

■ ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El fenómeno de la radiactividad fue descubierto en 1896 por el científico francés **Henri Becquerel**, al observar que unas placas fotográficas guardadas en un cajón junto con sales de uranio se habían velado, aparentemente, por efecto de las radiaciones emitidas por dichas sales. El año anterior, el físico alemán **Wilhelm Röntgen** había descubierto los Rayos X cuando estudiaba los rayos catódicos, hecho que le valió el Premio Nobel de Física en 1901.

En 1898, el matrimonio **Pierre y Marie Curie**, profundizando en las investigaciones del fenómeno descubierto por Becquerel, observó que el torio emitía radiaciones similares a las del uranio y encontró nuevos elementos radiactivos a los que denominó polonio y radio. Todos estos hechos supusieron una convulsión mundial en el campo de la Física.



Henri BECQUEREL



Pierre y Marie CURIE

En reconocimiento a sus investigaciones los Curie, junto con Becquerel, fueron premiados con el Nobel de Física en 1903.

En esa misma época, **Ernest Rutherford** consiguió identificar los tres tipos de radiaciones y su poder de penetración, denominándolas alfa, beta y gamma. Este físico británico propuso también un modelo de átomo constituido por un núcleo de carga positiva alrededor del cual giran los electrones, de carga negativa.

En 1934, **Irene y Federico Joliot-Curie** descubrieron la radiactividad artificial, por lo que recibieron el Nobel de Física un año después. Sin embargo fue **Enrico Fermi**, Premio Nobel de Física en 1938, quien construyó el primer reactor nuclear, el "Chicago-1", logrando la primera reacción nuclear controlada.



Enrico FERMI



Irene y Federico JULIOT CURIE

Radiactividad

ESTRUCTURA DE LA MATERIA

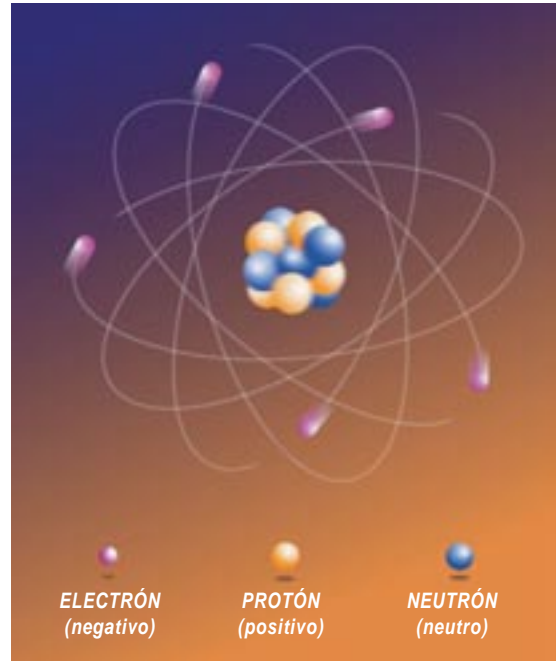
Toda materia está formada por **átomos**, que son la parte más pequeña de un elemento que conserva las mismas características que una porción mayor.

A su vez, el átomo está constituido por un **núcleo** alrededor del cual giran los **electrones**, partículas de carga eléctrica negativa. Dentro del núcleo están los **protones**, cargados positivamente y en número igual al de los electrones y los **neutrones** que no tienen carga.

Existen elementos químicos que teniendo el mismo número de protones, poseen distinta cantidad de neutrones en sus núcleos. A estas variedades se las denomina **isótopos** de dichos elementos.



Isótopos del hidrógeno



Estructura del átomo

Algunos isótopos son inestables y por ello, se transforman en otros elementos desprendiendo energía en forma de radiaciones, propiedad que conocemos como **radiactividad**. Este proceso de transformación (desintegración) puede ser espontáneo, de origen natural, o ser provocado artificialmente.

La unidad de medida en el Sistema Internacional es el **Becquerelio (Bq)**, que equivale a una desintegración por segundo.

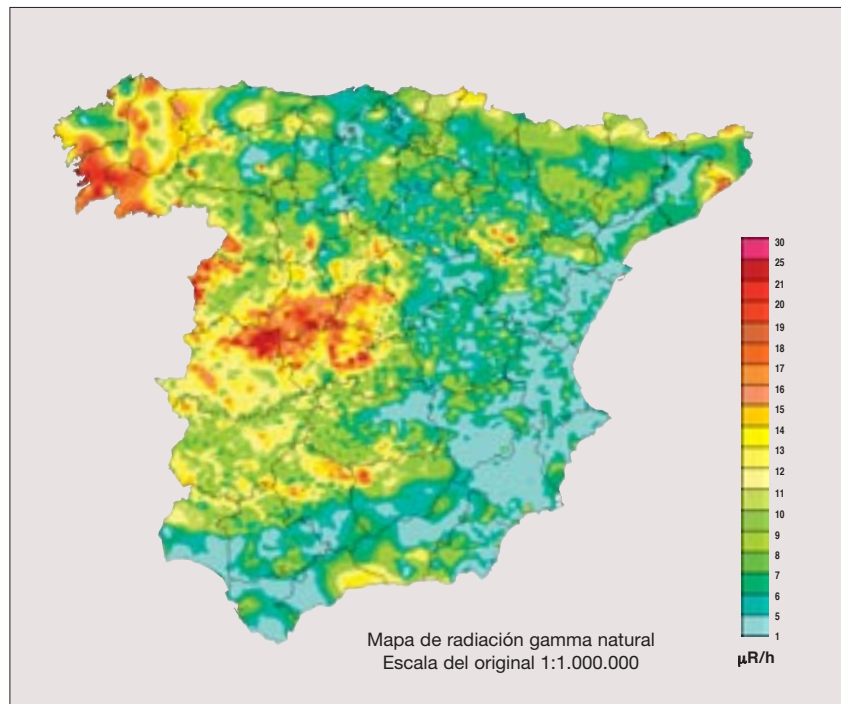
El **período de semidesintegración** es el tiempo que tiene que transcurrir para que la actividad de una sustancia radiactiva se reduzca a la mitad. (Este período puede variar de pocos segundos a miles de años).



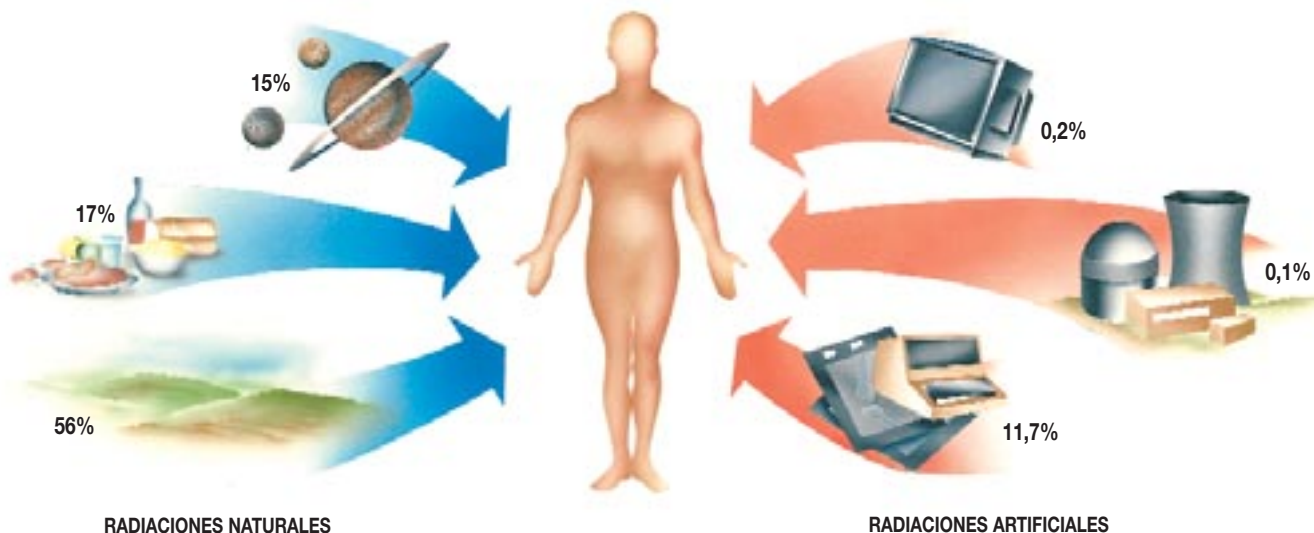
FUENTES RADIATIVAS

La **radiactividad natural** procede de la transformación de los materiales radiactivos que componen la corteza terrestre y de las radiaciones procedentes del espacio exterior, que constituyen la radiación cósmica. Esto significa que existe un **fondo radiactivo** natural desde que se creó nuestro planeta y al que estamos perfectamente adaptados; incluso nuestro propio cuerpo posee ciertos compuestos radiactivos como el potasio-40 (K_{40}) y el carbono-14 (C_{14}) y por término medio la radiactividad de nuestro cuerpo se cifra en unos 12.000 Bq.

