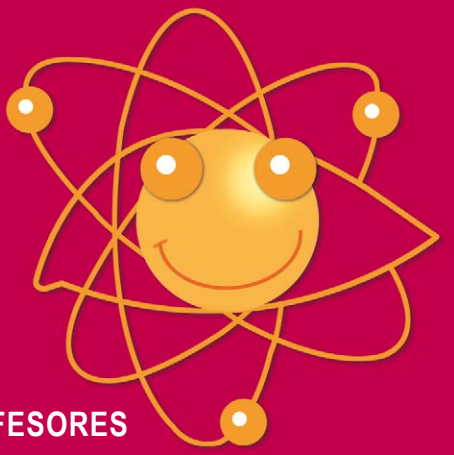
programa para centros *escolares*

educación secundaria y bachillerato

GUÍA DIDÁCTICA **PARA PROFESORES**



RIESGO NUCLEAR

DIRECCIÓN GENERAL
DE PROTECCIÓN CIVIL
Y EMERGENCIAS



DIRECCIÓN GENERAL
DE PROTECCIÓN CIVIL
Y EMERGENCIAS

programa para centros *escolares*
educación secundaria y bachillerato

GUÍA DIDÁCTICA **PARA PROFESORES**

RIESGO NUCLEAR

DIRECCIÓN GENERAL
DE PROTECCIÓN CIVIL
Y EMERGENCIAS

EDITA:
Secretaría General Técnica. Ministerio del Interior
Catálogo General de Publicaciones de la Administración General del Estado
http://publicacionesoficiales.boe.es

© Dirección General de Protección Civil y Emergencias
www.proteccioncivil.es

NIPO (ed. papel): **126-15-035-8**
NIPO (en línea): **126-15-036-3**

DEPOSITO LEGAL:
M-12883-2015

DISEÑO, MAQUETACIÓN e ILUSTRACIONES:
V.O. Infográfica

IMPRESIÓN: **2 Color**

programa para centros *escolares*
educación secundaria y bachillerato GUÍA DIDÁCTICA **PARA PROFESORES**

1. La radiación en nuestro mundo. Fuentes de radiación natural y artificial **04**
2. ¿Qué es la radiación? Tipos de radiaciones: ionizantes y no ionizantes **12**
3. ¿Qué es la radiactividad? **14**
4. Magnitudes y unidades de protección radiológica. Concepto de dosis **22**
5. Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes en los seres vivos y en el medio ambiente: efectos deterministas y efectos estocásticos **26**
6. Protección radiológica **30**
7. Organismos nacionales, europeos e internacionales competentes en materia de protección radiológica **34**
8. Las centrales nucleares **36**
9. Residuos radiactivos **42**
10. Vigilancia radiológica ambiental **50**
11. ¿Qué es el riesgo nuclear? Accidentes nucleares y sus consecuencias **58**
12. Planes de Emergencia Nuclear y Protección Civil **94**
13. Medidas postaccidente **116**

Orientaciones pedagógicas **120**
1. Pasos metodológicos **123**
2. Relación con el currículo escolar **126**
3. Actividades didácticas **127**



1. La radiación en nuestro mundo. Fuentes de radiación natural y artificial

La radiación ha estado presente en el mundo antes de que nosotros mismos existiéramos. El hombre ha convivido con ella desde sus orígenes pues siempre han existido **fuentes naturales de radiación**, como la radiación cósmica, la que proviene de ciertas rocas, la radiación solar, etc. Por otra parte, las radiaciones también han sido utilizadas por el hombre en el campo de la medicina, de la ingeniería, alimentación, etc. Esto es lo que denominamos **fuentes artificiales de radiación.**

Por ello, la cantidad de radiación que recibimos es la suma de las radiaciones de origen natural y de las radiaciones de origen artificial.

La radiación existe en la tierra
desde su formación como planeta



Radiación y vida

Radiación natural

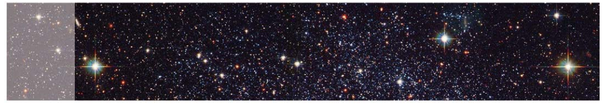
radiación cósmica

radiación de la Corteza terrestre

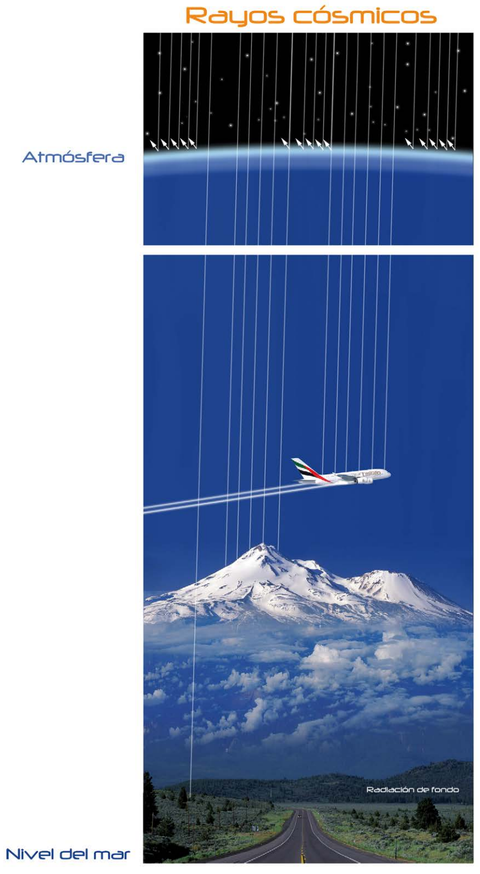
radiación solar

El ser humano vive en un mundo con **radiación natural**: recibe radiación cósmica, procedente del espacio, radiación del radón procedente de la tierra, ingiere a diario alimentos que contienen elementos radiactivos en cantidades muy pequeñas. En sus huesos hay polonio y radio radiactivos, en sus músculos carbono y potasio radiactivos, y en sus pulmones, gases nobles y tritio también radiactivos.

Radiación cósmica



De la **radiación cósmica**, que procede del espacio, sólo llega al suelo una fracción, ya que en su mayor parte, es detenida por la atmósfera. En consecuencia, la altitud es determinante de la cantidad de radiación cósmica recibida, de forma tal que, en la cima de la montaña o viajando en un avión se recibe mayor cantidad de radiación cósmica que a nivel del mar: por ejemplo, las tripulaciones aéreas pasan gran parte de su vida en altitudes en las que la radiación cósmica es 20 veces mayor que la radiación media de fondo.



La radiación natural a la que se exponen los escaladores

En mayo de 2013, el experto en radiación escocés Bob Kerr escaló el Everest. Con la ayuda de su guía, Dorje Khatri, Kerr midió los niveles de radiación en la cima de la montaña mediante un contador Geiger. Así fue como descubrió que las grandes alturas – en el caso del Everest, 8.839 metros por encima del mar – exponen a los escaladores a un miliSievert (mSv), lo que viene a ser cinco veces la media de la exposición anual de un trabajador de una central nuclear.

La radiación a estas alturas proviene de los rayos cósmicos del espacio, pero, a pesar de los riesgos, según informó Kerr a la Sociedad de Protección Radiológica de Inglaterra, nunca ha muerto nadie a causa de ello. Las posibilidades de desarrollar un cáncer terminal como resultado de la exposición a la radiación en el Monte Everest son de una entre 10.000.

El año pasado, una avalancha mató a dieciséis guías locales mientras ayudaban a un equipo de grabación que rodaba un documental para Discovery Channel a subir al Everest. Uno de estos guías era Dorje Khatri, el que había ayudado a Bob Kerr.



(Fuente: Foro Nuclear. Flash nuclear de junio 2014)

Radiación de la corteza terrestre

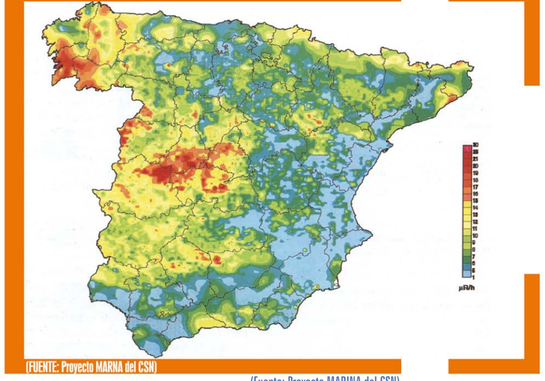


La radiación de fondo debida al gas **radón**, procedente de la desintegración del metal radio contenido en algunas rocas, fundamentalmente graníticas, también varía sustancialmente dependiendo de la localización.

El radón es un gas y surge por emanación de las rocas, lo que posibilita, por ejemplo, que se formen grandes concentraciones en el interior de las viviendas construidas en determinados sitios o con ciertos materiales, sobre todo si la ventilación es insuficiente. La cantidad de radiación procedente del radón debida a su presencia en el aire que respiramos en el interior de las viviendas, representa alrededor de un 50% del total de la recibida por la población como consecuencia de su exposición a la radiación de origen natural.

Los niveles de radiactividad natural en España están en relación directa con el sustrato geológico de cada territorio, siendo en general, mayores en suelos de naturaleza silícea que en los suelos arcillosos o calcáreos. Las rocas graníticas y las rocas sedimentarias procedentes de aquellas del Sistema Central, Galicia, Cataluña y Oeste de Castilla y León presentan valores más altos.

Mapa de radiación natural en España

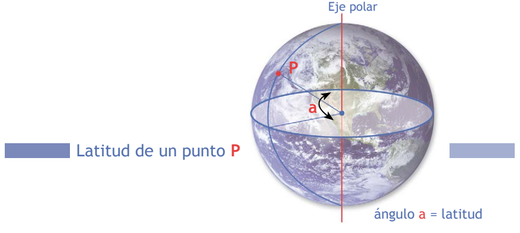


(Fuente: Proyecto MARINA del CSN)

Radiación solar



La cantidad de radiación solar depende de diversos factores uno de ellos es la estación del año, por la diferente inclinación de los rayos solares y por la distancia de la tierra respecto al sol. Esto hace que en verano, en el hemisferio norte hay una mayor radiación solar que en invierno.



Este conjunto de radiaciones naturales integra la radiación de fondo que depende de numerosos factores: el lugar donde se vive, la composición del suelo, los materiales de construcción, la estación del año, la latitud **(distancia angular entre el ecuador y un punto determinado de la tierra)** y, en cierta medida, las condiciones meteorológicas, etc.



Radiación artificial

Médicas | Industriales | Energéticas | Agroalimentarias | Medioambientales

Las **radiaciones artificiales** son las que provienen de actividades humanas. Estas radiaciones se pueden utilizar en medicina, y en aplicaciones industriales, agroalimentarias y medioambientales.

Aplicaciones en medicina



En el caso de la **medicina**, se utilizan para diagnóstico y tratamiento. En el caso del *diagnóstico*, las pruebas diagnósticas que utilizan radiaciones nos permiten ver el interior de nuestro cuerpo sin necesidad de la cirugía. Tenemos entre otras aplicaciones, los rayos X, las mamografías, el TAC (Tomografía axial computarizada), etc.

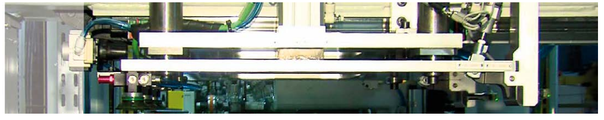
En el caso de *tratamientos*, por la capacidad de destruir células mediante radiación intensa. Paradójicamente, esta capacidad de las radiaciones que es el origen del rechazo hacia ellas cuando se reciben de forma incontrolada, pueden convertirse en una herramienta de curación cuando se dosifican y utilizan adecuadamente. Junto con los tratamientos quirúrgicos y la quimioterapia (empleo de determinadas sustancias químicas para el tratamiento de tumores), la radioterapia (consistente en la aplicación selectiva de fuertes dosis de radiación en determinadas células) se ha manifestado como una vía eficaz en ciertas modalidades de cáncer.

Las células cancerosas se multiplican más rápidamente que las células normales en el cuerpo. Dado que la radiación es más dañina para las células que se reproducen rápidamente, la radioterapia causa más daño a las células cancerosas que a las células normales. Esto impide que las células cancerosas crezcan y se dividan, causando la muerte de las mismas.

La radioterapia puede aplicarse utilizando un haz de electrones de alta energía dirigido al interior del tejido que necesita tratamiento o mediante la ingestión de una solución radiactiva que se deposita en el órgano a tratar (por ejemplo, en el tratamiento de la glándula tiroides) o por implantación de fuentes radiactivas encapsuladas dentro o cerca de una zona que requiere tratamiento para algunos tipos de cáncer (braquiterapia).

El uso de sustancias radiactivas y de radiación ionizante es muy común en la investigación biomédica, necesaria para introducir nuevos métodos diagnósticos y terapéuticos.

Aplicaciones en la industria



Las **aplicaciones** de las radiaciones ionizantes **en el campo de la industria** son muchas y muy variadas. Algunas de las aplicaciones más significativas son:

- **Medición de espesores y densidades**, por ejemplo, en la fabricación de láminas metálicas se utiliza la radiación gamma por su alto grado de penetración.
- **Medición de niveles**, para controlar procesos de llenado de depósitos o envases que contengan líquidos, especialmente cuando son corrosivos o se encuentran a elevadas temperaturas, y en todos aquellos casos en los que sea imposible aplicar dispositivos de contacto.
- **Medición del grado de humedad**, lo cual resulta muy útil para el caso de materiales a granel como la arena y cemento, por ejemplo, y en la producción de vidrio y hormigón.
- **Gammagrafía o radiografía industrial**, usada por ejemplo, para verificar las uniones de soldadura de tuberías.
- **Control de seguridad y vigilancia**, en aeropuertos, correos, edificios oficiales, etc., se usan detectores de seguridad que utilizan los rayos X para escanear bultos o personas.
- **Detectores de humo.**
Los detectores de humo contienen una fuente radiactiva de Americio 241.
- **Esterilización de materiales**, basándose en la acción bactericida de las radiaciones ionizantes. Se utiliza mucho en la industria farmacéutica y alimentaria.
- **Eliminación de la electricidad estática**, aprovechando la ionización que provocan las radiaciones en los medios que atraviesan. Esto resulta muy útil en la industria textil, de plásticos, papel, vidrio, etc.
- **Datación**, mediante el análisis con diversos elementos radiactivos como el Carbono-14, el Uranio-Torio, el Potasio-Argón, etc., dependiendo de la antigüedad de lo que quiera datarse. Esto es muy útil para la investigación histórica, el estudio del clima, etc.
- **Detección de fugas**, introduciendo radionucleidos en las canalizaciones.

Aplicaciones energéticas



La fisión de materiales radiactivos se emplea como fuente de energía en las centrales nucleares.

Aplicaciones agroalimentarias



También se utilizan en **aplicaciones agroalimentarias** para aumentar la producción de alimentos mediante el desarrollo de cepas de cultivos y plantas alimenticias con mayor productividad y resistencia a la lluvia, las heladas o las plagas que las especies originales.

Igualmente se usa para prolongar el periodo de conservación de los alimentos. Esto se consigue mediante la irradiación con rayos gamma, siempre bajo la supervisión de los organismos competentes, y cumpliendo las normas establecidas.



