minoritarios, pueden separarse algunos productos de fisión de vida larga de alta radiotoxicidad. En este proceso de separación, además de los actínidos y los productos de fisión y del uranio y plutonio obtenidos, se generan residuos radiactivos de baja y media actividad.

Posteriormente los actínidos minoritarios y productos de fisión de vida larga separados deben ser transmutados en sistemas adecuados para su transformación en radionucleidos de vida corta o estables. La transmutación se puede realizar mediante fisión o por captura neutrónica, necesitándose un flujo elevado de neutrones de espectro energético adecuado. Adicionalmente, la transmutación requiere la fabricación de combustible o “blancos”, a partir de las diversas corrientes separadas en los procesos anteriores y disponer de instalaciones nucleares específicas donde poder efectuar el proceso transmutador de forma óptima para los diversos blancos preparados. Los sistemas propuestos inicialmente para llevar a cabo la transmutación han sido los reactores nucleares, térmicos y rápidos, aunque en la actualidad están cobrando mucho interés los sistemas subcríticos accionados por aceleradores de partículas.

En este proceso de transmutación cabe esperar la producción de residuos, tanto de baja y media como de alta actividad, que deben ser almacenados.

En resumen, las operaciones conjuntas de separación y transmutación pueden reducir significativamente el inventario radiotóxico a largo plazo de los residuos de alta actividad.

4.2 Residuos generados en la medicina, industria e investigación

Distinguimos 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.

- 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 (^{99}Tc , ^{201}Tl , ^{67}Ga , ^{131}I , ^{125}I) que permiten el estudio de órganos como el corazón, glándula tiroides, hígado y glándulas hormonales, o bien para el tratamiento de enfermedades del tiroides (^{131}I) o de la sangre (^{32}P), o para investigación (^3H ó ^{14}C).

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 ^{60}Co . 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.

- 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 radiación gamma para ensayos no destructivos en construcciones metálicas (gammagrafía) y en esterilización industrial. En estos casos, se necesitan fuentes de una actividad mayor que en los anteriores.

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

- En los centros de *investigación nuclear*, los residuos proceden de reactores de enseñanza e investigación, celdas calientes, metalúrgicas (instalaciones auxiliares de investigación donde se realizan ensayos, manipulaciones, pruebas, etc.) plantas piloto y servicios de descontaminación. Estos residuos son de naturaleza física, química y radiactiva muy variable debido a la gran diversidad de isótopos utilizados y la amplia gama de procesos en que son aplicados.

4.3 Clausura de instalaciones nucleares y radiactivas

Cuando se da por finalizada la vida útil de las instalaciones nucleares y radiactivas, se procede a cerrarlas con carácter permanente y comienza la operación de clausura.

- En las instalaciones del ciclo del combustible previas al reactor, los residuos están contaminados con radionucleidos naturales (uranio y sus productos de decaimiento) siendo los estériles de minería y de fabricación de concentrados los de mayor volumen. Éstos se deben estabilizar para evitar riesgos radiológicos.
- Si después de la vida útil de una central, se opta por su desmantelamiento total (lo que implica la retirada, de 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 un futuro uso) se originan los siguientes tipos de residuos radiactivos:
 - Vasijas del reactor y componentes existentes en el interior del blindaje biológico. Son residuos de gran tamaño, altamente activados y contaminados, que requieren, para facilitar su manejo y transporte, reducción de tamaño en instalaciones blindadas de alta integridad con el consiguiente control ambiental.
 - Componentes externos al blindaje biológico (cambiadores de calor, bombas de circulación, tuberías, etc.). Aunque están menos contaminados que los anteriores, su gestión es semejante.
 - Hormigón activado y contaminado. Su demolición da lugar a la formación de aerosoles radiactivos a retener mediante filtros. La mayor parte de la radiactividad se encuentra en las capas del hormigón más próximas a las zonas radiactivas, por lo que, cuando es posible, se separan del resto de las zonas sustancialmente inactivas, que son estructuras de tipo convencional. Hay que tener en cuenta que una gran parte de una central nuclear (alrededor del 80%) no es radiactiva, y, tras exhaustivos controles de seguridad y medidas radiológicas, establecidos por los Organismos Nacionales y Supranacionales, se puede proceder a su derribo, reutilización o evacuación sin restricción alguna.
 - Sistemas auxiliares y estructuras de edificios. Son materiales ligeramente contaminados, susceptibles de descontaminación.