Además existen otros elementos radiactivos de origen artificial, es decir, creados por el ser humano, para ser empleados en actividades tan diversas como la medicina, la industria o la investigación, que son el origen de la **radiactividad artificial**.



Mapa Radiológico Nacional (Realizado por ENUSA y CSN)



PORCENTAJE DE EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN

Radiactividad

TIPOS DE RADIACIONES

Dentro del espectro electromagnético, la parte de energías más altas corresponde a las **radiaciones ionizantes**, que son aquellas que modifican la estructura de la materia con la que inciden, arrancando electrones de la corteza de los átomos (fenómeno conocido como **ionización**).

Se conocen varios tipos de radiaciones ionizantes, entre ellas: la **radiación alfa (α)**, la **radiación beta (β)**, la **radiación gamma (γ)** y los **Rayos X**.

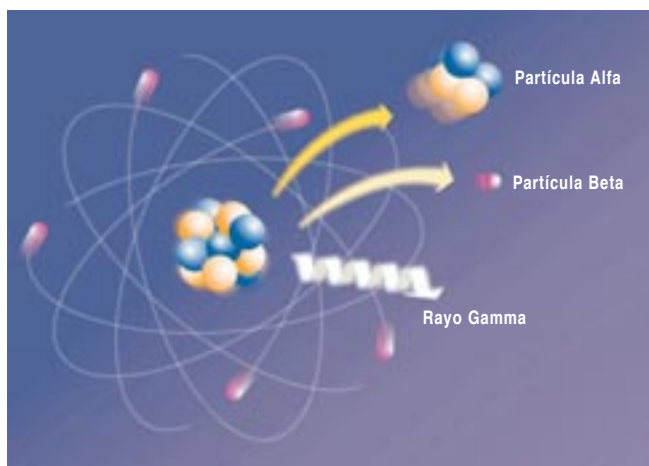


Las radiaciones alfa, beta y gamma provienen de la desintegración de los núcleos y se pueden originar de manera espontánea en la naturaleza, o ser provocadas artificialmente. Los Rayos X provienen de las transformaciones que tienen lugar en la corteza de los átomos y son de origen artificial.

La **radiación alfa** consiste en la emisión de 2 protones y 2 neutrones en una única partícula: partícula alfa.

La **radiación beta** está formada por electrones, que aparecen como consecuencia de la desintegración de un neutrón.

La **radiación gamma** está compuesta por fotones, que carecen de carga y de masa y proceden del ajuste de un núcleo excitado.



Radiaciones alfa, beta, gamma

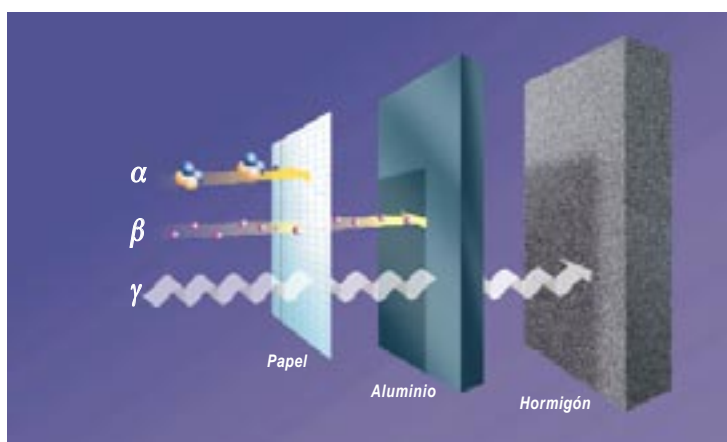
PENETRACIÓN DE LAS RADIACIONES

Hemos dicho que las radiaciones afectan a la materia al incidir con ella. Pero su capacidad de penetración varía en función del tipo de radiación.

En el caso de la radiación **alfa**, al tener una masa elevada, su interacción con los átomos es prácticamente inmediata, siendo sólo capaz de atravesar unas centésimas de milímetro en la materia. Se puede detener con una simple hoja de papel.

La radiación **beta**, al tener menos masa, aumenta su poder de penetración, aunque éste se limita a unos milímetros. Una lámina de aluminio de pequeño espesor puede frenarla.

La radiación **gamma** y los **Rayos X**, al consistir en la emisión de fotones, o lo que es lo mismo, ondas electromagnéticas que no tienen ni masa ni carga, su capacidad de penetración en la materia es alta. Se pueden detener con un muro de hormigón o unos centímetros de plomo.



Poder de penetración de la radiación

■ APLICACIONES INDUSTRIALES

Desde la segunda mitad del siglo XX, el empleo de fuentes radiactivas en el campo de la industria ha experimentado un importante desarrollo, permitiendo aumentar la productividad, mejorar la calidad de los productos, desarrollar nuevos materiales, etc.

Las radiaciones ionizantes en los procesos industriales tienen aplicaciones de control y aplicaciones químicas. En el primer caso, se utilizan para comprobar la calidad de un producto o para controlar un proceso de fabricación; en el segundo, para transformar las propiedades químicas de la materia permitiendo elaborar materiales más ligeros y resistentes.

Las utilidades de las radiaciones ionizantes a partir de estos campos de aplicación, son múltiples y abarcan operaciones como:

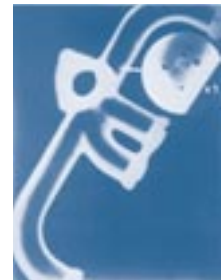
Obtención de imágenes de la estructura interna de los materiales, mediante el empleo de gammagrafías. Se utiliza, por ejemplo, para inspeccionar soldaduras.

Detección de fugas, empleando radioisótopos que, mediante su seguimiento, permiten localizar fugas en tuberías y depósitos.

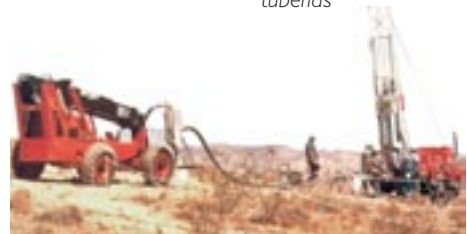
Medidas de espesores y densidades, conociendo la trayectoria seguida por un haz de ionización, se puede controlar el espesor de un material (papel, plástico, etc.).

Medidas de humedad, este método se aplica en el análisis de suelos y en la construcción de carreteras para comprobar el grado de humedad del terreno.

Medidas de niveles, usado para verificar el nivel de llenado en líquidos, por ejemplo en una planta embotelladora o para el envasado de productos.



Detección de fugas en tuberías



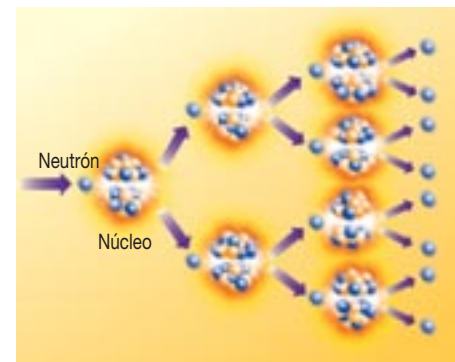
Estudios de migración de aguas subterráneas

Generación de energía eléctrica

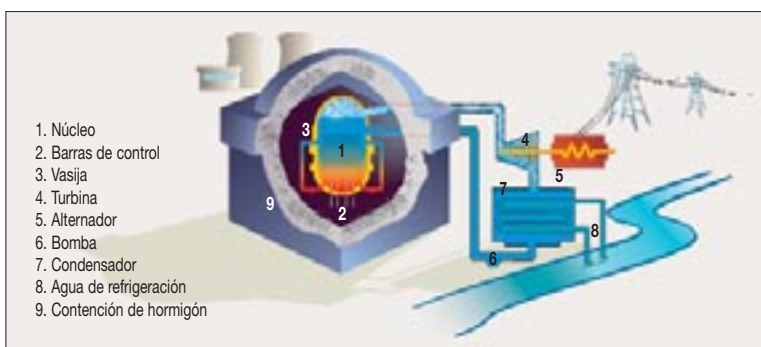
Desde que en 1942 Enrico Fermi controlara la fisión nuclear, la producción de electricidad basada en el aprovechamiento del calor que se produce en la ruptura de los átomos, es una de las principales aplicaciones de la radiactividad.