Irradiadas Sin irradiar



Irradiadas Sin irradiar

Las radiaciones artificiales provienen de actividades humanas como la medicina, investigación biomédica, aplicaciones en el campo de la industria, de la agroalimentación y medioambientales.

Aplicaciones medioambientales



En cuanto a las **aplicaciones medioambientales**, se utilizan para erradicar plagas de insectos en determinadas áreas geográficas, y control de insectos nocivos, como la mosca tse-tse, en Zanzíbar, la mosca de la fruta mediterránea en México y la larva de moscarda en el sur de Estados Unidos y el norte de África.

También para optimizar los recursos hídricos, mediante el uso de sondas de neutrones se puede determinar la humedad del terreno, estableciendo así la cantidad de agua que le falta o le sobra para obtener una cosecha óptima, ahorrando con ello mucha agua.

2. ¿Qué es la radiación? Tipos de radiaciones: ionizantes y no ionizantes



Pero, ¿qué es la radiación? La **radiación** es la emisión, propagación y transferencia de energía en cualquier medio en forma de ondas electromagnéticas o partículas.

Muy bien, pero ¿qué son las **ondas electromagnéticas**? Son ondas producidas por la oscilación de un campo eléctrico y un campo magnético, entre las que se cuentan las ondas radioeléctricas, los rayos infrarrojos, la luz, los rayos ultravioleta, los rayos X, y otros tipos de radiación. **Son una forma de transportar energía**.

A diferencia de otros tipos de ondas, como el sonido o las olas, las ondas electromagnéticas no necesitan un medio para desplazarse, por lo que pueden transmitirse también a través del vacío.

La radiación es la emisión, transmisión y propagación de energía, en cualquier medio, en forma de partículas u ondas electromagnéticas.
Las radiaciones electromagnéticas, a diferencia de las corpusculares, no necesitan un medio para desplazarse, se pueden transmitir también a través del vacío.

¿Qué son las radiaciones ionizantes y no ionizantes? ¿Cómo actúan?

Las radiaciones pueden ser ionizantes y no ionizantes dependiendo de si tienen o no, energía suficiente cuando atraviesan la materia en la que inciden, para producir iones (átomo que por pérdida o ganancia de uno o más electrones ya no es eléctricamente neutro, y se convierte en un ión. Por eso se dice que ese átomo está ionizado).

Radiaciones ionizantes

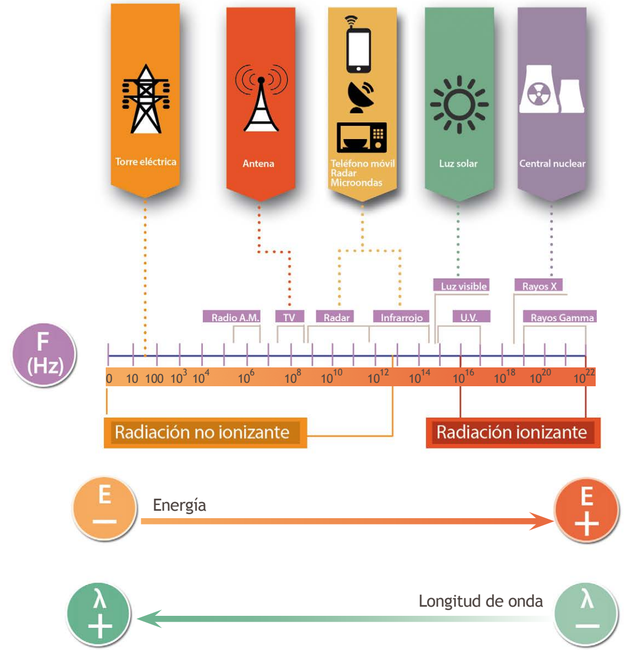
Entre las **ionizantes** está la radiactividad y los rayos X, que son de un origen diferente a la radiactividad.

Radiaciones no ionizantes

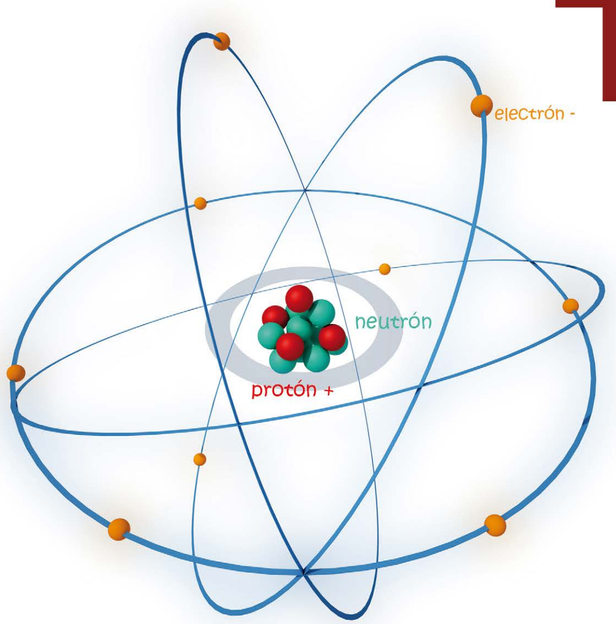
En las **no ionizantes** podemos considerar, de menor a mayor frecuencia y energía, las producidas por redes de alta tensión, electrodomésticos, los aparatos de resonancia magnética nuclear que se utilizan en medicina, placas de cocina de inducción, las ondas de radio, radiofrecuencia, entre las que están las ondas que emiten los radares, radio, televisión, microondas, la luz visible, la radiación ultravioleta que nos llega del sol, y la radiación infrarroja que nos da calor.

La diferencia entre las ionizantes y las no ionizantes es que las primeras no se pueden ver, oir o sentir, es decir, no las podemos percibir por los sentidos, mientras que las segundas, como el caso de la radiación ultravioleta, la radiación infrarroja y la luz visible si se pueden.

Espectro electromagnético
radiaciones ionizantes y no ionizantes



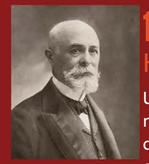
3. ¿Qué es la radiactividad?





1895
Wilhelm Röntgen

El conocimiento de estas radiaciones artificiales comenzó en 1895, cuando el físico Roëntgen, experimentando con rayos catódicos, **descubrió el primer tipo de radiación artificial que ha utilizado el ser humano: los rayos X**. Se trata de ondas electromagnéticas originadas por el choque de electrones con un determinado material, en el interior de un tubo vacio.



1896
Henri Becquerel

Un año después, en 1896, el científico francés Becquerel descubrió por casualidad la radiactividad natural al quedar impresionadas las placas fotográficas que habían estado guardadas, protegidas de la luz, en un cajón en el que había mineral de uranio. Becquerel supuso, con acierto, que el compuesto de uranio había emitido una radiación capaz de velar las películas fotográficas.



1902
Marie Curie y su esposo Pierre

Pocos años después, la joven Marie Curie y su esposo Pierre descubrieron que a medida que el uranio emitía radiaciones se iba transformando en otros elementos químicos distintos, como el radio y el polonio, así denominado en honor a su país de origen.

Una vez que empezaron a conocerse las propiedades y la potencialidad de la radiación se fueron desarrollando sus aplicaciones, así como las técnicas para obtener materiales radiactivos artificiales.

EL ÁTOMO, NÚMERO ATÓMICO Y NÚMERO MÁSICO

Para explicar que es la **radiactividad**, tenemos que recordar primero que es un átomo. Toda la materia está formada por moléculas, las cuales están a su vez formadas de átomos de distintos elementos. Por ejemplo, una molécula de agua está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno.

Antiguamente se pensaba que el átomo era indivisible (de hecho ese es el significado de la palabra átomo), sin embargo se descubrió que no era así, sino que cada átomo estaba formado por un núcleo y una corteza (envoltorio) donde están los electrones que giran a su alrededor.

En el núcleo están los protones (con carga positiva) y los neutrones sin carga. Los electrones que como hemos dicho giran alrededor del núcleo, tienen carga negativa. Los electrones y los protones se atraen debido a fuerzas físicas.

La identidad de un átomo y sus propiedades vienen dadas por el número de partículas que contiene. Lo que distingue a unos elementos químicos de otros es el número de protones que tienen sus átomos en el núcleo. Este número se llama **Número atómico** y se representa con la letra **Z**. Se coloca como subíndice a la izquierda del símbolo del elemento correspondiente. Por ejemplo, todos los átomos del elemento hidrógeno tienen 1 protón y su Z = 1, los de helio tienen 2 protones y Z =2, los de litio, 3 protones y Z = 3,…

Si el átomo es neutro, el número de electrones coincide con el de protones.

El **número másico**, representado por la letra A nos indica el número total de partículas que hay en el núcleo, es decir, la suma de protones y neutrones. Se representa con la letra A y se sitúa como superíndice a la izquierda del símbolo del elemento. Representa la masa del átomo, ya que la de los electrones es tan pequeña que puede despreciarse.



En el ejemplo, tenemos un átomo del elemento neón, con 10 protones en su núcleo (es decir, número atómico Z=10) y 10 electrones en su corteza (porque es neutro). Como el número de protones y neutrones es 22 (es decir, número másico A=22), deducimos que tiene 12 neutrones en su núcleo (22-10 = 12 neutrones).

Número atómico (Z) = Número de protones del núcleo
Número másico (A) = Número de protones (Z)+ número de neutrones
Número de neutrones = Número másico (A)- número atómico (Z)

LOS ISÓTOPOS RADIACTIVOS

Para cada elemento pueden existir isótopos, es decir elementos con el mismo número de protones y electrones, pero donde lo que varía es el número de neutrones, por tanto, el número másico.

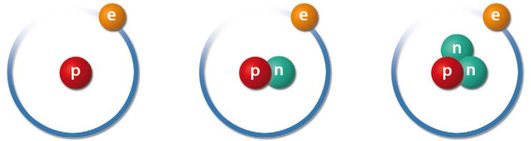
La mayoría de los isótopos naturales son estables y por tanto están en equilibrio. En estas condiciones de equilibrio las partículas permanecen fuertemente unidas. En otros casos hay isótopos cuyo núcleo es inestable y se les denomina isótopos radiactivos, radioisótopos o radionúclidos.

Los isótopos radiactivos tienen tendencia a convertirse de forma espontánea en otros elementos más estables. Esta transformación se llama desintegración y se produce liberando gran cantidad de energía que se emite en forma de radiación. Es lo que se conoce con el nombre de radiactividad.

En el caso de los tres isótopos del Hidrógeno, Protio, Deuterio y Tritio, tan solo el tritio es radiactivo.

ISÓTOPOS DEL HIDRÓGENO

	Nº Protones	Nº Neutrones	Nº Másico
Protio	1	0	^{1}H
Deuterio	1	1	^{2}H
Tritio	1	2	^{3}H



PROTIO $^{1}_{1}H$

DEUTERIO $^{2}_{1}H$

TRITIO $^{3}_{1}H$

Los isótopos radiactivos se desintegran transformándose en otros que pueden ser radiactivos o estables. Esto es lo que se denomina decaimiento radiactivo. La cantidad de isótopo radiactivo que no se desintegra disminuye exponencialmente con el tiempo. La cuantificación de este decaimiento se puede simplificar haciendo uso del periodo de semidesintegración, T ½, o intervalo de tiempo en el que el número de átomos se desintegra la mitad. . Su valor es característico de cada isótopo radiactivo y va desde fracciones muy pequeñas de segundos a millones de años. En la tabla siguiente aparecen los periodos de semidesintegración de algunos isótopos radiactivos.



PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN DE ALGUNOS ISÓTOPOS RADIACTIVOS

Polonio-218	3.05 minutos
Yodo-131	8 días
Radón-222	3,825 días
Estroncio-90	28 años
Cs-137	30.17 años
Radio-226	1590 años
Carbono-14	5730 años
Uranio 238	4.5 billones de años

La **radiactividad** es la propiedad que tienen algunos elementos inestables en transformarse espontáneamente en otros más estables liberando una gran cantidad de energía en forma de radiación.

TIPOS DE RADIACIONES IONIZANTES

Cada núcleo inestable libera su energía de forma diferente, en forma de radiación ionizante, como ondas electromagnéticas (rayos X, rayos gamma) o como chorros de partículas que pueden ser de tres tipos alfa, beta y neutrones.

Dependiendo de su naturaleza, pueden ser corpusculares o electromagnéticas.

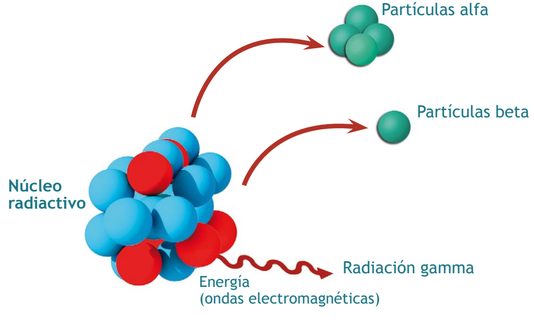
Dentro de las **corpusculares**, que se presentan en forma de partículas con masa, tenemos las radiaciones alfa, beta y neutrones liberados.

Las **electromagnéticas**, son las ondas producidas por las oscilaciones de un campo eléctrico y uno magnético.

Las radiaciones **alfa** están formadas por partículas pesadas integradas por dos protones y dos neutrones (como el núcleo del helio). Se trata de partículas pesadas emitidas por la desintegración de átomos de elementos pesados como el uranio, radio, radón y plutonio. Son las más energéticas, aunque debido a su gran masa son poco penetrantes, de forma que una hoja de papel o la misma piel humana son suficientes para protegernos de sus efectos.

Las radiaciones **beta** están compuestas por partículas de masa similar a las de los electrones. Son menos energéticas que las alfa, aunque más penetrantes ya que traspasan una hoja de papel, pero no pueden penetrar una lámina de aluminio.

Los **neutrones** que se liberan durante una reacción nuclear. Este tipo de radiaciones es muy penetrante (mayor grado de penetración que los rayos gamma que veremos a continuación), por ello para detenerlos se necesita una gruesa barrera de hormigón, agua o parafina. Al no tener carga eléctrica, los neutrones liberados penetran fácilmente la estructura de determinados átomos y provocan su división en otros más pequeños. En el proceso se liberan nuevos





Las radiaciones ionizantes se caracterizan por su alto poder energético.
Tienen energía suficiente para arrancar electrones de los átomos produciendo su ionización.

neutrones que repiten la operación, multiplicando sus efectos. Los neutrones tienen que ser frenados y para ello se usan determinados minerales como el cadmio u otros compuestos como el acido bórico disuelto en agua. **Este proceso puede ser utilizado para producir energía y es el principio en el que se basan las centrales nucleares.**

Dentro de las de las **radiaciones ionizantes de naturaleza electromagnética** se encuentran los rayos X y los rayos gamma.

Estas radiaciones son muy penetrantes y por tanto capaces de atravesar una hoja de papel y una lámina de aluminio, de tal manera que se necesita para pararlas gruesos muros de hormigón o de plomo. Aunque ambas son radiaciones electromagnéticas, se distinguen de acuerdo a su procedencia.

En el caso de los **rayos gamma**, proceden de un núcleo atómico inestable y en el caso de los **rayos X** (que son un poco menos penetrantes), proceden de las capas externas del átomo que es donde se encuentran los electrones.