Origen, gestión y clasificación de residuos radiactivos

- En todas las operaciones de desmantelamiento, se generan residuos secundarios (líquidos de descontaminación, filtros de gases, etc.) que requieren un tratamiento similar a los residuos del funcionamiento del reactor.
- En el desmantelamiento de las instalaciones de etapas posteriores al reactor, se obtienen residuos contaminados con productos de fisión y trazas de transuránidos. Presentan un alto nivel de radiactividad las celdas calientes donde se efectúa el proceso de reelaboración del combustible, así como las piscinas de almacenamiento.

En el capítulo siguiente se abordan con mayor precisión los aspectos de la clausura de las instalaciones nucleares y radiactivas.

5 Producción de residuos en España

5.1 Situación actual

Los generadores de residuos radiactivos en España pueden clasificarse esquemáticamente en: instalaciones nucleares, fábrica de elementos combustibles (Juzbado), Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) y pequeños productores (hospitales, centros de investigación, industrias, etc.)

Los residuos de baja y media actividad producidos en las centrales nucleares, fábrica de elementos combustibles y el CIEMAT, son acondicionados en sus propias instalaciones, mientras que los de pequeños productores son acondicionados en las instalaciones de almacenamiento de Residuos de Baja y Media Actividad de "El Cabril" (Córdoba).

Los únicos generadores de residuos radiactivos de alta actividad son las centrales nucleares, al considerarse como tal el combustible gastado de sus reactores o los productos resultantes del reproceso de ese combustible. Los elementos combustibles gastados son almacenados temporalmente en las piscinas de que disponen a tal efecto en las propias centrales nucleares. En la [tabla 5.1](#) se muestra cuál es el estado al 31 de diciembre de 1998, de los almacenes de residuos existentes en España.

5.2 Previsiones de generación

Para hacer una estimación de las cantidades de residuos que se van a generar en el futuro, además de los productores anteriormente citados, hay que considerar otras actividades o instalaciones no existentes en el momento actual (almacenamiento intermedio de combustible gastado, desmantelamiento de instalaciones, etc.)

Tabla 5.1
Residuos radiactivos y combustible gastado
almacenados a 31/12/98

Instalación	Tipo de residuo					
	RBMA acondicionados		Combustible gastado			
	m ³	Grado de ocupación % (3)	TU	Grado de ocupación (4)	Fecha de saturación prevista (4)	
José Cabrera	1.865	64	55	43		
Garoña	1.221	79	229	58		
Centrales Nucleares LWR (1)	Almaraz 1	1.957	36	318	42	2.020
	Almaraz 2			314	41	2.022
	Ascó 1	1.002	52	297	51	2.013
	Ascó 2			258	44	2.016
	Cofrentes	2.148	49	364	50	2.014
	Vandellós 2	162	6	210	32	2.021
	Trillo	348	15	204	69	2.003
	Juzbado (ENUSA)	453	61			
Cabrill (2)	16.279	28				
TOTAL	25.453		2.249			

RBMA = Residuos de Baja y Media Actividad

(1) No se considera la central de Vandellós I, de tipo grafito-gas, en fase de desmantelamiento. El combustible gastado se ha enviado a Francia para reprocesar y los RBMA de operación (2.000m³) se almacenan en El Cabril, excepto algunas corrientes (grafitos, estribos, etc.) que de momento se mantienen en la central.

(2) El volumen almacenado en El Cabril es la suma de los residuos existentes en los almacenes temporales (4.471m³) y los depositados en las celdas de almacenamiento definitivo (11.808 m³). Estos últimos corresponden a 2.478 contenedores de hormigón, cuyo volumen unitario es 11,14 m³, que suponen un grado de ocupación del 28% respecto a los 8.960 contenedores totales, que es la capacidad actual de almacenamiento en celdas de la Instalación.

(3) Grado de ocupación de los almacenes temporales de residuos que disponen estas instalaciones, hasta su retirada por ENRESA, considerando, en el caso de las CC.NN., las posibles pérdidas de disponibilidad de huecos en sus almacenes, por albergarse en ellos determinados materiales distintos de los bultos de RBMA.