El proceso consiste en hacer chocar un neutrón con un núcleo pesado, de tal manera que se divida en dos más ligeros y al mismo tiempo libere otros neutrones que, a su vez, impacten con otros núcleos pesados, iniciándose una sucesión de rupturas de núcleos denominada **reacción en cadena**. El potencial calorífico de este proceso es altísimo, de forma que, la energía obtenida a partir de un kilogramo de uranio equivale a la obtenida con tres millones de kilogramos de carbón.

El uranio, que generalmente se encuentra en yacimientos poco profundos o superficiales, debe ser sometido a un complejo proceso industrial para poder ser utilizado en los reactores nucleares.



Esquema de una reacción en cadena



Esquema de funcionamiento de una central nuclear

DATOS a 31/12/2005	ESPAÑA	EUROPA	MUNDO
Nº de reactores en operación	9	145	441
% de energía consumida de origen nuclear	20%	35%	16%

■ APLICACIONES MÉDICAS

El uso de radiaciones ionizantes en medicina ha evolucionado progresivamente desde la primera utilización de los Rayos X, a principios del siglo XX, hasta los modernos equipos de radioterapia.

El empleo de isótopos radiactivos en medicina ha permitido lograr un mejor conocimiento de la anatomía humana y de las patologías que le afectan. Se pueden utilizar con fines diagnósticos y terapéuticos.



Radiografía de extremidad inferior

Con fines **diagnósticos** se distinguen dos técnicas consistentes en:

- Administrar al paciente sustancias radiactivas de rápida eliminación, siguiéndolas desde el exterior por medio de equipos especializados, lo que permite localizar tumores.
- Tomar muestras biológicas del paciente y analizarlas en el laboratorio.

Con fines **terapéuticos** las radiaciones ionizantes se utilizan para destruir células o tejidos malignos.

También se aplican las radiaciones en la esterilización de material quirúrgico y sanitario.

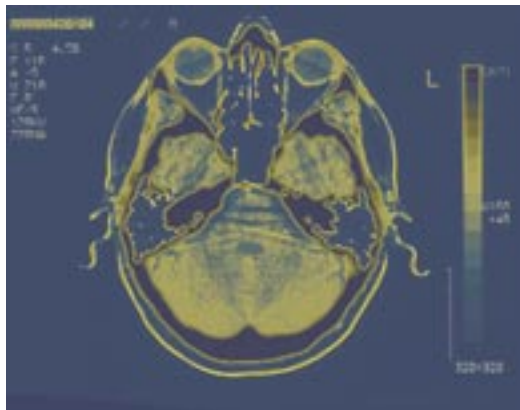


Imagen obtenida mediante tomografía axial computerizada (TAC)

■ OTRAS APLICACIONES DE LA RADIATIVIDAD

Agricultura: para obtener cultivos de elevado rendimiento, optimizar los sistemas de riego, comprobar el grado de absorción de abono por las plantas, combatir o erradicar plagas, evitar las mermas durante el almacenamiento de las cosechas, etc.

Alimentación: para esterilizar y prolongar el periodo de conservación de ciertos alimentos.

Arqueología: para la datación por medio de la presencia de isótopos radiactivos de origen natural, que permiten conocer con exactitud la antigüedad de los yacimientos y objetos de interés arqueológico.



Cráneo de oso (320.000 años de antigüedad)

Conservación de Obras de Arte: para la restauración de obras de arte y evitar procesos de degradación como los producidos por la carcoma y los hongos. También se utilizan para verificar su autenticidad, la fecha en que se realizaron, etc.

Geología: como trazadores para el estudio de la geosfera y del comportamiento de las aguas subterráneas.

Investigación: los isótopos radiactivos se emplean para ensayar en laboratorio, a pequeña escala, el comportamiento de un proceso que posteriormente podrá aplicarse a gran escala. También para la experimentación "in vitro" de prácticas que posteriormente podrán utilizarse "in vivo".



Distintivo para identificar alimentos irradiados



Estatua de madera restaurada por irradiación

La Protección Radiológica es una disciplina científica que tiene como finalidad la protección de las personas y del medio ambiente contra los riesgos derivados de la utilización de fuentes radiactivas, tanto naturales como artificiales en actividades médicas, industriales, de investigación o agrícolas.

PRINCIPIOS BÁSICOS

Los tres principios básicos elaborados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) son:

JUSTIFICACIÓN: toda exposición a las radiaciones ionizantes debe estar justificada, es decir, el beneficio que nos aporte tiene que ser superior al riesgo de exponerse a ella.

OPTIMIZACIÓN: se sigue el criterio “ALARA” (As Low As Reasonably Achievable), según el cual todas las exposiciones a las radiaciones ionizantes deben mantenerse tan bajas como razonablemente sea posible, teniendo en cuenta factores sociales y económicos.



Equipo para manipular radioisótopos (celda caliente)



Equipos de protección radiológica

LIMITACIÓN DE LA DOSIS INDIVIDUAL: la dosis de radiación que puede recibir cualquier individuo no debe superar unos valores establecidos como límites legales, lo que garantiza la protección del público en general y del personal profesionalmente expuesto.

La limitación de los efectos derivados de las radiaciones ionizantes se consigue evitando las exposiciones no justificadas y manteniendo, tan bajas como sea posible, las justificadas.

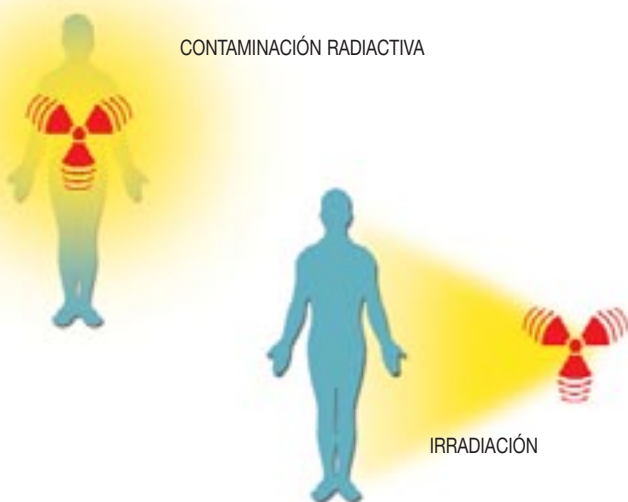
La aplicación de estos principios es la base para establecer unas medidas de protección que deben asegurar un riesgo individual mínimo y adicionalmente mantener unos niveles totales de exposición a las radiaciones lo mas bajos posibles.

RIESGOS DE LA EXPOSICIÓN A LAS RADIACIONES IONIZANTES

CONTAMINACIÓN RADIATIVA es la presencia no deseada de sustancias radiactivas en la superficie o en el interior de un cuerpo u organismo.

IRRADIACIÓN es la acción de someter a algo o a alguien a las radiaciones ionizantes.

Un individuo irradiado por una fuente radiactiva exterior a él, sufrirá los efectos de la radiación mientras permanezca próximo a esa fuente, pero bastará con que se aleje lo suficiente para que cese la irradiación. Por el contrario, un individuo contaminado continuará siendo irradiado en tanto no elimine de su organismo la sustancia radiactiva, pudiendo además él mismo actuar como fuente de contaminación o irradiación de otros individuos.