Desde el momento en que una **radiación gamma** penetra en una sustancia, su intensidad empieza a disminuir debido a que en su camino va chocando con distintos átomos. En el caso de los seres vivos, de esa interacción con células pueden derivarse daños en la piel o en los tejidos internos.

La **radiación X** es parecida a la gamma, pero se produce artificialmente en un tubo de vacío a partir de un material que no tiene radiactividad propia, por lo que su activación y desactivación tiene un control fácil e inmediato.

Las **radiaciones ionizantes** pueden ser corpusculares o electromagnéticas. Se caracterizan por la energía que transmiten y por su diferente grado de penetración en la materia.

Capacidad de penetración en los materiales de los distintos tipos de radiaciones ionizantes



4. Magnitudes y unidades de protección radiológica. Concepto de dosis

En este apartado vamos a definir una serie de conceptos que son esenciales para entendernos en este mundo de las radiaciones.

En primer lugar, tenemos que definir la **actividad** de una sustancia radiactiva que es el número de núcleos inestables que se transforman por segundo emitiendo radiaciones. La unidad para medir la actividad en el Sistema Internacional (SI) es el Becquerel, en honor a su descubridor. Corresponde a una desintegración radiactiva por segundo. Es una unidad muy pequeña. Anteriormente se utilizaba el Curie (Ci) en honor a Madame Curie.

Existe una relación entre ambas unidades:
1 Curie (Ci)= 37.000.000.000 Bq= $3{,}7.10^{10}$ Bq

¿CÓMO PODEMOS MEDIR LAS RADIACIONES IONIZANTES? ¿CUÁL ES EL CONCEPTO DE DOSIS?

Como hemos visto anteriormente, las radiaciones ionizantes transfieren energía a la materia con la que entran en contacto, produciendo su ionización.
Para medir esto se define la **dosis absorbida** como la energía absorbida por unidad de masa del tejido.
La unidad en el Sistema Internacional es el J/kg, que recibe el nombre especial de Gray (Gy).
Esta energía absorbida no nos indica el daño que la radiación ionizante representa para la salud. En el organismo humano el **daño** que éstas causan depende de otros factores como el **tipo de radiación** y el **tejido u órgano** sobre el que incide la radiación. Por ejemplo, 1 Gy de radiación gamma produce más daño si incide sobre el cristalino que sobre la piel.

Esto nos lleva a dos nuevos conceptos de dosis:

Dosis equivalente: Es la dosis absorbida por un tejido u órgano ponderada según tipo de radiación.

Dosis efectiva: Suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo procedentes de exposiciones internas y externas (*)

Para entender estos conceptos podemos poner un ejemplo: Imaginemos que hay unos chicos que están haciendo un picnic o una excursión por el campo y desde un helicóptero comienzan a tirar pelotas de diferentes tamaños y tipo de material (de tenis, baloncesto, ping-pong, rugby, etc.) Estas pelotas serían la **actividad.**

De todas las pelotas que tiran, las que les dieran a ellos sería la **dosis absorbida.**

(*) **Exposición**: acción y efecto de someter a las personas a radiaciones ionizantes, procedentes de fuentes exteriores al organismo (exposición externa) o interiores a él (exposición interna).

Los distintos tamaños y tipo de material serían los distintos tipos de radiación, es decir, las más pesadas serían la radiación alfa (pelotas de baloncesto) y las menos la gamma y los rayos X (las pelotas de ping-pong). Las distintas partes del cuerpo simbolizarían los órganos, por ejemplo, la cabeza podría simbolizar el cristalino del ojo, y el brazo simbolizaría la piel).

La cantidad de pelotazos de todos los tipos de pelotas que recibirían en la cabeza sería la dosis equivalente en la cabeza, que en este ejemplo, simbolizaría el cristalino.

En la infografía las pelotas simbolizarían cada una lo siguiente:

- pelota baloncesto: radiación alfa
- pelota tenis: radiación beta
- pelota ping-pong: radiación gamma



Tanto la dosis equivalente como la dosis efectiva se miden en Sievert (Sv), que en el SI tiene como unidades Julios/kilogramo.

Otra magnitud que podemos considerar importante es la **tasa de dosis ya sea absorbida, efectiva o equivalente**, que no es otra cosa que la dosis en el tiempo.
Generalmente al hablar de tasa de dosis se refiere a la tasa de dosis efectiva. En este caso, se suele medir en mSv/hora y en microSv/h.

MAGNITUDES DE MEDIDA DE DOSIS

DOSIS ABSORBIDA	Energía absorbida por unidad de masa	J/kg (Gy)
DOSIS EQUIVALENTE	Dosis absorbida por un órgano o tejido ponderada según tipo de radiación.	J/kg (Sv) y submúltiplos (mSv y µSv)
DOSIS EFECTIVA	Suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo procedentes de exposiciones internas y externas (*)	J/kg (Sv) y submúltiplos (mSv y µSv)
TASA DE DOSIS EFECTIVA	Dosis efectiva en función del tiempo.	mSv/hora

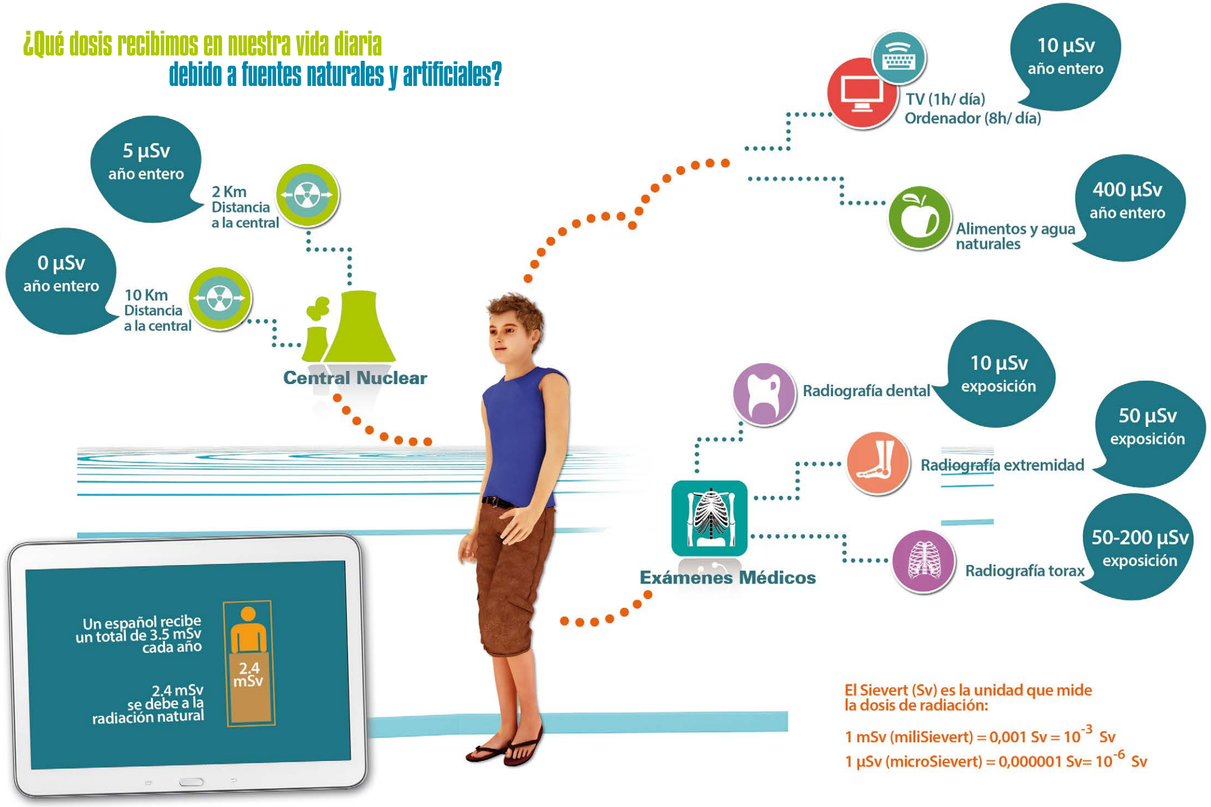
Radiación cósmica

Es originada por los procesos naturales que tienen lugar en el exterior de la tierra

15.000 m	10
10.000 m	5
5.000 m	1
2.000 m	0,1
0 m	0,03

µSv/h
(microSievert/hora)

¿Qué dosis recibimos en nuestra vida diaria debido a fuentes naturales y artificiales?



El Sievert (Sv) es la unidad que mide la dosis de radiación:

1 mSv (miliSievert) = 0,001 Sv = 10^{-3} Sv
1 µSv (microSievert) = 0,000001 Sv= 10^{-6} Sv

5. Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes en los seres vivos y en el medio ambiente: efectos deterministas y efectos estocásticos

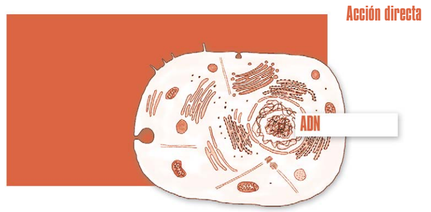


Como ya hemos visto en apartados anteriores, las radiaciones ionizantes (rayos X; radiación gamma, alfa, beta, neutrones) son un tipo de radiación con energía suficiente capaz de arrancar electrones de los átomos quedando como resultado un electrón y un ion cargado positivamente, es decir son capaces de producir la ionización de los átomos.

Hay dos mecanismos de acción de las radiaciones ionizantes que explican los efectos de las radiaciones ionizantes:

Acción directa

Acción directa (el producido por las radiaciones corpusculares con carga (partículas alfa y beta) y su blanco principal lo constituye el núcleo de la célula y específicamente, el ADN.





Acción indirecta



Acción indirecta

Acción indirecta (el producido por partículas sin carga: neutrones y por radiación electromagnética: Rayos X y fotones) y su efecto perjudicial se debe a la absorción de energía por el medio en que se encuentran las moléculas, provocando la ionización del agua, que da lugar a la aparición de radicales libres y otros agentes altamente oxidantes que atacan al ADN provocando cambios químicos en las moléculas.

Es importante destacar que los daños originados en el ADN de la célula o en otra molécula blanco pueden ser reversibles o irreversibles. Si el daño es irreversible, la célula muere; pero si es reversible, pueden ocurrir dos cosas: que los mecanismos de reparación biológica logren que la célula sea viable y continúe ejerciendo su función; o bien que la célula no se repare correctamente y ocurran cambios bioquímicos que provoquen la mutación de la célula generando desórdenes hereditarios o la aparición de un cáncer.

Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes

Los daños biológicos se agrupan en dos categorías generales: estocásticos o probabilísticos y no estocásticos o deterministas.

Efectos deterministas

Son aquellos que ocurren tras la exposición a altas dosis de radiación, suficiente para producir muerte celular en gran cantidad de células, por ejemplo las quemaduras severas en la piel, cataratas, e incluso la muerte.

Se caracterizan por tener una dosis umbral, es decir que aparecen cuando la exposición a la radiación supera una determinada dosis, su gravedad aumenta con la dosis y el número de células afectadas influye proporcionalmente en la gravedad del efecto.

Estas lesiones se presentaron en aquellas personas que utilizaron en su día de forma no controlada las radiaciones ionizantes, o que se vieron expuestas a éstas de manera accidental.

Por tanto, el efecto biológico de las radiaciones ionizantes es la consecuencia de la ionización de los átomos que forman las moléculas de los organismos vivos, produciendo cambios químicos que alteran o impiden la realización de las funciones que estas moléculas desempeñan.

Efectos estocásticos

Son aquellos en los que su probabilidad de aparición es proporcional a la dosis recibida. Ejemplo de ellos es la aparición de un cáncer o de efectos hereditarios. Se caracterizan porque no existe dosis umbral para su aparición, si bien está demostrado que la probabilidad de su aparición aumenta con la dosis. Sin embargo, la gravedad de las lesiones no varía con el aumento de la dosis y se manifiestan en un plazo de tiempo relativamente largo después de ocurrida la exposición.

En el caso de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki, o tras el accidente en la central nuclear de Chernóbil, en la población que estuvo expuesta a las radiaciones ionizantes por debajo de la dosis umbral para la aparición de efectos deterministas, apareció con el tiempo una incidencia de cáncer superior a la estadísticamente normal en poblaciones de características similares a las estudiadas.

	ESTOCÁSTICOS	DETERMINISTAS
Dosis umbral	no	si
Gravedad	Independiente de la dosis	Dependiente de la dosis
Aparición	Tardía	Inmediata/ Tardía





6. Protección radiológica



La protección radiológica es una disciplina científico-técnica que tiene como objetivo la protección de las personas y del medio ambiente contra los efectos nocivos que puedan resultar de las radiaciones ionizantes.

La protección radiológica consiste en proporcionar un adecuado nivel de protección a las personas sin limitar indebidamente las prácticas beneficiosas que dan lugar a la exposición a radiaciones ionizantes.

PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA: JUSTIFICACIÓN, OPTIMIZACIÓN Y LÍMITES DE DOSIS

Para alcanzar sus objetivos la ICRP (1) ha establecido un sistema de protección radiológica basado en tres principios básicos: justificación, optimización y limitación de dosis:

• **Justificación:** Cualquier actividad que lleve asociada el uso o producción de las radiaciones ionizantes, tales como obtención de energía eléctrica, tratamientos médicos y diagnósticos debe conducir a mayores beneficios que perjuicios.
• **Optimización:** Como cualquier dosis representa un riesgo, la probabilidad de incurrir en exposición a radiaciones, el número de personas expuestas y la magnitud de las dosis individuales por ellas recibidas se mantendrán tan bajas como razonablemente sea posible, teniendo en cuenta factores económicos y sociales.
• **Limitación:** La dosis total recibida por un individuo, excluidas las dosis que proceden de las exposiciones médicas y del fondo radiactivo natural, no deberán exceder determinados límites.

Los límites de dosis reglamentarios son decididos por la autoridad reguladora, en España (Consejo de Seguridad Nuclear), teniendo en cuenta la normativa y las recomendaciones internacionales y se aplican a los trabajadores y miembros del público.

(1) Comisión Internacional de Protección Radiológica.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN GENERALES

La protección contra las radiaciones ionizantes incluye una serie de medidas de tipo general. Estas son básicamente:

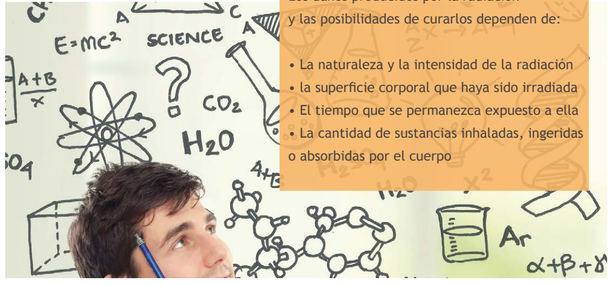
- La **limitación del tiempo de exposición:** puesto que la dosis recibida es directamente proporcional al tiempo de exposición si reducimos a la mitad el tiempo de exposición se recibirá la mitad de la dosis.

- La **reducción de la distancia** a la fuente radiactiva, ya que la dosis recibida es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente radiactiva. Por ello, si se aumenta el doble la distancia, la dosis recibida disminuirá la cuarta parte.