(4) Grado de ocupación de las piscinas de las CC.NN. y fechas de saturación previstas, considerando una reserva de capacidad igual a un núcleo, así como el cambio de bastidores ya efectuado en todas ellas. La ausencia de fechas para José Cabrera y Santa María de Garoña, indica que sus piscinas no se saturarán durante la vida útil supuesta para las mismas (40 años).

Origen, gestión y clasificación de residuos radiactivos

Como utilizar en todos los casos, las hipótesis de cálculo disponibles que sean más fiables. Pero quizás, el factor más importante a tener en cuenta a la hora de estas estimaciones es el período de vida útil para el parque actual de instalaciones de generación nuclear.

En la [tabla 5.2](#) se resumen las cantidades totales de residuos ya producidos y a producir, tanto de baja y media actividad, como de combustible gastado, que será necesario gestionar en España.

Tabla 5.2
Cantidades totales estimadas de residuos radiactivos y combustible gastado a gestionar en España

Residuos de baja y media actividad acondicionados	(m ³)
Fabricación de Elementos Combustibles	1.400
Operación de Centrales Nucleares	43.800
Actividades Investigación y Aplicación Radisótopos	8.300
Desmantelamiento de Centrales Nucleares	135.100
Desmantelamiento de Otras Instalaciones (1)	1.100
Otros (2)	3.900
TOTAL (m³)	193.600
Combustible gastado y residuos de alta actividad (3)	(m ³)
Combustible gastado (tU)	6.750
Combustible gastado (nº elementos) (4)	19.680
Vitrificados Vandellós I (m ³)	80

(1) Incluye la fábrica de elementos combustibles, la futura planta de encapsulado y el desmantelamiento de instalaciones en el CIEMAT

(2) Incluye como más significativos la operación de las instalaciones de almacenamiento, así como una previsión de chatarras contaminadas y otros residuos derivados de incidentes de contaminación.

(3) El volumen total equivalente, en base al tipo de cápsula supuesto para su almacenamiento definitivo, sería de unos 10.000 m³. A dicha cantidad habría que añadir, en una aproximación conservadora, los residuos tecnológicos derivados del desmantelamiento de las centrales nucleares y otros que, por sus características, no serían susceptibles de almacenarse junto con los RBMA, como los de media actividad procedentes del reproceso de C.N. Vandellós I, algunas fuentes, etc. También habría que tener en cuenta las pequeñas cantidades de materiales fisionables recuperados en el proceso del combustible de C.N. Santa María de Garoña enviado al Reino Unido con anterioridad al año 1983. El volumen total estimado de estos otros residuos, a efectos de cálculo, se ha supuesto en unos 5.000m³.

(4) 59% elementos combustibles tipo PWR y 41% tipo BWR. En relación con los estériles de minería y fabricación de concentrados de uranio, la [tabla 5.3](#) presenta los valores acumulados de los estériles producidos al 31/12/98, junto con una estimación de las cantidades anuales esperadas para las instalaciones de Saélices el Chico, cuya gestión está previsto que sea realizada por los actuales explotadores.

Tabla 5.3
Estériles de minería y de producción de concentrados de uranio (31/12/98)

	Instalación		Estériles de minería	Estériles de planta		
				Procedente de eras	Procedente de lodos	Procedentes de clasificación
				Cantidad (10 ⁶ t)		
Situación actual (31-12-98)	Saélices el Chico	P. Elefante (1)	47,8	7,2	0,31	—
		P. Quercus (2)	15,9	0,84	0,68	1,92
	Andújar	La Haba P. Lobo-G (3)	6,3	—	0,28	—
		F.U.A. (4)	—	—	1,20	—
Producción prevista	Saélices el Chico	Acumulado 1999-2000	6,11	0,25	0,18	0,73
		Año 2001 (5)	—	—	0,01	—

(1) Paralizadas las actividades productivas en junio-93. En fase de Parada Definitiva.

(2) En la fase de operación.

(3) En fase de Vigilancia y Control, tras finalizar las operaciones de Clausura en 1997.

(4) En fase de Vigilancia y Mantenimiento, tras la finalización en 1994 del proyecto de Clausura.