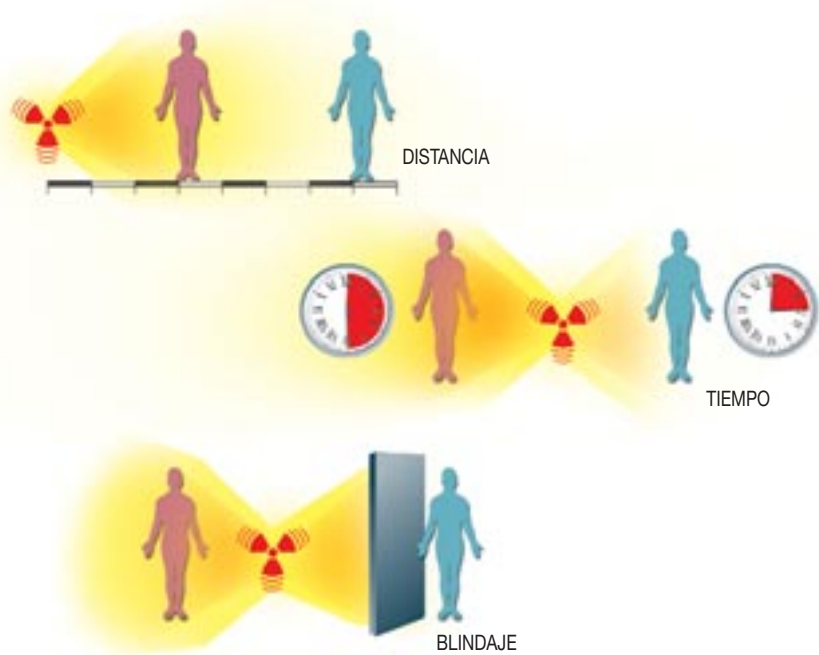


Podemos protegernos de una fuente de irradiación externa mediante la combinación de tres factores:

La **distancia** entre la fuente y la persona ha de controlarse, procurando estar lo más lejos posible de la fuente.

El **tiempo** de exposición ha de reducirse de modo que la persona permanezca en la zona de irradiación lo menos posible; además debe controlarse el tiempo que permanece en dicha zona.

El **blindaje**. Como no siempre es posible que la combinación entre el tiempo de exposición y la distancia den lugar a una dosis admisible, la protección se consigue interponiendo "una barrera" entre la fuente y el sujeto. Es lo que se denomina blindaje contra la radiación.



MAGNITUDES Y UNIDADES EN LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Las radiaciones ionizantes pueden provocar efectos negativos en función de:

- La cantidad de energía absorbida.
- El tipo de radiación ionizante recibida.
- La parte del cuerpo u órgano afectado.

La energía absorbida por los tejidos por unidad de masa se denomina **dosis absorbida** y se mide en Grays (Gy).

Si se tiene en cuenta el tipo de órgano o tejido afectado hablamos de **dosis equivalente**.

Al valorar tanto el tejido afectado como el tipo de radiación que ha recibido, hablamos de **dosis efectiva**; la unidad de medida en el Sistema Internacional es el Sievert (Sv), también se utiliza el rem (1 siervert = 100 rems).



Magnitudes de medida

ORGANISMOS COMPETENTES

En la primera mitad del siglo XX se creó la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR), un organismo internacional independiente que regula y controla la utilización de sustancias radiactivas tanto naturales como artificiales y que además estableció las primeras normas legales de protección radiológica.

La mayoría de los países cuentan con normas muy estrictas de protección radiológica. Las normas dictadas por la CIPR se implantan en las legislaciones de los diferentes países.

En España, en 1980, el Parlamento tomó la decisión de crear un organismo, independiente de la Administración del Estado, cuyo fin primordial fuera velar por la seguridad nuclear y la protección radiológica de las personas y el medio ambiente, es el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) www.csn.es.

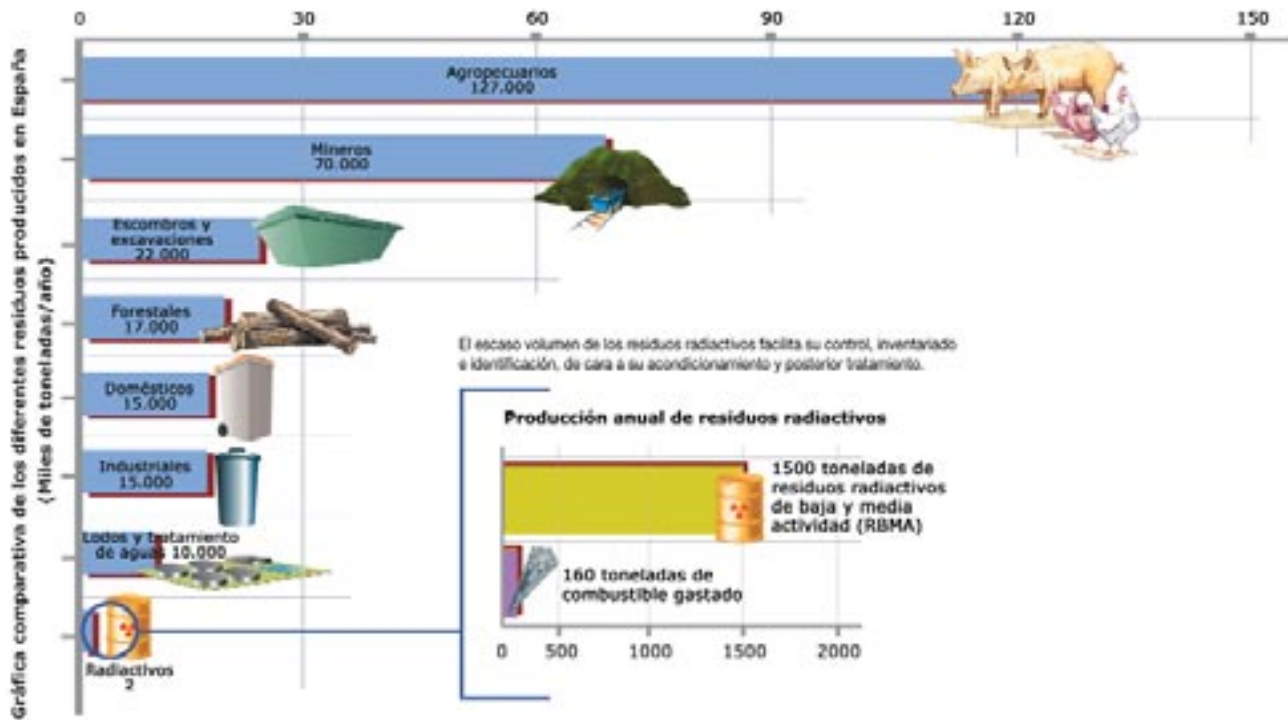
DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Como cualquier actividad humana, el empleo de isótopos radiactivos en tratamientos médicos, procesos industriales, trabajos de investigación, etc., produce también residuos que, en este caso, son radiactivos.

Los residuos radiactivos son, pues, materiales o productos de deshecho, para los que no se prevé ningún uso y están contaminados con radionucleidos en cantidades superiores a los límites legales establecidos al respecto. De cara a su gestión podríamos clasificarlos en:

Residuos de Baja y Media Actividad (RBMA): contienen isótopos emisores beta y/o gamma, cuyo periodo de semidesintegración es inferior a 30 años, y no desprenden calor.