- El uso de **barreras de protección o blindajes** para mantenerse en zonas protegidas lejos del alcance de las radiaciones.

Por ello, la protección contra la irradiación de una fuente externa se consigue mediante la combinación de estos tres factores: **tiempo de exposición, distancia a la fuente y blindaje.**

Cuando se usan las radiaciones ionizantes con fines diagnósticos, como es el caso de los rayos X, que se usan para hacer radiografías, las personas que trabajan con ellas deben tomar precauciones y protegerse, ya que una parte de las radiaciones ionizantes rebota en el paciente, y se dispersa por la sala de rayos X en todas las direcciones.



Los daños producidos por la radiación y las posibilidades de curarlos dependen de:

- La naturaleza y la intensidad de la radiación
- la superficie corporal que haya sido irradiada
- El tiempo que se permanezca expuesto a ella
- La cantidad de sustancias inhaladas, ingeridas o absorbidas por el cuerpo



Una pequeña cantidad de esta radiación no hace daño, pero una persona que pasa muchas horas (tiempo) haciendo radiografías recibiría una dosis mayor y si no se protege podría resultar perjudicial. Por eso, se encierra en unas cabinas aparte (barrera de protección o blindaje) o se sale de la sala donde se está realizando la radiografía (distancia).
Esto es un ejemplo de protección radiológica.

Las personas que trabajan con materiales nucleares o equipos que producen radiaciones ionizantes deben estar equipadas con prendas de protección adecuadas y aparatos para medir la dosis recibida en el transcurso de su trabajo y realizarse periódicamente controles radiológicos y vigilancia médica.

En una instalación nuclear o radiactiva, existe la posibilidad de que se emitan productos radiactivos al medio ambiente, los cuales podrían perjudicar a los seres vivos. Por ello, la protección radiológica se ocupa también de establecer los límites de emisiones radiactivas al medio ambiente y la medida de radiactividad de éste.

Para el caso del personal de intervención que actúa en emergencia, se emplean una serie de equipos de protección personal, como trajes especiales y dosímetros personales, que son unos aparatos capaces de medir la dosis de radiación que recibimos.





7. Organismos nacionales, europeos e internacionales competentes en materia de protección radiológica

Las principales organizaciones internacionales que tienen capacidad de formular recomendaciones, esto es, normas de referencia sobre seguridad que no son vinculantes para los Estados son:

• El **Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)**, creado en 1957 por las Naciones Unidas, tiene su sede en Viena. Es una Agencia de la ONU, que tiene como misión fundamental fomentar la cooperación científica y técnica en el ámbito de la utilización de la energía nuclear con fines pacíficos a nivel mundial.

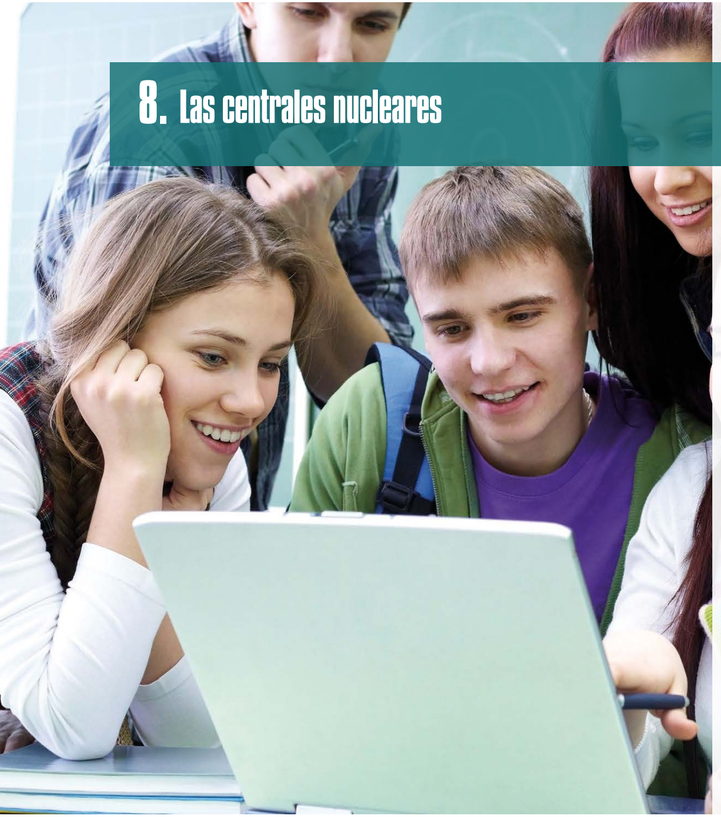
• La **Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP)**. Originariamente se constituyó en 1928 con la denominación de Comisión internacional para la protección frente a los rayos X y el radio, y su cometido se centraba en aplicaciones médicas de la radiación. Estaba formada solamente por médicos y biólogos, pero al ampliar sus cometidos a la protección radiológica de instalaciones nucleares y radiactivas, en 1950, además de cambiar de nombre ha incorporado en su seno a profesionales de distintas ramas (físicos, químicos, ingenieros, etc.). Es una organización científica de carácter asesor, que emite sus recomendaciones mediante publicaciones que constituyen una referencia básica para las organizaciones internacionales implicadas en el desarrollo de la normativa de protección radiológica.

• **La Agencia de Energía Nuclear (NEA)** de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE). Su misión es asistir a sus Miembros para el desarrollo, mediante la cooperación internacional, de las bases científicas, tecnológicas y legales necesarias para el uso seguro, respetuoso con el medio ambiente y económico de la energía nuclear con fines pacíficos, así como llevar a cabo evaluaciones y propiciar una comprensión común en cuestiones clave, como soporte de las decisiones de los Gobiernos sobre política de energía nuclear y como elemento de ayuda para los análisis más amplios que efectúe la OCDE sobre políticas en áreas como la energía y el desarrollo sostenible. En la actualidad forman parte de la OCDE 34 países miembros de Europa, América del Norte y la región Asia-Pacifico.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Internacional del Trabajo (OIT), y el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) son también organismos internacionales que formulan recomendaciones sobre protección radiológica.

A nivel europeo, la **Comunidad Europea de Energía Nuclear (EURATOM)**, integrada dentro de la Unión Europea, tiene entre otras misiones establecer y garantizar la aplicación de normas de seguridad uniformes para la protección sanitaria de la población y de los trabajadores, normativa que es exigida a los países de la Unión Europea.

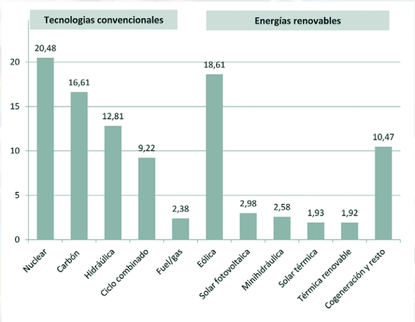
En España, es el **Consejo de Seguridad Nuclear** el organismo regulador competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica, que vela por la protección de las personas y del medio ambiente, en relación con las radiaciones ionizantes.



8. Las centrales nucleares

Las centrales nucleares en España fueron la primera fuente de generación eléctrica en 2014. En ese año la energía nuclear ha aportado en España el 20,48 % de la electricidad.

PRODUCCIÓN ELÉCTRICA BRUTA EN ESPAÑA EN 2014



Fuente: UNESA, REE y Foro Nuclear. Datos de 2014

¿QUÉ ES UNA CENTRAL NUCLEAR Y CUÁL ES SU FUNCIÓN?

Una central nuclear es una instalación industrial en la que la energía térmica (calor) generada en un reactor nuclear es transformada en energía eléctrica.

A diferencia de otras centrales térmicas, en las centrales nucleares el calor se produce en el núcleo del reactor, mediante una reacción química controlada que se conoce como **fisión nuclear**. Para que se produzca esta reacción es necesario utilizar sustancias de naturaleza radiactiva. Después el calor, liberado en el reactor, se emplea en producir vapor de agua a altas presiones, el cual mueve unas turbinas conectadas a grandes generadores eléctricos.



En una central nuclear la sustancia radiactiva que más se utiliza, como combustible para la reacción de fisión, es el uranio natural, pero previamente sometido a un proceso de enriquecimiento, máximo del 5%, en su isótopo con mayor capacidad de fisión (U-235).



El **uranio enriquecido**, a diferencia del uranio natural, es capaz de originar una enorme cantidad de energía; así una pastilla de este tipo de uranio (del tamaño de la punta de un dedo de una persona) puede generar tanta energía como 1.000 kg de carbón o 565 litros de petróleo.

¿Cómo se produce la fisión?

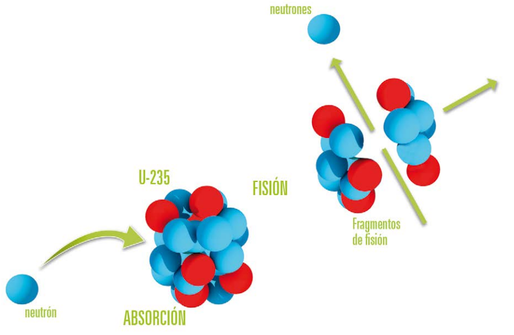
Al bombardear el U-235 con neutrones se produce la fisión del U-235. El neutrón es capturado por el núcleo de U-235 formándose un núcleo de U-236, muy inestable y con una gran probabilidad de fisionarse.

Reacción en cadena

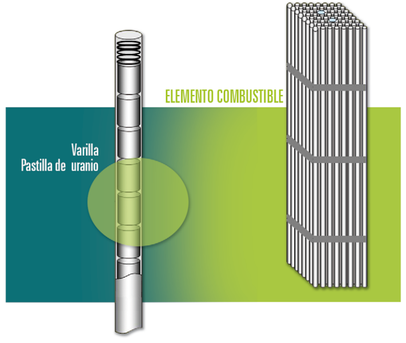
En el proceso de fisión nuclear se libera una gran cantidad de energía parte de la cual se degrada en calor, se originan fragmentos de fisión que a su vez son radiactivos y se liberan neutrones que pueden provocar a su vez la fisión de otros núcleos y así sucesivamente. Esto es lo que se llama **reacción en cadena.**

Elemento combustible

Como ya hemos comentado anteriormente, el combustible más frecuentemente utilizado es el U-235 enriquecido. Este se encuentra en forma de pastillas cerámicas (de 1 cm de alto por 1 cm de diámetro), que se introducen en el interior de una vaina o envoltura metálica formando la **varilla o vaina de combustible**. Las varillas a su vez se colocan en un armazón con otros elementos auxiliares para formar un **elemento combustible**.

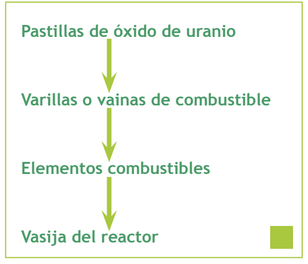


Fisión de U-235



• Vasija del reactor y elementos de control

Estos elementos combustibles se colocan en el interior de la **vasija del reactor**, rodeados de agua.



La vasija del reactor dispone de dos **elementos de control**: **las barras de control y el agua**. Estos dos elementos sirven para mantener la reacción en cadena a una velocidad adecuada y para detenerla en caso de que se detectase una situación anormal.

El **agua** además de ser la encargada de transportar el calor y refrigerar el reactor, contiene boro, por lo que actúa como moderador, es decir, frena los neutrones que se producen en la reacción de fisión y ayuda a detener la reacción en cadena.

Las **barras de control** son de material absorbente de neutrones (boro o cadmio). Cuando la central funciona en condiciones normales no están introducidas en el núcleo del reactor. En cambio cuando se produce un funcionamiento anómalo, se introducen entre los elementos combustibles de tal forma que la reacción en cadena se puede parar totalmente si se insertan del todo, o modificar la potencia del reactor variando la posición de dichas barras.

Elementos de control de la vasija:
- Agua que contiene Boro
- Barras de control

BARRERAS DE SEGURIDAD. SEGURIDAD NUCLEAR

La seguridad en el funcionamiento de las centrales nucleares exige la utilización de un sistema de barreras múltiples cuya misión principal es impedir la emisión de sustancias al medio ambiente. Algunas de estas barreras también pueden actuar como blindajes eficaces contra las radiaciones.

Los productos radiactivos han de atravesar al menos **tres barreras de seguridad** antes de poder escapar al medio ambiente. Cada barrera engloba a la anterior. Estas tres barreras de seguridad son:

- **La varilla o vaina de combustible**, que encierra herméticamente las pastillas de uranio. Algunos autores señalan como primera barrera la propia pastilla, que al ser de materia cerámico retiene la mayor parte de los productos de fisión.

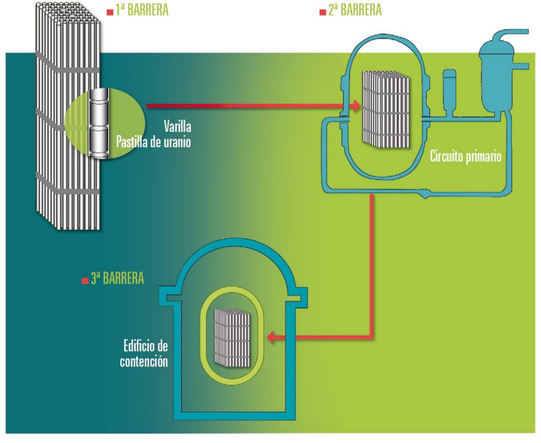
• **La vasija del reactor**, o más estrictamente llamado el **circuito primario**, es la denominada barrera de presión. La vasija del reactor es un recipiente a presión, cilíndrico, de grandes dimensiones, que alberga el núcleo del reactor, sistemas asociados al mismo, y en general, otros elementos estructurales.

• **El edificio de contención**, que encierra la vasija del reactor y otros componentes esenciales. Está diseñado para mantener su hermeticidad en las condiciones de accidente más severo previstas. Está construido de hormigón y recubierto interiormente por una chapa de acero. Existen distintos diseños según el tipo de reactor.

En el caso de que fallaran estas tres barreras de seguridad y hubiera posibilidad de emisión de sustancias radiactivas al exterior se pondrían en marcha los **planes de emergencia nuclear** con el fin de evitar o reducir los efectos adversos de las radiaciones ionizantes en la población y en el medio ambiente. Esto se verá con mayor detalle más adelante.

CENTRALES NUCLEARES EN ESPAÑA

Todas las centrales nucleares existentes en España son de agua ligera (agua corriente). En ellas se emplea agua como moderador de neutrones y como refrigerante del núcleo del reactor.



En España se encuentran en funcionamiento 5 centrales nucleares, todas ellas en la península, 2 de las cuales disponen de 2 reactores cada una (Almaraz y Ascó), por lo que suman 7 reactores de agua ligera.

Actualmente la central nuclear de Santa María de Garoña en Burgos está en fase de parada.

Centrales nucleares en España





5 Centrales nucleares
7 Reactores
en funcionamiento





9. Residuos radiactivos

Las aplicaciones que utilizan isótopos radiactivos, como las centrales nucleares, al igual que otras actividades humanas, generan residuos. La característica principal de éstos es que son residuos radiactivos, es decir, que son emisores de radiaciones ionizantes.

Los elementos combustibles de las centrales nucleares van perdiendo efectividad a medida que generan energía, por lo que llega un momento en que ya no pueden ser utilizados para seguir produciéndola. Por ello, es necesario sustituir periódicamente parte de estos elementos en una operación que se denomina "recarga de la central".