(5) Parada de las actividades extractivas y de tratamiento de minerales y comienzo de las operaciones de Clausura, previstas hasta el año 2008. Los lodos generados a partir del 2001 son debidos a la producción residual de concentrados (descontaminación de aguas) que se mantendrá durante el período de clausura.

6 Opinión personal

La generación de residuos radiactivos hoy por hoy es inevitable estoy de acuerdo en que son perjudiciales para el medio ambiente, incluso para los seres vivos, pero tenemos que ser coherentes las centrales nucleares generan más del 55 % de electricidad útil de España, si estas centrales fueran cerradas en España y en casi todos los países donde hay de estas centrales se produciría una decaída notable del abastecimiento eléctrico, lo cual indica que no habrá electricidad suficiente para los ciudadanos de un país.

No obstante cabe destacar que tenemos varios tipos de residuos los de baja y media actividad y los de alta actividad. Los cuales tienen mayor o menor duración de vida, normalmente los residuos obtenidos no suelen ser de larga duración pero todo ello depende de que industria provengan.

Hoy en día los residuos nucleares pueden provenir de las centrales nucleares, de la industria y de la investigación médica.

Una central nuclear obtiene su energía por la fisión del átomo de uranio, esto quiere decir que una central de este tipo no envía a la atmósfera óxidos de carbono, de azufre, de nitrógeno, ni otros productos de combustión tales como las cenizas, por lo que los argumentos de los ecologistas no tienen fundamento, si siguiéramos su doctrina también deberíamos de acabar con el petróleo pues los coches despiden gases contaminantes y que yo sepa ellos los utilizan aunque en el caso de los coches gracias a dios se ha investigado y se ha llegado a desarrollar el motor de hidrógeno, motor que saldrá a la venta dentro de 2 años ya en precios razonables y que sin ninguna duda revolucionara el mercado de la energía, se pueden estar preguntando bueno y a que viene eso de los coches ahora, pues bien yo quiero hacer referencia al agujero de la capa de ozono agujero según el cual la utilización de la energía nuclear hace más grande, pues sin duda estas personas lo que no saben es que este agujero siempre ha estado hay y que hay estudios que lo demuestran, estudios los cuales ratifican que el tamaño del agujero no radica en la contaminación si no en factores naturales desconocidos.

De aquí se puede sacar un tema muy interesante el cual daría mucho de que hablar “Los ecologistas protestan utilizando la razón o no”, bueno creo que sería un tema en cual ambas partes ecologistas y los que están a favor de la energía nuclear tendrían razón.

Bueno creo que la utilización de productos radiactivos esta mas que justificado no obstante creo que el problema de que haya gente que se oponga a la utilización de este tipo de energía radica en la educación, creo que sería favorable para el desarrollo de la energía en si el concienciar a los niños cuando son pequeños que hay energías que aunque pueden generar residuos perjudiciales para el ser humano son muy beneficiosas no obstante también habría que decirles que solo son perjudiciales si se esta expuesto a ellos durante un período de tiempo largo y sin ninguna protección.

A mí personalmente me parece muy bien cuando hablan de las energías renovables que no contaminan, pero hay que ser consecuentes y no negar lo evidente las energías renovables hoy día no están desarrolladas lo suficiente como para producir la misma energía que produce una central nuclear, si es cierto que en determinados lugares si es rentable poner estos sistemas pero como todos sabemos son muy pocos los lugares adecuados para poner esos sistemas. Por ello yo apoyo incondicionalmente la utilización de la energía nuclear aunque de ella se deriven residuos radiactivos, los cuales son tratados y almacenados por empresas competentes como ENRESA, empresas que para mí tienen un sistema bastante bueno para su almacenaje y digo bastante bueno porque como todos sabemos todo se puede mejorar en esta vida, y ya sea tarde o temprano todo es mejorado.

Origen, gestión y clasificación de residuos radiactivos

Conclusión: la energía nuclear es vital para la producción de energía eléctrica, y que por su gran cantidad de productividad de energía útil es aconsejable cargar con los residuos que esta puede generar.