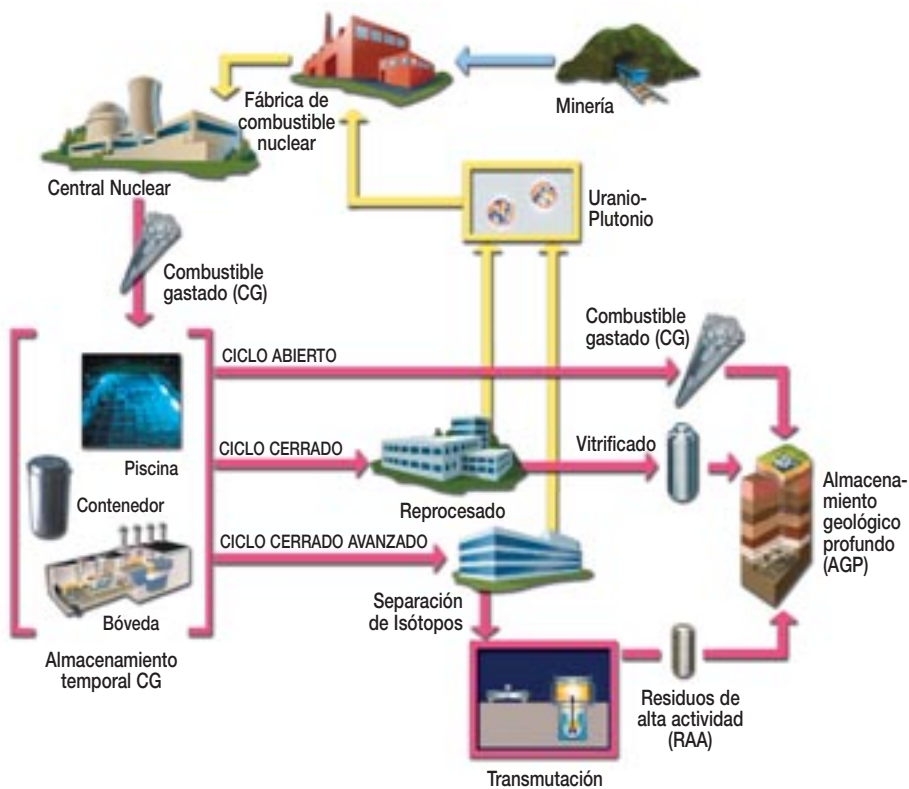
Residuos de Alta Actividad (RAA): contienen generalmente isótopos emisores alfa, cuyo periodo de semidesintegración es superior a 30 años, y desprenden calor.



ORIGEN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS

Los residuos de baja y media actividad, pueden tener diversas procedencias:

- Industrias: algunas fuentes radiactivas.
- Centrales nucleares: herramientas, materiales filtrantes, material de mantenimiento, etc., utilizados en determinadas zonas de la central.
- Desmantelamiento de instalaciones nucleares y radiactivas, algunos materiales contaminados durante la operación de las instalaciones (equipos, estructuras...) o en el propio proceso de desmantelamiento (batas, guantes, herramientas...).
- Hospitales: jeringuillas, guantes o material médico diverso usado en las Unidades de Medicina Nuclear y Radioterapia.
- Laboratorios: los materiales y restos biológicos contaminados procedentes de ciertos ensayos en los que intervienen isótopos radiactivos.



Los **residuos de alta actividad** se generan fundamentalmente en las centrales nucleares. Su origen depende del tipo de ciclo de combustible:

- En el caso del **ciclo abierto**, el combustible gastado es considerado residuo.
- En el **ciclo cerrado**, el combustible gastado se reprocesa: el uranio y el plutonio se aprovechan para elaborar nuevos elementos combustibles. Los materiales no aprovechables (productos de fisión y de activación) son residuos de alta actividad y se vitrifican.
- En el **ciclo cerrado avanzado**, el combustible nuclear se somete a técnicas de separación y transmutación. En este caso, la cantidad de residuos de alta actividad a gestionar es muy inferior.

EL TRANSPORTE DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS

El transporte de sustancias radiactivas se efectúa de acuerdo con las recomendaciones establecidas por el Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA) que, a través de los órganos legislativos, se convierten en reglamentaciones de ámbito nacional e internacional.

El conjunto de medidas establecidas tiene como objetivo reducir la probabilidad de que ocurra un accidente y, en caso que suceda, mitigar sus efectos.

Los residuos radiactivos pueden transportarse por carretera, conforme al Acuerdo Europeo para el Transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera (ADR) o por ferrocarril según el Reglamento Internacional sobre el Transporte de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril (RID).

La citada normativa además contempla:

- Los ensayos a que deben someterse los bultos (resistencia a la caída, al fuego, estanqueidad, etc.)
- Los controles radiológicos a realizar sobre el material.
- El etiquetado de la carga para su expedición.
- La formación de los conductores.
- El equipamiento de los vehículos.
- La documentación preceptiva que debe acompañar al transporte.
- Las medidas de seguridad que deberán ponerse en marcha en caso de accidente.

En el caso español, ENRESA, en colaboración con la Dirección General de Protección Civil, tiene establecido un Plan de Actuación en caso de Contingencias, de tal forma que si se produjera un accidente en uno de sus transportes, todas las medidas a adoptar estén perfectamente coordinadas, reduciéndose al mínimo los tiempos de intervención y por consiguiente los riesgos.



Transporte de residuos de baja y media actividad

Señalización para el transporte de material radiactivo. Transporte de residuos de alta actividad



■ INTRODUCCIÓN

El Parlamento español, mediante R.D. 1522/1984, estableció la creación de una empresa (ENRESA) para gestionar los residuos radiactivos producidos en España. Entre sus cometidos destacan:

- La recogida, transporte, tratamiento, almacenamiento y control de los residuos radiactivos.
- El desmantelamiento de instalaciones nucleares y radiactivas en desuso.
- La restauración ambiental de minas de uranio.
- Investigación y desarrollo.

Las bases de la gestión de los residuos radiactivos en España están establecidas en el Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR), documento público aprobado por el Gobierno.



Sede ENRESA

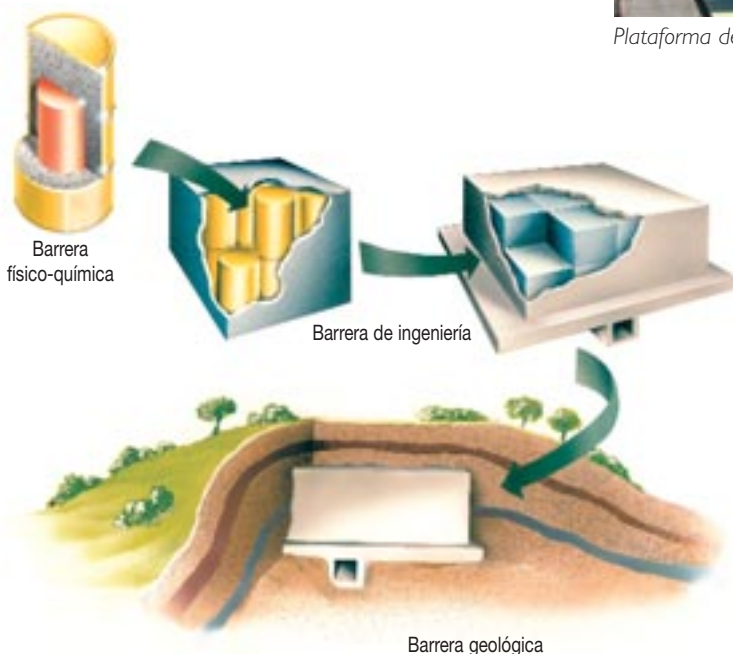
■ EL CENTRO DE ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS DE BAJA Y MEDIA ACTIVIDAD (RBMA) DE “EL CABRIL”

Para almacenar los residuos de baja y media actividad que se generan en España, ENRESA dispone del Centro de Almacenamiento de El Cabril, en la provincia de Córdoba. Las actuales instalaciones, que se pusieron en marcha en 1992, constituyen uno de los centros de almacenamiento de residuos de baja y media actividad más modernos del mundo y su sistema de almacenamiento está totalmente automatizado.

Su construcción se llevó a cabo tras exhaustivos estudios geológicos, hidrológicos, sísmicos y tectónicos, etc., que demostraron la idoneidad del emplazamiento.



Plataforma de almacenamiento



El modo de almacenamiento se basa en interponer barreras de ingeniería entre los residuos y el medio ambiente, de manera que estén perfectamente aislados de la biosfera durante el tiempo necesario hasta que su actividad decaiga a niveles inocuos.