Cuando han sido sustituidos, se deben tratar como un residuo radiactivo.

En España, se define como residuo radiactivo cualquier material o producto de desecho, para el cual no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado por radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).

Al igual que algunos residuos de tipo biológico o químico, los residuos radiactivos necesitan sistemas de tratamiento, confinamiento y almacenamiento a largo plazo que deben ser consecuentes con unas normas específicas de seguridad y protección de las personas y del medio ambiente. Así mismo hay que tener en cuenta el principio de minimizar la cantidad de residuos generados. Es decir, hay que gestionarlos adecuadamente con el objetivo de limitar las exposiciones a la radiación de los trabajadores y del público, y minimizar los posibles efectos a largo plazo en el medio ambiente y en las generaciones futuras.

Un **residuo radiactivo** es cualquier material o producto de desecho, para el cual no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado con radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por la legislación.

ORIGEN, CLASIFICACIÓN Y GESTIÓN

El origen de los residuos radiactivos que se generan en España, como consecuencia de las actividades industriales, es diverso:

- El funcionamiento (u operación) y desmantelamiento de las centrales nucleares.
- El funcionamiento (u operación) de la Fábrica de Elementos Combustibles de Juzbado (Salamanca).
- Residuos generados en el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).
- La aplicación de los radioisótopos a la medicina, industria, agricultura e investigación.
- El reprocesado en el extranjero del combustible gastado procedente de centrales nucleares españolas (Vandellós I).
- El funcionamiento (u operación) de las propias instalaciones de almacenamiento.
- Incidentes ocasionales, por ejemplo, en el reciclado de materiales metálicos.

La clasificación de los residuos radiactivos puede realizase atendiendo a diversos criterios como su estado físico, el tipo de radiación que emiten, el periodo de semidesintegración, etc.

De cara a la gestión integral en nuestro país, los residuos radiactivos se pueden agrupar, pues, en dos grandes conjuntos, dependiendo de su actividad.

Los residuos radiactivos dependiendo de su actividad se clasifican en:
- Residuos de baja y media actividad (RBMA) y muy baja actividad (RBBA) y
- Residuos de alta actividad (RAA)



• **Residuos de baja y media actividad (RBMA) y muy baja actividad (RBBA).** Se trata de materiales contaminados con isótopos radiactivos, cuyo periodo de semidesintegración es inferior a 30 años, es decir que en menos de este tiempo reducirán su actividad a la mitad. Son emisores beta-gamma y emisores alfa en muy bajas concentraciones y no generan calor.

Estos residuos pueden ser herramientas, ropa de trabajo, instrumental médico y otros materiales utilizados en algunas industrias, hospitales, laboratorios de investigación y centrales nucleares.

Suponen 176.000 m3 que equivalen a un 95% del volumen que se genera.

• **Residuos de alta actividad (RAA).** Son emisores alfa en concentraciones apreciables, su periodo de semidesintegración es superior a 30 años y pueden generar calor.

Están constituidos, básicamente, por el combustible gastado de los reactores nucleares y por otros materiales con niveles elevados de radiactividad, normalmente con un contenido apreciable de isótopos radiactivos de vida larga (ver Capítulo 3: “Periodo de semidesintegración de algunos isótopos radiactivos”).

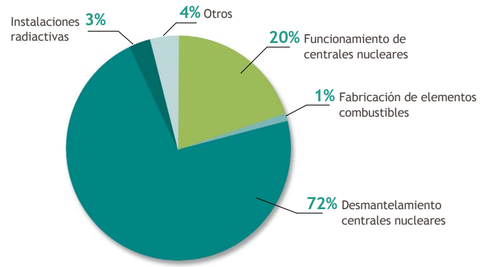
Suponen 12.800 m3 que equivalen a un 5% del volumen que se genera.



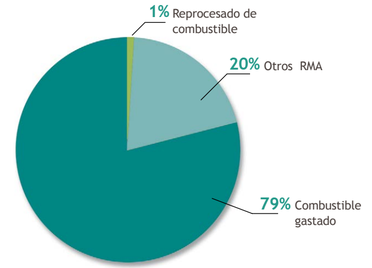
	Residuos de baja y media actividad (RBMA) y muy baja actividad (RBBA)	Residuos de alta actividad (RAA)
Tipo de residuo	Herramientas, ropa de trabajo, instrumental médico y otros materiales utilizados en industrias. hospitales, laboratorios de investigación y centrales nucleares.	Combustible gastado de los reactores nucleares y por otros materiales con niveles altos de radiactividad.
Tipo de emisores	Beta-gamma Alfa (en muy bajas concentraciones)	Alfa
Generación de calor	No generan calor	Pueden generar calor
Periodo de semidesintegración	Menor de 30 años	Mayor de 30 años

EN EL SIGUIENTE GRÁFICO SE DETALLA EL VOLUMEN DE RESIDUOS QUE SE GENERAN EN ESPAÑA Y SU PROCEDENCIA >>

Residuos de baja y media actividad acondicionados (incluye residuos de muy baja actividad)



Combustible gastado y residuos de alta actividad encapsulados (Incluye residuos de media actividad)



(Información basada en el VI Plan General de Residuos Radiactivos 2006. ENRESA)

La gestión de los residuos radiactivos

Tipos de residuos

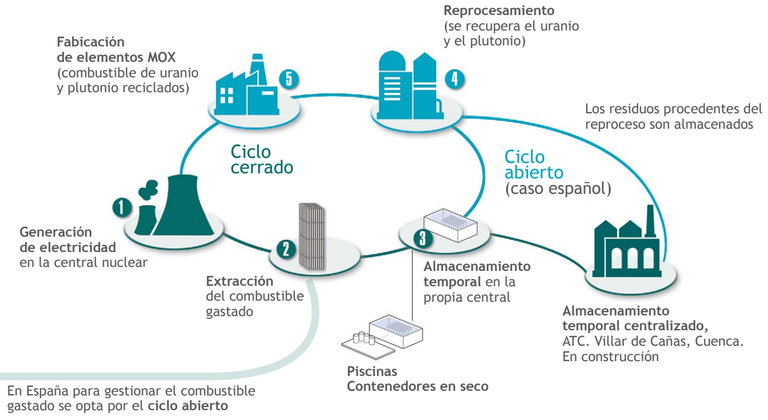
Muy baja, baja y media actividad

Son los residuos generados en reactores y otras aplicaciones (hospitalarias, industria, I+D, etc). En España se almacena en El Cabril, Córdoba.

95%
del total generado en España

Alta actividad o combustible gastado

5%
del total generado en España



La gestión de estos residuos varía en función del grupo al que pertenecen. En España, desde el año 1984, esta gestión es competencia de la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A. (ENRESA), cuya misión es tratar, acondicionar y almacenar de forma segura los residuos radiactivos que se generan en cualquier punto del país. También se ocupa del desmantelamiento de centrales nucleares cuya vida útil ha terminado y de la restauración ambiental de minas e instalaciones relacionadas con el uranio.

Como ya hemos visto anteriormente, la mayor parte de los residuos que se generan en España son de baja y media actividad y muy baja actividad. Su gestión comprende un conjunto de actuaciones que van desde su recogida y transporte hasta su almacenamiento definitivo, con todas las etapas intermedias necesarias como son el tratamiento, acondicionamiento, caracterización y almacenamiento temporal.

Para su almacenamiento Enresa dispone del **Almacén Centralizado de Residuos de Baja y Media Actividad de El Cabril**. Se encuentra en el municipio de Hornachuelos, en la Sierra Albarrana, en la provincia de Córdoba y está diseñado para cubrir el total de las necesidades actuales de almacenamiento de este tipo de residuos, incluidos los procedentes del desmantelamiento de las centrales nucleares.

Esquema de almacenamiento de residuos de media y baja actividad



Los residuos deben aislarse de forma adecuada para evitar su dispersión. Para ello se interponen tres tipos de barreras:
1) la primera, constituida por el contenedor del residuo acondicionado
2) la segunda barrera, integrada por las estructuras de ingeniería que alojan el residuo (acero inoxidable, plomo y hormigón), y
3) la tercera formada por el terreno natural del emplazamiento donde asienta la instalación.

Los residuos una vez aislados convenientemente se almacenan el tiempo necesario para que se conviertan en sustancias inocuas.

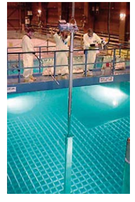
Los **residuos de alta actividad** constituidos básicamente por el combustible nuclear gastado, no se pueden gestionar de forma final en las condiciones establecidas en “El Cabril” y requieren instalaciones específicas para ello.

En España, actualmente, el combustible nuclear gastado (residuo de alta actividad) se almacena de dos formas distintas:

1. Piscinas
2. Almacenes Temporales Individualizados (ATI)



Almacén Centralizado de Residuos de Baja y Media Actividad de El Cabril



1. Piscinas: Una vez descargado del reactor nuclear, el combustible gastado debe permanecer almacenado en las piscinas de las centrales nucleares para su enfriamiento.

La elección del agua como almacén inmediato se debe a su alto coeficiente de transmisión del calor, sus buenas propiedades como blindaje, su transparencia, su manejabilidad y su bajo coste.
Todas las piscinas de almacenamiento con las que cuentan las centrales suelen ser de hormigón armado, internamente revestido con acero inoxidable. Son estructuras resistentes a terremotos.

2. Almacenes Temporales Individualizados (ATI): Cuando se produce la saturación de la capacidad de almacenamiento de las piscinas, se procede a almacenar el combustible gastado, en seco, en un almacén temporal.

Los contenedores para el almacenamiento temporal tienen una doble finalidad: el almacenamiento y su posterior transporte

Actualmente tienen un ATI las centrales nucleares de Trillo, José Cabrera, en la provincia de Guadalajara y Ascó I y II en la de Tarragona.


Almacén Temporal individualizados (ATI)

PROYECTO DE ALMACÉN TEMPORAL CENTRALIZADO (ATC)

En enero de 2012 se publicó en el Boletín Oficial del Estado el Acuerdo de Consejo de Ministros por el que se aprueba la designación del emplazamiento propuesto por el municipio de Villar de Cañas (Cuenca) para albergar el emplazamiento del Almacén Temporal Centralizado de combustible nuclear gastado y residuos radiactivos de alta actividad (ATC) y su centro tecnológico asociado.

Con la puesta en marcha del ATC se garantizará la gestión centralizada de todos los residuos de alta actividad que se generan en España, que corresponden a :

• combustible gastado de las centrales nucleares españolas
• los residuos del combustible de la central nuclear de Vandellós I que tras el incendio que motivó su cierre en 1989 se trasladaron a Francia, donde permanecen, para su reprocesado y

Los residuos de alta actividad están constituidos fundamentalmente por el combustible gastado de las centrales nucleares (79%).
Se almacenan temporalmente en las piscinas de las centrales (almacenamiento húmedo) y en los almacenes temporales individualizados (ATI) de las centrales nucleares (almacenamiento en seco).

• los residuos del desmantelamiento de instalaciones nucleares que, por sus características radiológicas, no puedan ser enviados al Almacén Centralizado de Residuos de Baja y Media Actividad de El Cabril.

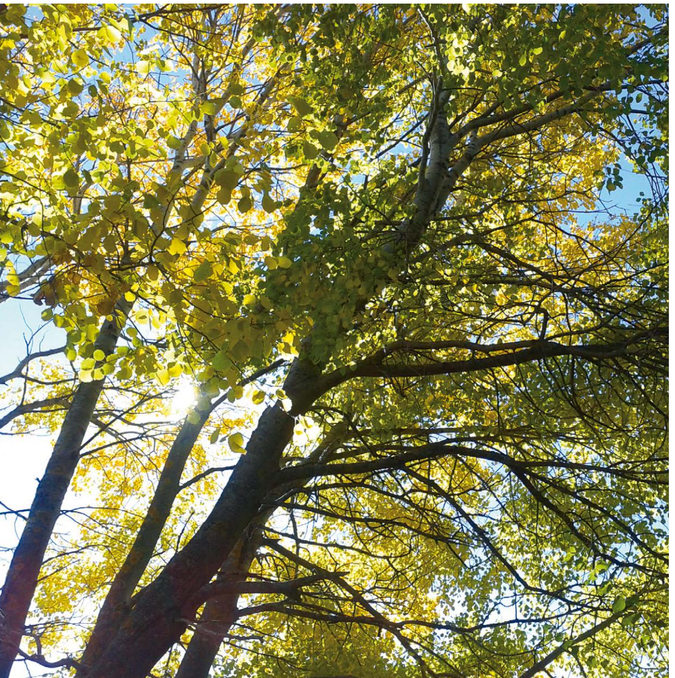
OTROS ALMACENES DE RESIDUOS RADIACTIVOS

En el mundo, existe también otro tipo de instalaciones para el almacenamiento definitivo de los residuos, que garantiza su aislamiento de los seres vivos y del medio ambiente durante miles de años. Es el denominado **Almacén Geológico Profundo (AGP)**, que consiste en almacenar residuos radiactivos de alta actividad a más de 500 metros de profundidad, en el interior de formaciones geológicas estables mediante la interposición de una serie de barreras. Los residuos almacenados en cápsulas de metales resistentes a la corrosión, se disponen en galerías taponadas con materiales absorbentes en formaciones geológicas estables y rodeadas de terreno de baja permeabilidad con gran capacidad de retención.

Actualmente, la única instalación de almacenamiento geológico profundo en funcionamiento es la de WIPP en Nuevo Méjico (Estados Unidos) para residuos nucleares de uso militar de larga vida. No obstante, hay países con programas muy avanzados que, a raíz de las decisiones tomadas recientemente, iniciaran la construcción de instalaciones de almacenamiento geológico, como son los casos de Finlandia y Suecia.



10. Vigilancia radiológica ambiental



PROGRAMAS DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA AMBIENTAL DE LAS CENTRALES NUCLEARES.

Como ya se ha explicado en capítulos anteriores, las centrales nucleares son instalaciones que producen electricidad mediante la energía liberada en la reacción de fisión de sustancias radiactivas, en concreto el U-235.

Las centrales nucleares tienen autorizada la emisión de efluentes radiactivos (líquidos y gases que proceden de la industria nuclear) al exterior pero en cantidad limitada. El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) autoriza y controla estas emisiones. Para garantizar la protección del público y del medio ambiente y minimizar el impacto radiológico, estas instalaciones deben estar equipadas con sistemas independientes y específicos de almacenamiento, tratamiento y evacuación de efluentes.

Programas de vigilancia radiológica ambiental en las centrales nucleares:

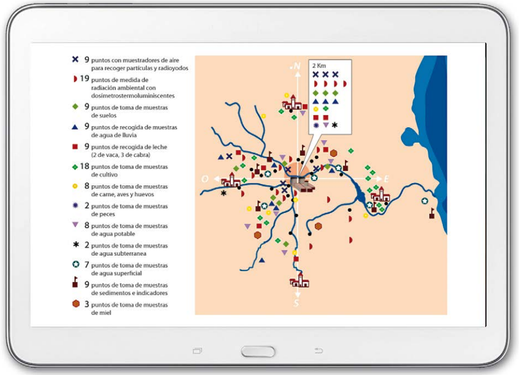
- PVRA en situación de normalidad y
- PVRE en situaciones de emergencia que refuerza al anterior

Con este objetivo y para comprobar el impacto radiológico real y evidenciar que no modifican el valor radiológico ambiental de las zonas donde se ubican, todas las centrales nucleares deben desarrollar un **Programa de vigilancia radiológica ambiental (PVRA)**, que consiste en la toma periódica de alrededor de 1.500 muestras anuales con las que se realizan unos 2.000 análisis al año. Las muestras analizadas son de aire, suelos, agua potable, de lluvia, superficial y subterránea, leche, cultivos, carne, huevos y leche, miel, pescado, sedimentos, etc.