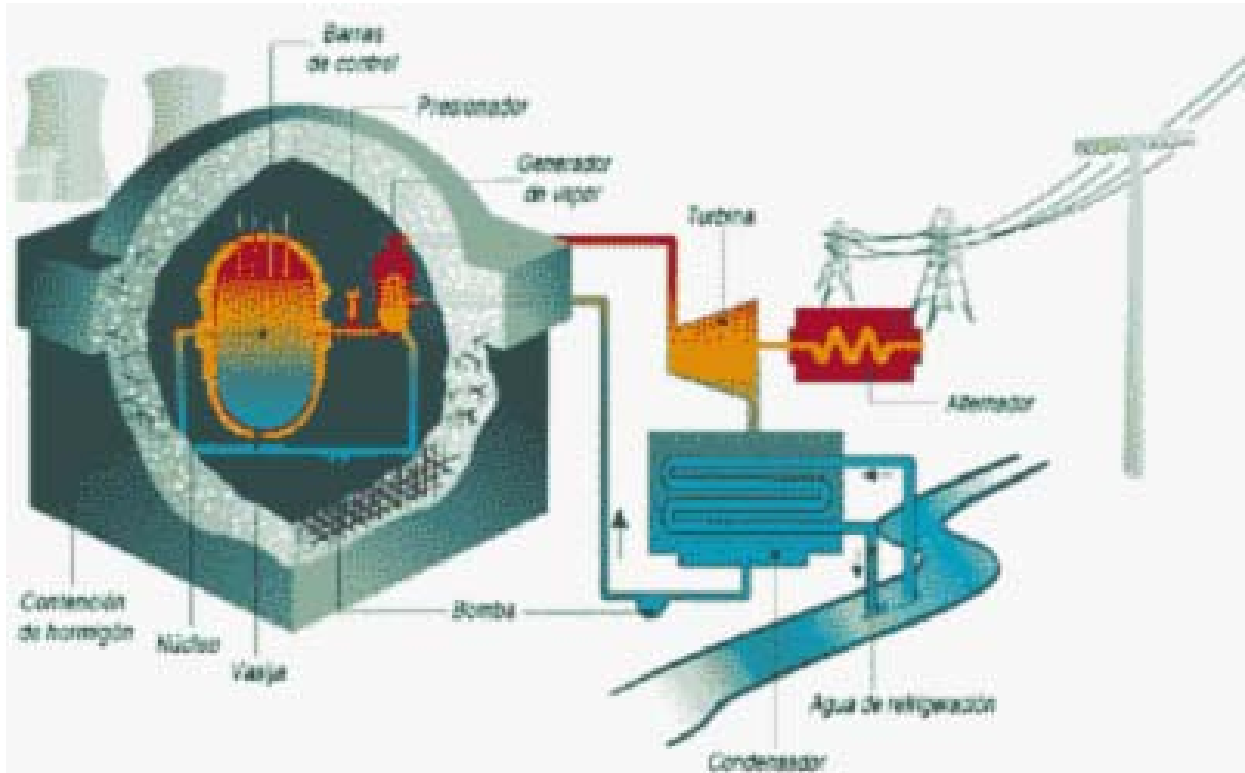
7 Tragedias en Almacenamientos

- En septiembre de 1987, los habitantes de Goiania, una ciudad brasileña, encontraron una máquina desconocida abandonada en un vertedero. La abrieron y hallaron en su interior un polvillo azul. La tradición de la pintura corporal debió marcar el comportamiento de los brasileños, pues muchos de ellos se embadurnaron con él. Un mes después se empezaron a producir las primeras muertes. Aquel polvillo era Cesio 137, un material altamente radiactivo que debería haber estado almacenado bajo estrecha vigilancia. El Gobierno brasileño se vio obligado a poner a toda la población bajo control radiológico. Casi 300 personas se vieron afectadas. Los que murieron a causa de la radiación fueron enterrados en ataúdes de plomo de 608 kilos bajo varias capas de cemento.
- Al menos tres cementerios de residuos de baja actividad de los Estados Unidos y el de Carlsbad (Nuevo México) para desechos altamente radioactivos han sufrido fugas y problemas geológicos.
- En los almacenes radioactivos rusos también se han producido accidentes muy graves. El vertido de residuos al río Tetcha, durante el periodo 1948-1951, supuso la contaminación de 124.000 personas, y la evacuación de otras 7.500, que ocupaban suelos altamente contaminados.
- El accidente más grave se produjo el 29 de septiembre de 1957, en la planta de almacenamiento de Kishtim, cuando al explotar un contenedor con 160 m³ de residuos, contaminó con unos 2 millones de curios una superficie de 1.000 km². El accidente obligó a la evacuación inmediata de 10.700 personas. El secreto oficial ha impedido conocer el número de víctimas del accidente (16). Los materiales radiactivos acumulados en el lago Karachai se dispersaron con la sequía de 1967; como consecuencia, 1.800 km² resultaron contaminados. Todavía en 1991, permanecer una hora en esta zona suponía recibir una dosis radiactiva mortal.
- El 20 de abril de 1973 nadie prestó ninguna atención particular al tanque 106 T en el área 200 Oeste de la Reserva de Hanford (EE.UU.). Construido con hormigón reforzado con un alineamiento de acero al carbono en su fondo y en los lados, es cilíndrico de forma, de unos 23 metros de diámetro y 10 de profundo y está hundido en el suelo con unos dos metros de tierra sobre su techo en forma de cúpula. En abril de 1973, el tanque 106 T contenía residuos radiactivos de alta actividad procedentes de la planta de reprocesado de combustible Purex con alrededor de 1,5 millones de litros, principalmente en forma líquida. Entre el 20 de abril y el 8 de junio, el tanque 106 T dejó escapar al suelo, más o menos 435.000 litros de líquido absolutamente radiactivo conteniendo aproximadamente 40.000 curios de cesio-137, 14.000 curios de estroncio-90 y 4 curios de plutonio. La fuga era la decimoprimer registrada en Hanford, no sería la última.