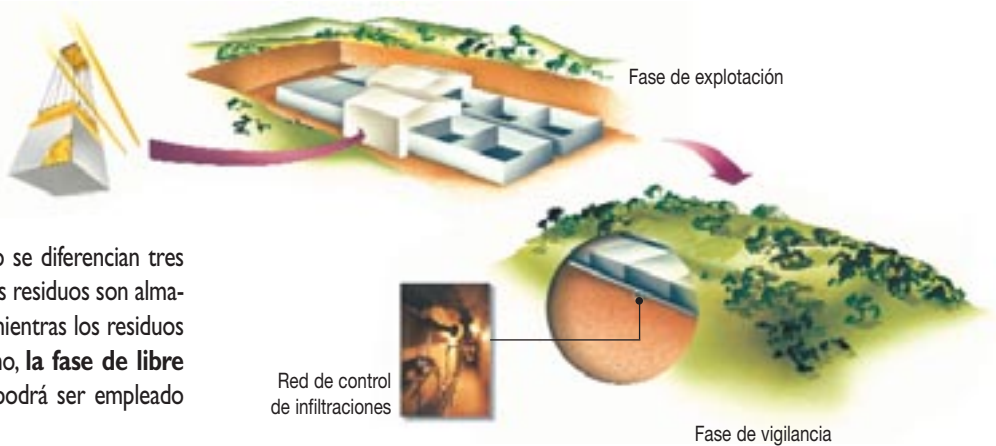
Barrera físico-química: está formada por el acondicionamiento de los residuos.

Barrera de ingeniería: está constituida por las estructuras de almacenamiento (celdas y plataformas).

Barrera geológica: la proporciona la propia formación geológica de la corteza terrestre donde se almacenan los residuos.

El sistema de barreras se completa con un control de seguridad de las instalaciones basado en un plan de medidas de vigilancia, tanto durante la fase de funcionamiento como durante el periodo posterior a su cierre.

En la vida de este tipo de almacenamiento se diferencian tres fases: **la fase de explotación**, en la que los residuos son almacenados; **la fase de vigilancia** que dura mientras los residuos presentan riesgos radiológicos y, por último, **la fase de libre utilización**, en la que el emplazamiento podrá ser empleado para cualquier otro uso.



Tratamiento y acondicionamiento de RBMA

Los principales objetivos de la gestión de los residuos de baja y media actividad son minimizar su volumen y garantizar su estabilidad y su aislamiento del medio.

Los residuos se almacenan siempre en estado sólido. En el centro de almacenamiento de El Cabril, son sometidos a diversos procesos, en función de su origen y sus características físico-químicas. Así:

- Los RBMA procedentes de la operación y/o desmantelamiento de instalaciones nucleares, habiendo sido caracterizados y acondicionados en origen, llegan a la instalación en bidones de 220 litros o en contenedores metálicos especiales.



Laboratorio de caracterización
C.A. El Cabril

Los bultos o bidones ya acondicionados se someten a diversos ensayos que tienen por objeto asegurar que la primera barrera, constituida por el residuo y la matriz de inmovilización, reúne las condiciones que garantizan su estabilidad y aislamiento.

- Los RBMA generados en hospitales, centros de investigación, etc., se tratan y acondicionan en la instalación:
 - La materia orgánica se incinera siendo las cenizas resultantes inmovilizadas en matriz de hormigón.
 - Los líquidos se solidifican en matriz de hormigón.
 - Los residuos compactables, una vez tratados, se inmovilizan con hormigón.

Como media, un bidón de RBMA almacenado en El Cabril, está compuesto en un 70% por hormigón y un 30% por residuo.



Almacenamiento de RBMA

Una vez acondicionados los residuos son transferidos a los contenedores de hormigón que son cubiertos por una tapa del mismo material y se les inyecta mortero.

CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO	
Plataforma	12 y 16 celdas
Celda	320 contenedores
Contenedor de hormigón	18 bidones no compactables, ó
	de 35 a 45 bidones compactables, ó
	4 contenedores metálicos procedentes de desmantelamientos

La zona de almacenamiento consta de 2 plataformas, la norte de 16 unidades o celdas y la sur de 12, que, una vez completadas serán recubiertas con capas alternativas de materiales de drenaje e impermeables, para evitar posibles infiltraciones de agua de lluvia, al tiempo que se recupera la topografía original.

Una vez completada la instalación se pondrá en marcha un periodo de vigilancia institucional de 300 años, que es el tiempo necesario para que la actividad decaiga a valores inocuos y el emplazamiento pueda ser empleado para cualquier uso.

Almacenamiento de residuos de muy baja actividad (RBBA)

Diversos incidentes ocurridos en acerías de nuestro país, dieron como resultado la producción de una importante cantidad de materiales contaminados cuya actividad radiológica era entre 100 y 1.000 veces inferior a la de los residuos clasificados como RBMA. Por dicho motivo, el Congreso de los Diputados instó al Gobierno a crear una instalación específica para este tipo de residuos ya que su almacenamiento en las instalaciones en funcionamiento de El Cabril, constituía un uso inapropiado del importante activo que, para nuestro país, representa la capacidad y tecnología de este centro, siguiendo además, la tendencia iniciada en otros países europeos.

La nueva instalación complementaria aprobada en El Cabril tiene capacidad para 130.000 m³ y permite también almacenar los residuos de muy baja actividad procedentes del desmantelamiento de instalaciones nucleares y radiactivas previstos en el PGRR.

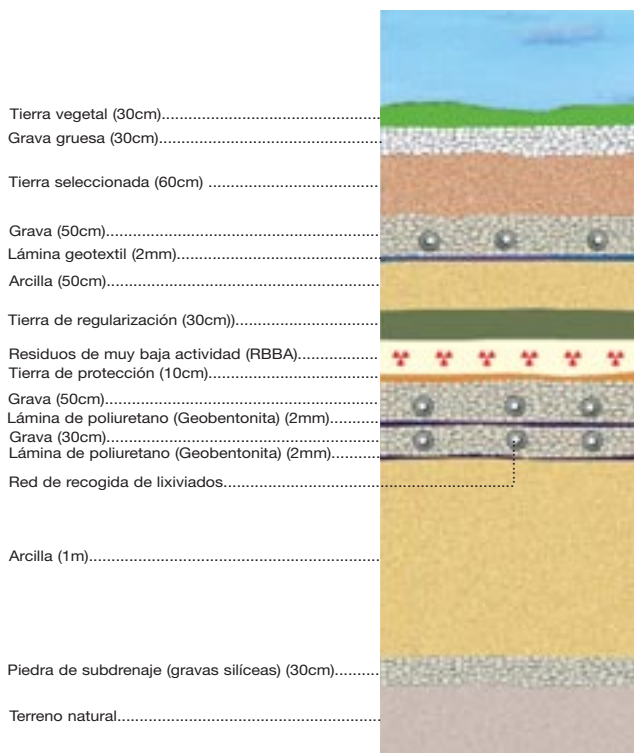
A pesar del volumen de residuos a almacenar en esta instalación, la actividad que representa no supone un incremento del inventario radiológico ya autorizado para la instalación original.



RBBA procedentes de una acería

Instalación de almacenamiento de RBBA

Consta de 4 celdas que se irán construyendo a medida que sean necesarias. Cada celda tendrá capacidad para almacenar entre 30.000 y 35.000 m³ de residuos. Su diseño está basado en barreras de aislamiento en el terreno, drenajes y capas de protección tanto inferior como superior a los residuos que se almacenarán en diversos niveles.



Ubicación de la instalación de almacenamiento de RBBA

■ EL CABRIL Y EL MEDIO AMBIENTE

Además de las actividades relativas a la gestión de los residuos de baja y media actividad, en el centro de almacenamiento de El Cabril se llevan a cabo otras actividades intrínsecas de toda actividad industrial, como el control de las emisiones a la atmósfera, de los vertidos líquidos, de los residuos industriales y urbanos, del reciclado de subproductos, etc.

Con el fin de garantizar la ausencia de impacto en su entorno, en El Cabril se lleva a cabo un Plan de Vigilancia Ambiental (PVA y PVRA):

- El PVA (Plan de Vigilancia Ambiental) mide continuamente parámetros tales como la pluviometría, el viento, la temperatura, etc.
- El PVRA (Plan de Vigilancia Radiológica Ambiental) permite disponer de los datos necesarios para garantizar que los niveles de radiactividad naturales del emplazamiento no se vean alterados debido a las actividades llevadas a cabo en este centro de almacenamiento.

Los datos obtenidos por medio del PVRA se envían sistemáticamente a los siguientes organismos: Consejo de Seguridad Nuclear, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Junta de Andalucía, Junta de Extremadura y Ayuntamientos del entorno.