En caso de accidente el material radiactivo que se escaparía al medio ambiente podría afectar al ser humano, por lo que es necesario intensificar el seguimiento de la radiación ambiental.

Los titulares de las centrales nucleares, además, de la vigilancia de la radiación ambiental que efectúan durante el funcionamiento normal de la instalación, disponen de un **Programa de vigilancia radiológica ambiental en emergencias (PVRE)**, constituido por equipos de medida portátiles para la determinación, entre otras medidas, de la tasa de dosis en puntos y recorridos concretos, y para toma de muestras en las zonas alrededor del emplazamiento afectadas por el accidente.

En la figura siguiente se muestran los puntos de toma de muestras del PVRA de la central nuclear de Cofrentes.



REDES DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA AMBIENTAL DE LAS ADMINISTRACIONES PÚBLICAS Y DEL CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR.

Además de los PVRA que deben ser llevados a cabo por los titulares de las centrales, en el territorio español hay diversas redes para la vigilancia radiológica ambiental, alguna de las cuales proporcionan datos de la radiactividad y de otros parámetros en continuo y en tiempo real.

Todas estas redes, que funcionan en situación de normalidad, se utilizarían en caso de producirse un accidente con liberación de material radiactivo, ya que se pondría en marcha un **plan de vigilancia especial**, que incluye la toma de muestras y su medida, así

como el desplazamiento de las unidades móviles a los lugares afectados para la realización de medidas ambientales de caracterización radiológica. Esta caracterización radiológica consiste en medir la tasa de dosis ambiental y la contaminación del suelo.

Red de Alerta de la Radiactividad (RAR)

Es la red de alerta a la radiactividad más extensa de todo el territorio nacional por el número de puntos que la configuran. Fue desarrollada e implantada a principios de los 90 por la Dirección General de Protección Civil y Emergencias (Ministerio del Interior), organismo titular de la misma.

El objetivo de la red de alerta a la radiactividad es la detección, en tiempo real, de cualquier desviación de los **niveles de radiación gamma** respecto a los valores del fondo radiactivo natural y el seguimiento de las tendencias de estos valores.

Estación automática radiológica <<



Sonda de medida de la radiación gamma <<



Las redes de vigilancia radiológica ambiental existentes en el territorio nacional son las siguientes:

- Red de Alerta de la Radiactividad (RAR) de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias (DGPCE)
- Red de Vigilancia Radiológica Ambiental (REVIRA)
- Redes de Comunidades Autónomas.

La red de alerta a la radiactividad (RAR), como sistema básico de obtención de datos, **forma parte de los sistemas de alerta temprana de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias**. Por tanto, en caso de producirse un accidente en las centrales nucleares o cualquier otra instalación nuclear o radiactiva o durante el transporte de materiales radiactivos, tanto en territorio nacional como en el extranjero, **proporcionaría de manera inmediata y en tiempo real, información sobre la situación radiológica de la zona.**

La red de alerta a la radiactividad (RAR) recoge la información radiológica en un conjunto de puntos distribuidos en la geografía nacional a través de las 907 estaciones de medida. Éstas están distribuidas en una malla pseudoregular de 50x50 km, con una mayor densidad de puntos en zonas de interés como entornos de las centrales e instalaciones nucleares, grandes núcleos urbanos, pasos fronterizos, costas y entornos de las centrales e instalaciones nucleares.

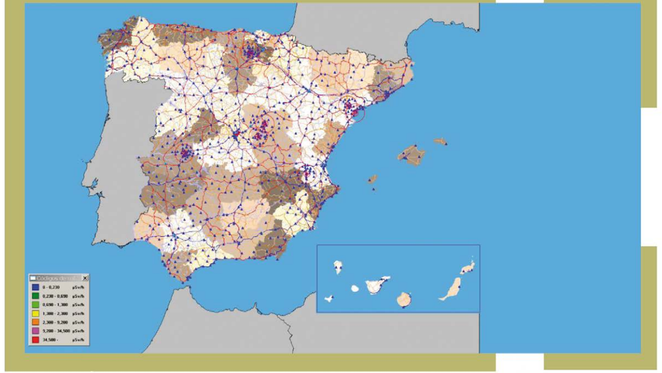
La red de alerta a la radiactividad (RAR) está estructurada en un centro nacional, situado en la Dirección General de Protección Civil y Emergencias, once centros regionales y siete centros asociados. La información obtenida en cada estación se centraliza y procesa en el centro regional correspondiente, que es capaz de actuar sobre todas las estaciones pertenecientes a su zona y de tomar el control de otra zona previo encargo del centro nacional por caída de este. A su vez los centros regionales envían los datos al centro nacional situado en la sede de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias (DGPCE) del Ministerio del Interior en Madrid.

Los centros asociados de consulta pueden conocer los valores que se están registrando y su evolución. Estos centros asociados están localizados en el Ministerio de Defensa, el Consejo de Seguridad Nuclear y algunas Delegaciones del Gobierno.

Las provincias donde están ubicadas las centrales nucleares cuentan con más estaciones de medida.

Mapa de la red de alerta a la radiactividad (RAR)

Distribución de las estaciones de medida



La red de alerta a la radiactividad (RAR) forma parte de los sistemas de alerta temprana de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias y como tal proporcionaría de manera inmediata y en tiempo real, información sobre la situación radiológica de la zona.

Red de Vigilancia Radiológica Ambiental (REVIRA)

Esta red tiene por objeto conocer la concentración, distribución y evolución de los elementos radiactivos y de los niveles de radiación en el medio ambiente, proporcionar datos fiables para estimar el impacto radiológico potencial sobre la población y mantener actualizada una base de datos que permita establecer un rango de valores característico del fondo radiológico en cada región para disponer de niveles de referencia.

Está constituida a su vez por dos redes:

• *La Red de Estaciones Automáticas (REA)* que se encuentra conectada en tiempo real con el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y permite la vigilancia en continuo de la tasa de la radiación gamma y de la concentración radiactiva en el aire (radioyodos, radón y emisores alfa y beta).

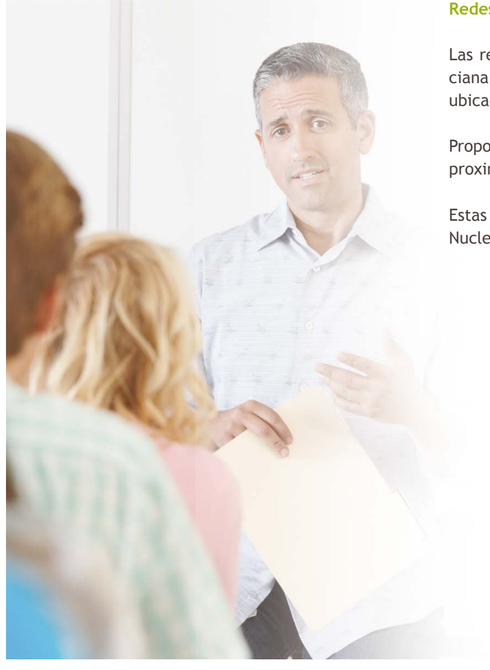
Consta de 25 estaciones, 24 de ellas, distribuidas por todo el territorio nacional, situadas junto a estaciones automáticas de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y una estación situada en Portugal.

• *La Red de Estaciones de Muestreo (REM)* que permite la toma de muestras y su posterior análisis en los laboratorios asociados de diversas universidades españolas, el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) que lleva a cabo la vigilancia de los ríos y las costas.

Red de Vigilancia Radiológica Ambiental (REVIRA) formada por:

- La Red de Estaciones Automáticas (REA)
- La Red de Estaciones de Muestreo (REM)

Estos análisis periódicos permiten determinar la concentración de radionúclidos en diversos tipos de muestras, que son las principales vías de transferencia de los contaminantes radiactivos a la población. Se trata de muestras de agua potable, leche y alimentos que componen una dieta completa o dieta tipo. Además se vigila la atmósfera, los suelos y las aguas continentales y marinas. La frecuencia de muestreo depende del medio a vigilar.



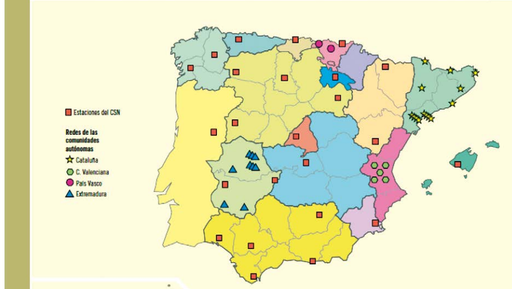
Redes de Comunidades Autónomas

Las redes de la Comunidades Autónomas de Extremadura, el País Vasco, la Comunidad Valenciana y Cataluña, disponen de estaciones distribuidas en el entorno de las centrales nucleares ubicadas en sus respectivos territorios y por toda su comunidad.

Proporcionan datos de vigilancia radiológica ambiental en continuo de zonas de interés por su proximidad a centrales nucleares, núcleos de población importantes y zonas costeras.

Estas redes se integran en la red de estaciones automáticas (REA) del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).

Red de vigilancia radiológica ambiental (Revira)
Distribución de las estaciones de las redes automáticas



Unidades móviles de caracterización radiológica

Además de las redes anteriormente descritas, hay determinadas instituciones y organismos como el Gobierno de Extremadura y el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) que disponen de unidades móviles de vigilancia radiológica ambiental.

Estas unidades están dotadas de instrumentación diversa y facilitan información de determinados parámetros radiológicos como tasa de dosis gamma ambiental, contaminación del terreno, y concentración de radioyodos en aire. Además, están provistas de espectrómetros, que son equipos que permiten identificar cual es el radioisótopo emitido al medio ambiente.



En caso de emergencia, si se considera necesario, se procedería a su activación, trasladándose al territorio afectado para apoyar a la caracterización radiológica.

Los datos proporcionados por estas unidades móviles, complementarios a los suministrados por la redes de vigilancia radiológica ambiental, son transmitidos al Consejo de Seguridad Nuclear y en caso de emergencia se trasladarían al órgano de dirección del Plan de Emergencia Exterior, sirviendo de apoyo en el proceso de toma de decisiones en cuanto a las medidas de protección a adoptar.

El Instituto de Salud Carlos III dispone de una unidad móvil para el análisis in situ de muestras de agua y alimentos. Esta unidad podría ser movilizada en caso de emergencia suministrando información relevante para la adopción de medidas relativas a restricciones en el consumo de alimentos y agua.



Unidad móvil Laruex de la Universidad de Extremadura



Unidad móvil del CIEMAT





11. ¿Qué es el riesgo nuclear? Accidentes nucleares y sus consecuencias

1. ANÁLISIS DE RIESGOS

Las centrales nucleares, como cualquier otra actividad industrial, aportan una serie de beneficios para la sociedad pero, a su vez, pueden conllevar ciertos efectos no deseados, riesgos o daños para la misma.

Un análisis de riesgos es un estudio científico que constituye la base para determinar las fuentes u orígenes de los riesgos, sus causas, los elementos vulnerables y las consecuencias que pueden tener sobre las personas y los bienes.

Los resultados de los estudios sirven después para tomar decisiones acerca de las medidas de prevención a adoptar, o sobre las medidas de protección que ayuden a evitar o reducir las consecuencias, en caso de que ocurriese un accidente o catástrofe.

El análisis de riesgos puede utilizarse tanto para estudiar accidentes que ocurren con poca frecuencia pero cuyas consecuencias pueden ser muy graves, como para estudiar accidentes que son frecuentes y de bajas consecuencias. Se constituye como una herramienta necesaria para elaborar un “Estudio de seguridad” que se les exige a determinadas actividades industriales en los requisitos de autorización o licenciamiento exigidos por la normativa sectorial, como es el caso de las centrales nucleares.



2. RIESGO NUCLEAR

Algunos de los riesgos de las instalaciones nucleares y radiactivas son comunes a los de otras industrias, pero otros son exclusivos de este tipo de instalaciones como es el riesgo radiológico. **Cuando se hace referencia a reactores nucleares o centrales nucleares utilizamos la expresión particular de «riesgo nuclear»**. Para calificar una central nuclear desde el punto de vista del riesgo que representa, se deben tener en cuenta dos factores: la magnitud del **daño que se puede producir** y la **probabilidad de que ese daño** efectivamente se produzca. La magnitud del daño nuclear se mide en términos de dosis de radiación o en términos de liberación de materiales radiactivos al exterior.

Las centrales nucleares son instalaciones que se diseñan para asegurar, con un alto grado de confianza, que para todos los accidentes contemplados en el "Análisis de seguridad" **las consecuencias radiológicas sean muy pequeñas y que la probabilidad de ocurrencia de accidentes severos con efectos graves para la población que vive en su entorno, sea muy baja.**



Además, las centrales nucleares se mantienen en unas condiciones de funcionamiento reguladas y controladas para asegurar que durante su funcionamiento la exposición a la radiación dentro de la instalación sea tan baja como sea posible y que no se produzcan emisiones al exterior por encima de los valores autorizados.

Además de todas las barreras de seguridad y las redes y programas de vigilancia ambiental, otro instrumento para hacer frente al riesgo nuclear son los **planes de emergencia nuclear**, gracias a los cuales se planifican y preparan las diversas acciones a llevar a cabo en situaciones de emergencia. Estos planes se explicarán con detenimiento en el capítulo 12.

3. VÍAS DE EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN. RIESGOS ASOCIADOS A LAS RADIACIONES IONIZANTES.

Para explicar las vías de exposición a la radiación es necesario definir previamente lo que se entiende por exposición externa y contaminación externa e interna.

Exposición externa
Exposición directa a las partículas presentes en la nube radiactiva o depositadas en el suelo sin estar en contacto con el organismo.

Contaminación externa
Depósito de las partículas radiactivas en el exterior del organismo.

Contaminación interna
Incorporación de las partículas radiactivas al interior del organismo.

En la siguiente figura se recogen las vías de exposición a la radiación a las que estaría sometida la población en caso de producirse un accidente nuclear con emisión de sustancias radiactivas al exterior, dependiendo de si la fuente radiactiva está situada en el exterior o en el interior del cuerpo.

Seguidamente se analizan en detalle cuales son estas vías de exposición durante la emisión de las sustancias radiactivas y el paso de la nube radiactiva y una vez ésta ha finalizado.



3.1 Durante la emisión y el paso de la nube radiactiva: exposición externa y contaminación externa e interna.

En el caso de que ocurriera un **accidente grave** en una central nuclear podría haber una **emisión al exterior de materiales radiactivos**, lo que supondría un riesgo para la población, los trabajadores de la propia central y el medio ambiente.