- En noviembre de 1978 el biólogo disidente soviético Jaurés Medvedev informó de una supuesta catástrofe producida en la región soviética de Cheliabinsk, en los Urales del Sur, como consecuencia de haberse producido criticidad en una planta de tratamiento o almacenamiento de residuos radiactivos. La catástrofe habría tenido lugar a finales de 1957 o principios de 1958, habría producido la muerte de centenares de personas y habría contaminado una extensa área. Informes de la CIA confirmaron, sin mayores precisiones, esta catástrofe, sabiéndose también que los Estados Unidos no tuvieron interés en señalarla, en su día, para no alertar contra su propio programa nuclear.

Origen, gestión y clasificación de residuos radiactivos

- A comienzos de abril de 1993 se desencadena un grave accidente en el depósito de residuos radiactivos de Tomsk. El 18 de julio del mismo año se produjo otra fuga radiactiva en la planta de Tcheliabinsk, que también procesa residuos radiactivos; el 2 de agosto, otro accidente en el almacén de Tcheliabinsk 40. La lista de accidentes en depósitos de residuos radiactivos se incrementa peligrosamente. Las estimaciones de sus consecuencias son sobrecogedoras: 450.000 personas contaminadas, de las cuales más de 50.000 habrían recibido dosis considerables...

8 Esquemas y fotos



Esquema de reactor de agua a presión



Sistema de compactación de residuos radiactivos sólidos

Origen, gestión y clasificación de residuos radiactivos



Instalación para el almacenamiento interino de bultos de residuos radiactivos



Transporte de residuos radiactivos acondicionados y contenedor de hormigón para transporte.



Origen, gestión y clasificación de residuos radiactivos



El Cabril





Sistema de semicontención para la disposición de residuos radiactivos sólidos de baja actividad.

9 Bibliografía

Enciclopedia Larousse

Enciclopedia Oxford

Enciclopedia Microsoft Encarta 2002

<http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l11020.htm>

<http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l11022.htm>

<http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/s15002.htm>

<http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l28097.htm>

<http://www.csn.es>

<http://www.ciemat.es/proyectos/pdfnresiduos.html>

<http://www.nodo50.org/panc/Res.htm>

<http://www.tecnun.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/13Residu/150ResRadi.htm>

<http://www.terralia.com/revista15/pagina35.htm>

<http://www.mityc.es/Nuclear/Seccion/Residuos/Plan/>

http://caebis.cnea.gov.ar/IdEN/CONOC_LA_ENERGIA_NUC/C7/Residuos.htm