Red de control de infiltraciones



Vivero para repoblación forestal

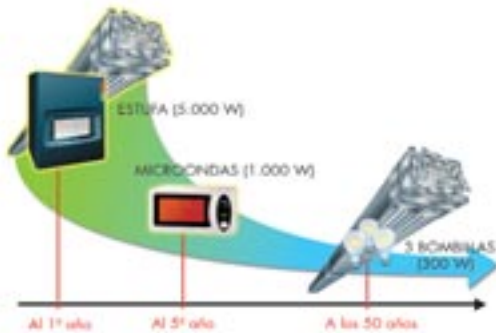


Dosimetría ambiental

El Cabril es la única instalación de almacenamiento de residuos de baja y media actividad que hay en España, y una de las primeras instalaciones industriales en conseguir de AENOR la certificación del Sistema de Gestión Medioambiental.



EL COMBUSTIBLE GASTADO (CG) Y LOS RESIDUOS DE ALTA ACTIVIDAD (RAA)



TIEMPO DE ENFRIAMIENTO DEL COMBUSTIBLE GASTADO

La gestión del combustible gastado y los residuos de alta actividad supone un reto para todos los países. Aunque sus volúmenes son pequeños (en España 160 t/año) sus características físico-químicas y su alto nivel de radiactividad, que implica generación de calor, hacen que su gestión deba acometerse en dos etapas:

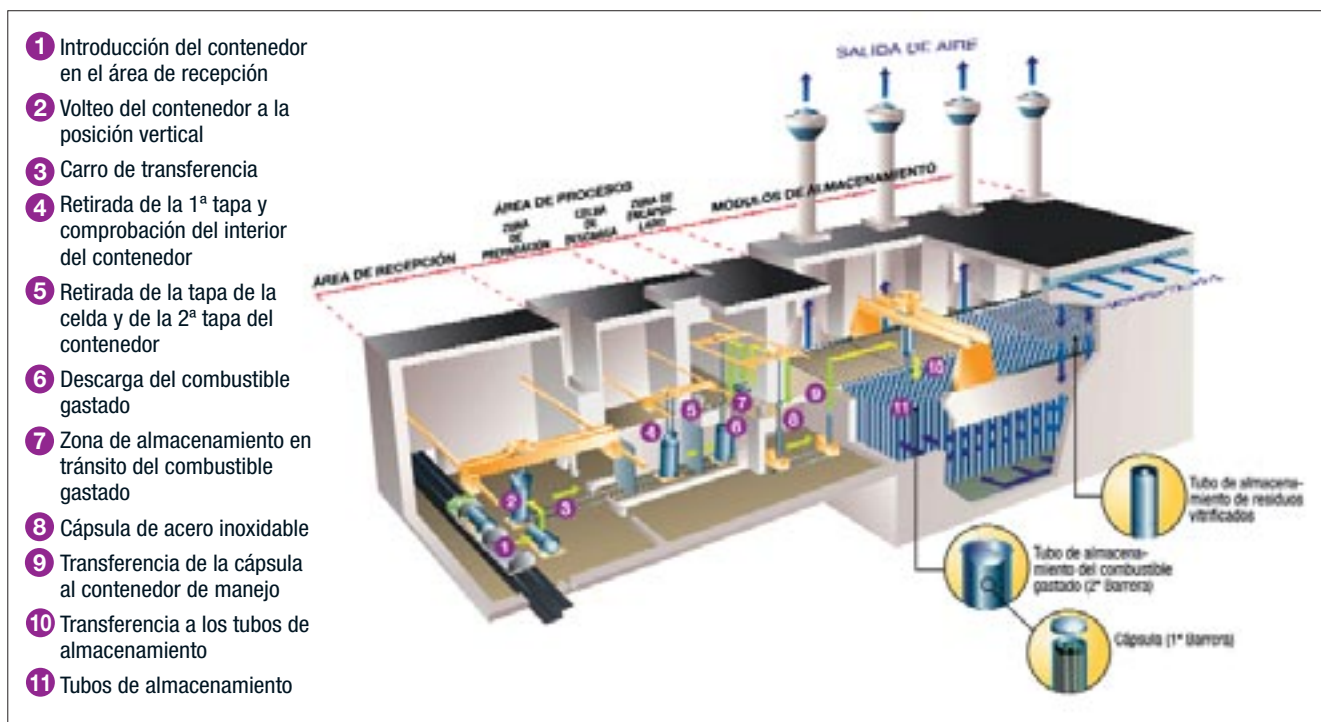
1. etapa de gestión temporal, para la cual existen en el mundo diversas tecnologías con una experiencia operativa contrastada de varias décadas, y
2. etapa de gestión final, que en la actualidad se encuentra en fase de investigación.

Sistemas de almacenamiento temporal

En primera instancia, el combustible extraído del reactor se deposita en las **piscinas** de las propias centrales nucleares, donde debe permanecer un tiempo para enfriarse y reducir su actividad con objeto de facilitar su posterior traslado y gestión.

A medio plazo y teniendo en cuenta tanto la capacidad de almacenamiento de las piscinas, como la necesidad de extraer el combustible de las centrales nucleares cuando éstas deban ser desmanteladas, podemos citar otros sistemas de almacenamiento:

- En **contenedores**, metálicos o de hormigón, diseñados para disipar el calor producido por el combustible y servir de blindaje contra las radiaciones, de forma que las dosis en su superficie exterior sean inferiores a las legalmente establecidas. Este sistema constituye una solución para periodos no muy prolongados de tiempo (varias décadas).
- En **bóvedas** de hormigón, donde los residuos se almacenan también en seco y aplicando los mismos principios técnicos y de seguridad, pero que ofrecen mayor capacidad de almacenamiento durante periodos de tiempo superiores (aprox. 100 años).



Esquema de funcionamiento de un almacenamiento en bóvedas

Independientemente de los sistemas a utilizar para el almacenamiento temporal del combustible gastado y los residuos de alta actividad, el modo en que se almacenan estos materiales puede ser individual (donde cada central nuclear almacena el combustible que ha generado) o centralizado (disponiendo de un almacén donde albergar los residuos de alta actividad generados en todo el país).

España, como la mayoría de los países con tecnología nuclear, considera el almacén temporal centralizado (ATC) en bóvedas de hormigón como etapa intermedia antes de acometer la gestión final del mismo.

El sistema de bóvedas constituye una solución **segura** (confinamiento y blindaje por barreras múltiples, refrigeración por convección natural), **económica** (carácter modular que permite diferir la inversión; razonables costes de operación; diseño compacto) y **probada** en instalaciones ya en funcionamiento, además de disponer de un centro tecnológico de investigación.

Asimismo:

- Permite optimizar los recursos, tanto económicos como humanos, destinados a la vigilancia del combustible gastado al centralizarse en un solo emplazamiento, reduciendo así el número de emplazamientos nucleares.
- Facilita el desmantelamiento de las centrales nucleares y por tanto la disponibilidad absoluta del terreno que ocupaban.
- Permite la creación de un centro tecnológico para el desarrollo de técnicas avanzadas, etc., de los residuos radiactivos.
- Permite el almacenamiento de otros residuos tecnológicos de alta actividad no generados en las centrales nucleares.

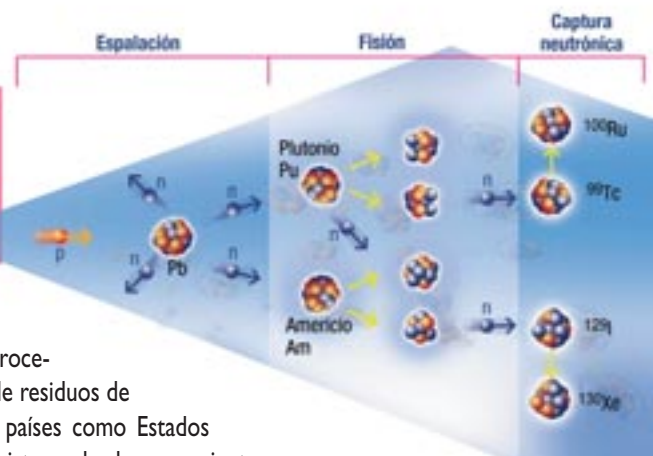


9.900 m ³	Combustible gastado.
80 m ³	Vidrios del reprocesado del combustible de la central nuclear Vandellós I.
5.000 m ³	Residuos tecnológicos derivados del desmantelamiento de las centrales nucleares y de otras instalaciones nucleares y radiactivas.