Exposición externa

La radiación no se puede ver ni percibir por ninguno de los sentidos y por ello si nos encontramos en el lugar por donde pasa la nube radiactiva podríamos estar sometidos a la exposición externa procedente de la misma. La **exposición externa** se produce, por tanto, por la exposición a las sustancias radiactivas presentes en la nube, pero a diferencia de la contaminación, las sustancias radiactivas no llegan a entrar en contacto con el organismo. Los efectos adversos de la exposición externa cesarían si no nos exponemos al paso de la nube.

Esta vía de exposición durante la emergencia, es importante en la medida en que las personas están expuestas a la nube radiactiva.

Contaminación

Las sustancias radiactivas emitidas al exterior serían transportadas por el viento en estado gaseoso o en forma de aerosoles, constituyendo lo que habitualmente se llama ***nube radiactiva***. Estas partículas se depositarían en edificios, suelos o plantas. La piel, el pelo y las prendas de vestir también podrían quedar contaminados por estas sustancias. Esto es lo que se llama **contaminación radiactiva externa.**

Las partículas también podrían **inhalarse** con la respiración o **ingerirse** mediante el consumo de alimentos o líquidos contaminados, penetrando así en el interior del organismo. Así mismo, podrían **absorberse** por el organismo a través de la piel o de heridas que se tuvieran. Esto sería **contaminación radiactiva interna.**

A diferencia de la exposición externa, la **contaminación**, tanto interna como externa, continua causando daño hasta que se eliminan las partículas radiactivas del exterior o interior del organismo.



Vías de exposición: durante el paso de la nube radiactiva

- Exposición externa
- Contaminación externa e interna

3.2 Después de la emisión y el paso de la nube radiactiva: Contaminación externa e interna y exposición externa a partículas depositadas.

Una vez ha pasado la nube radiactiva, el material radiactivo que se deposita en el suelo se convierte en una fuente de exposición externa. A pesar de que esta dosis de radiación externa tiende a acumularse más lentamente, en muchos casos es la vía general más importante. Esto supone un riesgo por **exposición externa**.

Además, ciertas condiciones pueden aumentar la exposición de determinados grupos de población al material depositado. Por ejemplo, las tareas agrícolas en las que se genera polvo pueden provocar la inhalación de material radiactivo que se vuelve a suspender. En este caso hablaríamos de **contaminación interna por inhalación**.

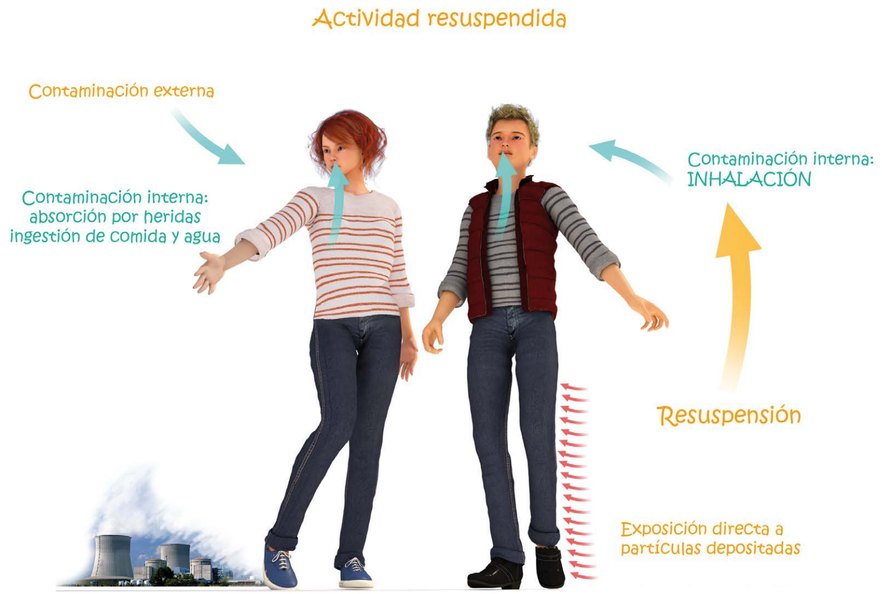
Otra forma de contaminación interna se produce por el consumo de agua y alimentos contaminados, en los días posteriores a un accidente. En especial, el depósito directo o el agua de lluvia contaminada pueden afectar rápidamente a frutas y hortalizas de hoja. La leche puede contaminarse si las vacas comen pasto contaminado como ocurrió en Chernóbil. Obviamente, la comercialización de los alimentos producidos en una zona contaminada puede afectar también a personas en otras zonas.

En caso de producirse una emisión de agua contaminada o depósito directo de materiales radiactivos de la atmósfera en el agua, las vías acuáticas pueden ser una causa de preocupación importante. La contaminación interna puede resultar de beber agua contaminada o usarla para lavar, cocinar u otras tareas domésticas. Cuando las escorrentías transfieren el material radiactivo a los lagos interiores, el consumo de pescado contaminado también puede ser una vía importante de contaminación.

En todos estos casos el riesgo se debe a la **contaminación interna por ingestión y por absorción por las heridas que pudiera haber previamente en la piel.**

En la infografía siguiente podemos ver las vías más importantes de exposición con indicación de los isótopos radiactivos más frecuentes en el caso de un accidente severo en una central nuclear donde ha habido emisión de materiales radiactivos desde el núcleo del reactor o desde la piscina de combustible gastado.

En este caso, se ve la **exposición externa** producida por las partículas depositadas en el suelo, así como la **contaminación externa** por deposición de las sustancias radiactivas en nuestra superficie corporal y en el suelo. Como consecuencia de esta contaminación externa puede darse **contaminación interna** por inhalación, por llevarse sin darse cuenta la contaminación de las manos a la boca (ingestión involuntaria) y por la ingestión de agua, leche y otros alimentos contaminados.

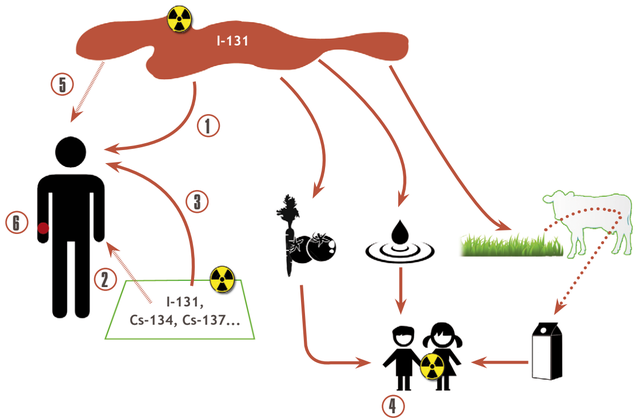


Vías de exposición: después del paso de la nube

Después de la emisión y el paso de la nube radiactiva

- Exposición externa a partículas depositadas
- Contaminación externa e interna

Principales vías de exposición



1. Inhalación de la nube radiactiva
2. Exposición externa del suelo
3. Ingestión involuntaria procedente del suelo
4. Ingestión de verduras y leche contaminados
5. Exposición externa de la nube
6. Contaminación de la piel

4. MEDIDAS DE PROTECCIÓN A LA POBLACIÓN

Las medidas de protección a la población que se aplicarían en caso de accidente nuclear están destinadas a evitar, o al menos a reducir en la medida de lo posible, los efectos adversos de las radiaciones ionizantes a las personas.



Medidas de Protección a la Población

CONTROL DE ACCESOS

Restricción parcial o total del acceso de la población a la zona afectada por una emergencia nuclear.

CONFINAMIENTO

Permanencia de la población en sus domicilios, o en edificios próximos a los lugares donde se encuentre en el momento de ordenarse la adopción de la medida, con las ventanas y puertas cerradas y con los aparatos de climatización apagados.

PROFILAXIS RADIOLÓGICA

Ingestión de compuestos químicos, en concreto yoduro potásico, para reducir la absorción de yodo radiactivo por la glándula tiroides.

EVACUACIÓN

Traslado de la población que pueda resultar afectada por el paso de la nube radiactiva fuera de ese lugar.

ALOJAMIENTO PROVISIONAL O PERMANENTE

Puesta a disposición de un lugar para vivir, temporal o definitivamente, a las personas que han sido evacuadas a un Área Base de Recepción Social (ABRS) y que no puedan volver a sus casas.

DESCONTAMINACIÓN DE PERSONAS

Comprobación con aparatos específicos si existe contaminación, y en caso de que exista, aplicar los procedimientos de descontaminación previstos.

AUTOPROTECCIÓN CIUDADANA Y AUTOPROTECCIÓN DEL PERSONAL DE INTERVENCIÓN

Conjunto de actuaciones y medidas a llevar a cabo por uno mismo, con el fin de evitar o disminuir en lo posible la contaminación externa e interna.

MEDIDAS RELATIVAS AL CONSUMO DE AGUA POTABLE

Restricción o prohibición del uso de agua potable por la población afectada en caso de que exista una duda o evidencia de que la red de suministro lleva agua contaminada.

MEDIDAS RELATIVAS A LA CADENA ALIMENTARIA

Prohibición del consumo y de la comercialización de alimentos que puedan estar contaminados (todos aquellos que no se encuentren envasados o en cámaras herméticas, refrigeradores domésticos, etc., antes de la fuga radiactiva).



Como veremos a continuación, determinadas medidas de protección deben adoptarse de forma rápida para que sean eficaces, disminuyendo la eficacia de manera significativa en caso de demora.

Algunas de ellas son medidas que, en principio, se conciben para ser aplicadas durante un periodo de tiempo corto.

Por lo general, en los primeros momentos de la emergencia la información de la que se dispone sobre la naturaleza y gravedad del accidente es escasa, por lo que la toma de decisiones sobre la adopción de estas medidas tiene que realizarse en base a hipótesis de la previsible evolución del accidente y en un corto espacio de tiempo.

Las medidas de protección a adoptar están condicionadas, entre otros factores, por:

- La naturaleza de la radiación
- Las vías de exposición
- La urgencia con la que deban adoptarse
- El tiempo del que se dispone para su aplicación eficaz
- El periodo durante el que deberán ser aplicadas

1 CONTROL DE ACCESOS

Restricción parcial o total del acceso de la población a la zona afectada por una emergencia nuclear.

Consiste en restringir parcial o totalmente el acceso de la población a la zona afectada por una emergencia nuclear.

Se realiza mediante el establecimiento de puestos de fuerzas y cuerpos de seguridad en determinados puntos de las vías de acceso a la zona, para impedir el acceso de las personas cuya presencia en dicha zona no esté justificada.

Su puesta en práctica tiene que iniciarse con prontitud, y debe ir acompañada de la correspondiente información a la población potencialmente afectada.

La adopción de esta medida trata de evitar la exposición de personas inicialmente no afectadas por el accidente y controlar dosimétricamente al personal que intervenga en la emergencia y que deba entrar o salir de las zonas afectadas.



Además de este objetivo principal, con el control de accesos se persigue:

- Facilitar la puesta en práctica de otras medidas de protección a implantar y, con carácter general, todas las actividades de intervención necesarias para una adecuada gestión de la emergencia por parte de los responsables.
- Facilitar la circulación de vehículos, dando las prioridades acordes con las necesidades de la buena gestión de la emergencia.
- Contribuir a la difusión de la información facilitada por las autoridades.

2 CONFINAMIENTO

Permanencia de la población en sus domicilios, o en edificios próximos a los lugares donde se encuentre en el momento de ordenarse la adopción de la medida, con las ventanas y puertas cerradas y con los aparatos de climatización apagados.

Consiste en la permanencia de la población en sus domicilios, o en edificios próximos a los lugares donde se encuentre en el momento de ordenarse la adopción de la medida, con las ventanas y puertas cerradas y con los aparatos de climatización apagados.

Su finalidad es evitar la exposición externa a la nube radiactiva y al material depositado en el suelo y la contaminación, tanto externa como interna, por inhalación de las sustancias radiactivas. Además, esta medida sirve para facilitar la aplicación de las otras medidas de protección.

En general el confinamiento no debería prolongarse mucho en el tiempo, ya que las personas pueden tener necesidad de abastecerse de alimentos, agua, medicamentos, etc., atender a sus familiares o ir en su busca, o salir de una situación de aislamiento que origina estrés.



Por eso es muy importante conocer, además de las circunstancias del accidente, la estimación del tiempo de duración de la emisión radiactiva al exterior, pues en caso de emisiones prolongadas, el confinamiento, por los motivos indicados no sería aconsejable.

Después del paso de la nube radiactiva y cuando se confirme que el nivel de radiación ha descendido por debajo de ciertos valores, conviene finalizar el confinamiento.

En el caso de que el nivel de radiación en el exterior se mantuviese por encima de un determinado valor, habría que plantear el alejamiento de la zona afectada de la población confinada.

3 PROFILAXIS RADIOLÓGICA

Ingestión de compuestos químicos, en concreto yoduro potásico, para reducir la absorción de yodo radiactivo por la glándula tiroides.

El yodo radiactivo puede penetrar en el organismo por inhalación de aire contaminado o por ingestión de alimentos contaminados, sobre todo mediante la leche de animales que hayan pastado en terrenos contaminados.

La glándula tiroides para su funcionamiento y producción de hormonas tiroideas, necesita yodo. En caso de producirse un accidente en una central nuclear en el que se emitiese yodo radiactivo al medioambiente, este yodo radiactivo sería inhalado o ingerido por la población del entorno de la central, a través de los alimentos, fundamentalmente a través de la leche, y se fijaría al tiroides, aumentando el riesgo de aparición de cáncer de tiroides, sobretodo en niños.

La profilaxis radiológica consiste en la ingestión de compuestos químicos, en concreto yoduro potásico, para reducir la absorción de yodo radiactivo por la glándula tiroides. La ingestión de yoduro potásico es una medida de protección específica en caso de accidente nuclear.

Su finalidad es reducir el riesgo de aparición de cáncer de tiroides, pues protege la glándula previniendo o reduciendo la absorción de yodo radiactivo.

La eficacia de la profilaxis radiológica con yoduro potásico **depende de la prontitud con la que se adopte.** Así, si se administra en el periodo que precede a la emisión radiactiva a la atmósfera o inmediatamente después la eficacia es elevada. Por el contario, está admitido que su eficacia es prácticamente nula si se administra transcurridas 12 horas desde la emisión.



La profilaxis radiológica consiste en administrar yoduro potásico para evitar o disminuir la fijación del yodo radiactivo por la glándula tiroides. Su finalidad es prevenir o disminuir el riesgo de aparición de cáncer de tiroides.

El accidente de Chernóbil puso de manifiesto que los niños y los neonatos son los sectores de población más vulnerables a la exposición al yodo radiactivo. Por ello, un elevado número de personas que en el momento del accidente tenían edades comprendidas entres los 0 y los 16 años han desarrollado cáncer de tiroides.

El yoduro potásico es un medicamento, por lo que solo debe ser ingerido cuando lo ordenen las autoridades sanitarias y siguiendo sus instrucciones.

Por lo general el yoduro potásico es un medicamento bien tolerado. En caso de padecer alguna enfermedad de tiroides, como hipertiroidismo, o hipersensibilidad al yodo debe consultarse con el médico del centro de salud para conocer si puede ingerir yoduro potásico en caso de ser ordenado.