Necesidades de almacenamiento en España

Gestión final del combustible gastado y los RAA

Para la gestión final del combustible gastado y teniendo en cuenta el larguísimo periodo de semidesintegración de algunos isótopos contenidos en el mismo, se está dedicando un esfuerzo creciente en proyectos de investigación cuyo objetivo fundamental es la transformación de los isótopos radiactivos de vida larga en elementos estables o en radionucleidos de vida corta (*separación - transmutación*) y, en consecuencia, una reducción cuantitativa y cualitativa de los residuos radiactivos a almacenar.



Esquema de transmutación

No obstante, cualquiera que sea el ciclo de combustible aplicado (reproceso, separación-transmutación, etc.), siempre quedará una cantidad de residuos de alta actividad, que será necesario almacenar a largo plazo. Algunos países como Estados Unidos, Finlandia, Francia y Suecia, contemplan la construcción de un sistema de almacenamiento en una formación geológica profunda.

Desmantelamiento y Clausura de Instalaciones Nucleares y Radiactivas

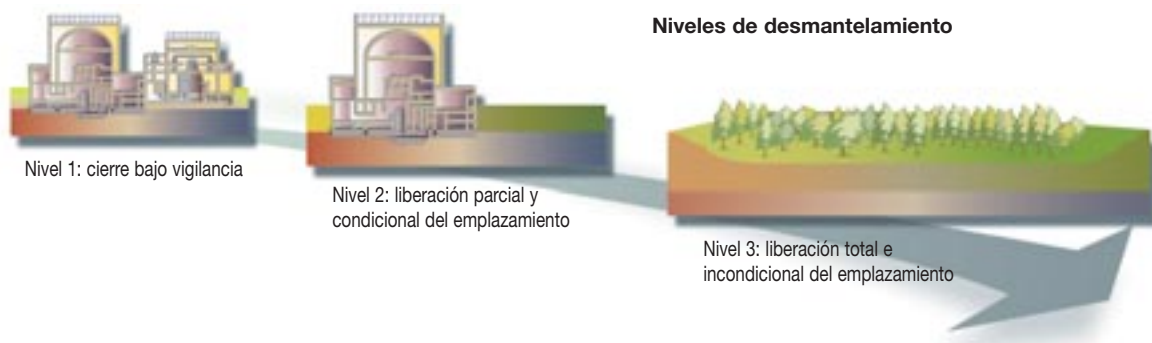
Cuando una instalación nuclear o radiactiva finaliza su vida útil, es necesario proceder a su clausura y posterior desmantelamiento.

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), establece 3 niveles para llevar a cabo las tareas de desmantelamiento de una central nuclear:

Nivel 1. Se retira el combustible, se acondicionan los residuos de operación de la central, se desconectan los sistemas, se limita y vigila el acceso a la zona y se mantiene la instalación en parada indefinida.

Nivel 2. Se descontaminan y recuperan los componentes, equipos y estructuras que puedan ser reutilizados, se desmantelan sistemas y demuelen edificios. Se restaura el terreno liberado y el cajón del reactor se confina, manteniéndose bajo vigilancia.

Nivel 3. Se desmantela el cajón del reactor. La descontaminación es total y el terreno se acondiciona para que pueda utilizarse sin restricciones.



El desmantelamiento de una central nuclear genera gran cantidad de materiales tanto de zonas con implicación radiológica como de zonas convencionales. El objetivo prioritario del Proyecto debe ser reducir al mínimo el volumen de materiales a gestionar, identificando los residuos radiactivos y encontrando para el resto de materiales una utilidad, bien en el propio emplazamiento o en el exterior.

PROYECTOS DE DESMANTELAMIENTO EN ESPAÑA

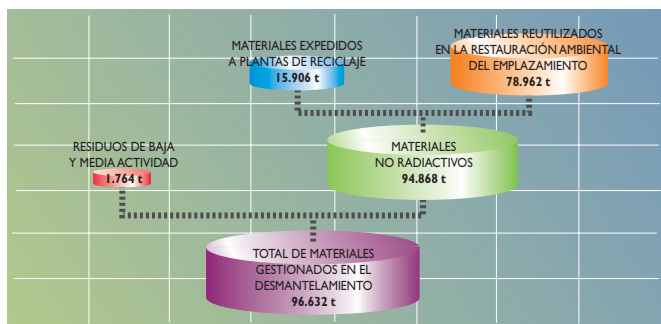
Desmantelamiento de C.N.Vandellós I (Nivel 2)

La central nuclear Vandellós I (Tarragona) de tipo grafito-gas, es la primera central nuclear desmantelada en España. Fue cerrada en 1990 tras un incendio ocurrido en el grupo turbo-alternador nº 2.

El Plan de Desmantelamiento y Clausura fue elaborado y ejecutado por ENRESA entre los años 1998 a 2003.



C. N. Vandellós I antes y después del desmantelamiento Nivel 2



Materiales procedentes del desmantelamiento

Concluidos los trabajos, se inicia un periodo mínimo de 25 años de espera, denominado periodo de latencia, que tiene por objeto permitir que la radiación del interior del cajón del reactor decaiga a niveles que faciliten su total desmantelamiento (nivel 3) con el mínimo impacto radiológico, dejando finalmente liberado el emplazamiento para cualquier otro uso.

Desmantelamiento de C.N. José Cabrera (Nivel 3)

Con motivo del cese de actividad de la central nuclear José Cabrera decretado por el Gobierno para abril de 2006, ENRESA está elaborando el Proyecto de Clausura y Desmantelamiento de dicha instalación, sita en el término municipal de Almonacid de Zorita (Guadalajara) y cuya puesta en explotación comercial tuvo lugar en agosto de 1969.

El objetivo fundamental del Proyecto es acometer su desmantelamiento total (nivel 3) dejando el emplazamiento liberado para cualquier uso.

El Proyecto está dividido en dos fases:

1. El diseño y construcción de un almacén temporal en contenedores de hormigón para descargar el combustible gastado de la piscina.
2. El plan de desmantelamiento y clausura de la central nuclear.



C.N. José Cabrera

Otros proyectos de desmantelamiento

ENRESA también participa en el Proyecto de Desmantelamiento de un reactor experimental del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT): el Proyecto PIMIC (Plan Integrado para la mejora de las Instalaciones del CIEMAT), cuyo objetivo es la retirada del reactor y sus instalaciones anexas.

Está previsto que los trabajos de desmantelamiento tengan una duración aproximada de 4 años.

■ RESTAURACIÓN AMBIENTAL

La explotación de las minas de uranio y la producción de concentrados de uranio en España se iniciaron en 1948 y 1958 respectivamente, actividades que se extendieron hasta 1984 y 2002.

Las primeras actuaciones de clausura llevadas a cabo por ENRESA tuvieron lugar en la Fábrica de Concentrados de Uranio de Andújar (1991-1994). Los trabajos consistieron en el desmantelamiento de las instalaciones, la estabilización del dique de estériles de mineral extraído y la construcción de capas de cobertura, con el fin de aislar los residuos y evitar su dispersión, además de conseguir la restauración ambiental de la zona y su integración en el entorno.

Entre 1997-2000 se llevaron a cabo labores de restauración de 19 minas, 13 en Extremadura y 6 en Andalucía.

El Plan de Restauración de Antiguas Minas de Uranio, incluye el cierre y sellado de pozos y la repoblación de las antiguas explotaciones mineras, con especies autóctonas, logrando su completa integración paisajística.



Fábrica de Uranio de Andújar. Configuración inicial y situación actual de la instalación



Aspectos inicial y final de las minas Grupo la Virgen (Jaén)

ENRESA, junto con la empresa titular ENUSA, ha participado en las tareas de clausura y restauración ambiental de las explotaciones mineras de La Haba-Badajoz (1991-1994) y colabora en las operaciones que se están llevando a cabo en las de Saélices el Chico-Salamanca, cuya finalización está prevista para el año 2008.

Los proyectos contemplan la recuperación geomorfológica, hidráulica y forestal de la cuenca donde se ubican las instalaciones, la reducción del impacto radiológico derivado de las estructuras remanentes y la integración paisajística con su entorno.