En España, la Dirección General de Protección Civil y Emergencias del Ministerio del Interior, es la responsable de la adquisición y distribución de la dotación de yoduro potásico necesaria tanto para la población afectada como para los actuantes de los planes de emergencia nuclear. También es responsable de la reposición de las dotaciones previa a su caducidad.

4 EVACUACIÓN

Traslado de la población que pueda resultar afectada por el paso de la nube radiactiva fuera de ese lugar.

La evacuación consiste en que la población que pueda resultar afectada por el paso de la nube radiactiva, se traslade fuera de ese lugar. Existen lugares específicos para reunirla y albergarla durante un corto periodo de tiempo. En los planes de emergencia nuclear estos lugares se denominan **Áreas Base de Recepción Social (ABRS).**

La evacuación tiene por finalidad evitar la exposición a dosis elevadas de radiación procedentes principalmente de la nube radiactiva, es decir **evitar la exposición externa** debido a las partículas radiactivas presentes en la nube **y la contaminación interna** por inhalación de éstas.

Aunque la evacuación puede realizarse en las distintas fases de evolución del accidente, tiene su máxima eficacia, si se adopta como medida preventiva antes de que se haya producido la emisión de sustancias radiactivas. En este caso se evitaría totalmente la exposición a la radiación.

La evacuación según lo previsto en los planes de emergencia **será ordenada por las autoridades.** Una vez ordenada, la población que disponga de vehículos propios se trasladará a los lugares indicados especialmente habilitados para acoger a los evacuados. El traslado de las personas que no dispongan de vehículo propio, de los escolares, en el caso de que la evacuación sea ordenada en horario escolar, y de las personas mayores o con movilidad reducida, se efectuará en vehículos de transporte público adaptados.



5 ALOJAMIENTO PROVISIONAL O PERMANENTE

Puesta a disposición de un lugar para vivir, temporal o definitivamente, a las personas que han sido evacuadas a un Área Base de Recepción Social (ABRS) y que no puedan volver a sus casas.



Si una vez transcurrido el periodo de permanencia en los albergues, que por lo general no debe ser superior a una semana, los niveles de radiación en la zona afectada fuesen superiores a los valores permitidos, la población evacuada no podría regresar a su hogares.

En estos casos las autoridades, una vez considerados factores radiológicos, económicos y sociales podrían decidir aplicar la medida de protección denominada **alojamiento provisional o permanente.**

Esta medida consiste en proporcionar a las personas que han sido evacuadas un lugar para vivir hasta que procedan a regresar a sus domicilios.

Su finalidad es **evitar la exposición externa** procedente de las partículas radiactivas depositadas en el suelo, y **la contaminación externa e interna** causada por la resuspensión de las partículas radiactivas del suelo.

6 DESCONTAMINACIÓN DE PERSONAS

Comprobación con aparatos específicos si existe contaminación, y en caso de que exista, aplicar los procedimientos de descontaminación previstos.

Como hemos visto anteriormente, la evacuación alcanza su máxima eficacia cuando se lleva a cabo de manera preventiva, antes de que se produzca la emisión de partículas radiactivas al exterior.

Podría ocurrir que en determinadas circunstancias no fuese posible realizar la evacuación preventiva y que las autoridades la ordenasen después del paso de la nube radiactiva. En estos casos, la población podría sufrir contaminación tanto externa como interna y sería necesaria eliminarla.

La descontaminación de personas consiste en comprobar con aparatos específicos si existe contaminación, y en caso de que exista, aplicar los procedimientos de descontaminación previstos.

Su finalidad es verificar la presencia o no de contaminación y, en su caso, eliminar la contaminación externa y detectar la posible contaminación interna.

Para poder llevar a cabo esta medida de protección, las personas evacuadas serán dirigidas hacia las **Estaciones de Clasificación y Descontaminación (ECD)**, ubicadas fuera de la zona contaminada, tal y como está previsto en los planes de emergencia nuclear.

En caso de que hubiera contaminación interna, estas personas serían trasladadas a unos centros sanitarios específicos para su tratamiento, mediante vehículos sanitarios preparados al efecto.



7 AUTOPROTECCIÓN CIUDADANA Y AUTOPROTECCIÓN DEL PERSONAL DE INTERVENCIÓN

Conjunto de actuaciones y medidas a llevar a cabo por uno mismo, con el fin de evitar o disminuir en lo posible la contaminación externa e interna.

Consiste en un **conjunto de actuaciones y medidas a llevar a cabo por uno mismo**, con el fin de evitar o disminuir en lo posible la contaminación externa e interna.

Estas actuaciones incluyen métodos y técnicas sencillas que pueden ser puestas en práctica fácilmente por la población y el personal que interviene en la emergencia:

- Si se ordenase el confinamiento hay que desconectar los sistemas de climatización y sellar las rendijas de las casas para impedir la entrada de aire del exterior y reducir el riesgo de exposición directa, contaminación externa e interna.
- Mantener las manos lejos de la boca y de cualquier orificio corporal, para reducir el riesgo de contaminación interna.
- No fumar, comer o beber sin lavarse las manos previamente, para reducir el riesgo de contaminación interna.
- Lavarse las manos, ducharse y cambiarse de ropa cuanto antes, poniéndola en una bolsa aparte, para eliminar la posible contaminación externa y evitar así la contaminación interna.
- Cubrirse el cuerpo con prendas de vestir para disminuir el riesgo de contaminación externa.
- Taparse la nariz y la boca con un pañuelo para evitar la contaminación interna por inhalación.

Otros más especializados están destinados a la protección del personal que interviene en la emergencia, como el uso de prendas de protección y equipos de medida de la radiación (dosímetros).

8 MEDIDAS RELATIVAS AL CONSUMO DE AGUA POTABLE

Restricción o prohibición del uso de agua potable por la población afectada en caso de que exista una duda o evidencia de que la red de suministro lleva agua contaminada.

Esta medida consiste en la restricción o prohibición del uso de agua potable por la población afectada en caso de que exista una duda o evidencia de que la red de suministro lleva agua contaminada.

Su finalidad es evitar la ingestión de agua contaminada por sustancias radiactivas debido a la emisión de material radiactivo al medioambiente.

Esta medida no tiene porqué ser adoptada desde el inicio de la emergencia ya que la contaminación del agua de la red de abastecimiento público no es inmediata, pues tiene que transcurrir un tiempo hasta que se produzca la contaminación de los puntos de captación y para que el agua contaminada discurra por las instalaciones de tratamiento, los depósitos y la red de abastecimiento y llegue hasta los puntos de consumo (hogares, fuentes, etc.,…), por ello, en caso de haberse ordenado el confinamiento, la restricción o prohibición del consumo de agua en los primeros momentos es poco probable.

Siempre que se ordene esta medida deberá ir acompañada de una provisión de agua embotellada.

9 MEDIDAS RELATIVAS A LA CADENA ALIMENTARIA

Prohibición del consumo y de la comercialización de alimentos que puedan estar contaminados (todos aquellos que no se encuentren envasados o en cámaras herméticas, refrigeradores domésticos, etc., antes de la fuga radiactiva).

Consiste en la prohibición del consumo de alimentos que puedan estar contaminados (todos aquellos que no se encuentren envasados o en cámaras herméticas, refrigeradores domésticos, etc.). Debe iniciarse durante la emisión radiactiva y prolongarse hasta que las mediciones radiológicas indiquen que puede finalizar la aplicación de esta medida.

También consiste en el control de la comercialización de productos agrícolas desde el punto de vista radiológico, tanto de los que puedan dedicarse para la alimentación humana como para la alimentación animal.

Su finalidad es triple:

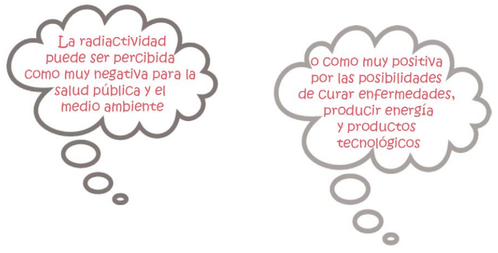
- Reducir el riesgo de contaminación interna por ingestión.
- Evitar que sean comercializados productos agrícolas contaminados que pudieran afectar a personas incluso muy alejadas de las zonas directamente afectadas por el accidente.
- Garantizar a los consumidores que los productos de la zona afectada están adecuadamente controlados desde el punto de vista radiológico, facilitando para ello la vuelta a la normalidad socioeconómica en dicha zona.

5. IMPORTANCIA DE LA INTERPRETACIÓN DEL RIESGO EN CASO DE RIESGO NUCLEAR

La radiactividad, que es la base del riesgo nuclear, puede ser percibida como muy negativa para la salud pública y el medio ambiente o como muy positiva por las posibilidades de curar enfermedades y producir energía y productos tecnológicos para el consumo social cotidiano.

Hay diferentes posturas sociales, como las Asociaciones ecologistas, que defienden el cierre de las centrales nucleares al pensar que la industria nuclear tiene más riesgos que beneficios. Es la actitud social que se ha llamado **"antinuclear"**. Y por el contrario, hay otros sectores que defienden este tipo de actividad al pensar que tiene más beneficios que perjuicios, aludiendo que las medidas de seguridad son muy eficaces y que la probabilidad de accidentes es muy pequeña. Esta es la actitud **"pronuclear".**

Ante esta perspectiva, la forma en que las instituciones y las empresas que trabajan en este sector de la industria nuclear han informado sobre sus medidas y sus normativas, además de los medios de comunicación y algunas películas de cine, han contribuido a que los ciudadanos tengan una imagen poco clara y confusa de lo que



puede suponer el riesgo en el funcionamiento de las centrales y lo que puede ocurrir en caso de accidente.

Además, sobre todo en los habitantes de los entornos de las centrales nucleares en nuestro país, con cierta frecuencia nos encontramos una forma de interpretar el riesgo nuclear que se ha ido generalizando por la circulación de rumores, por miedo, por falta de información real, y que puede llevar a tomar decisiones equivocadas si llegara a desencadenarse una emergencia.

Conocer estas percepciones puede ayudarnos a saber cuándo hacer caso de ideas que ayudan a enfrentar el riesgo de forma adecuada, asumiendo actitudes de prevención y protección, o qué ideas pueden ser equivocadas y contribuyen a la creencia de que, frente al riesgo, no hay ninguna capacidad ni posibilidad de aumentar nuestra protección.

A continuación se relacionan algunas de estas ideas muy comunes porque conocerlas ofrece la posibilidad de aprender a percibir el riesgo, de distinguir la realidad de lo que no lo es, y de estar mejor informados y preparados.

Algunas ideas de la población en relación a:



1- Se desencadenaría por la explosión de la central nuclear.
2- Si hubiera un accidente, sería como el de Chernóbil o el de Fukushima.
3- Puede que no haya accidentes, pero lo peligroso son los residuos.



1- Si hubiera un accidente en la central nuclear, las autoridades lo ocultarían y la población no lo sabría hasta que fuera demasiado tarde.
2- Las autoridades municipales serían las primeras en alejarse y dejarían solos a los vecinos.



1- La megafonía del sistema de avisos no funcionaría y no se avisaría a la población.
2- El confinamiento sólo pretende que la radiación no se extienda, perjudicando a la población más cercana.

3- El control de accesos es un control de salida y entrada sólo para impedir que los vecinos contaminados puedan contaminar a otros.
4- Las medidas de prevención y protección no sirven de nada en caso de accidente grave.
5- En caso de accidente, la única solución es salir corriendo.
6- La evacuación es la única medida que protege contra la radiación
7- En cada casa debería haber sótanos, máscaras para protegerse y tener las pastillas de yoduro potásico porque, en caso de emergencia, nadie las entregará.



1- Es imposible que se pueda controlar la radiactividad en la cadena alimentaria, no hay protección frente a las radiaciones.
2- Ahora, desde el funcionamiento de la central nuclear, nacen más animales con deformaciones, las mujeres abortan con más frecuencia y hay más casos de cáncer.
3- Si hay un accidente, no habrá ninguna posibilidad de escapar a la radiación.

Y en otras ocasiones, por el contrario, la actividad de la central nuclear se percibe como algo normal en la vida del pueblo o de todo el entorno, por lo que mucha gente no demuestra interés en conocer medidas de prevención y protección porque piensan que nunca va a pasar nada. Esta actitud de " no querer saber" ha sido interpretada a veces como algo positivo, como una confianza absoluta de la población que le resta importancia al riesgo.

Esta postura, sin embargo, no es la más idónea para desarrollar actitudes preventivas. Es necesario estar informado sobre lo que es y no es el riesgo y sobre las medidas y pautas de autoprotección más eficaces.

Otro aspecto que debemos conocer para poder evitar, mejorar o aclarar ideas, es que algunas personas que viven en municipios más alejados de la central nuclear, perciben a los pueblos más próximos con un tinte alarmista y discriminatorio pensando que viven cerca de un peligro estigmatizado, lo que en ocasiones ha producido, incluso, rechazo a los habitantes de aquellos pueblos y una imagen desvirtuada de la localidad.

Para contrarrestar el efecto confuso que pudieran tener todas estas ideas para el afrontamiento efectivo del riesgo, **lo más recomendable es estar bien informado, distinguir** lo que se debe o no se debe hacer en caso de emergencia, **y tener hábitos preventivos** que aumenten nuestra protección y seguridad.

6. ACCIDENTES NUCLEARES

6.1 Escala internacional de sucesos nucleares y radiológicos:INES

Así como las escalas Richter o Celsius nos facilitan entender la información sobre los terremotos o la temperatura, la **escala internacional INES** (del inglés International Nuclear Event Scale) **indica la importancia de los sucesos** derivados de una amplia gama de actividades, que abarcan entre otros, el uso industrial y médico de fuentes de radiación, la explotación de instalaciones nucleares y el transporte de materiales radiactivos.

La escala internacional INES es un instrumento que se utiliza en todo el mundo para comunicar al público de forma sistemática el nivel de importancia de los sucesos nucleares y radiológicos desde el punto de vista de la seguridad.

En la **elaboración** de la escala internacional INES ha intervenido el Organismo Internacional de Energía Atómica **(OIEA)** coordinando el desarrollo de dicha escala en cooperación con la Agencia de Energía Nuclear de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (NEA/OCDE) y con el apoyo de más de 60 países. La escala actual es del 1 de julio de 2008, por ello, el accidente de la central nuclear de Fukushima no aparece en la publicación.



NIVEL 0: sin significación para la seguridad

Con arreglo a esta escala, los sucesos se **clasifican** en siete niveles. Los sucesos de los niveles de 1 a 3 se denominan “incidentes”, mientras que en el caso de los niveles 4 a 7 se habla de “accidentes”. Cada ascenso de nivel en la escala indica que la gravedad de los sucesos es, aproximadamente, diez veces superior. Cuando los sucesos no revisten importancia desde el punto de vista de la seguridad se los denomina “desviaciones” y se clasifican “debajo de la escala / nivel 0”.

En la escala INES los accidentes e incidentes nucleares y radiológicos se clasifican por referencia a **tres áreas de impacto:**

- **las personas y el medio ambiente:** se refiere a las dosis de radiación en personas situadas cerca del lugar donde ocurre un suceso y a la liberación no prevista, en un área amplia, de materiales radiactivos fuera de una instalación.
- **barreras y controles radiológicos:** abarca sucesos que no tienen impacto directo en las personas y el medio ambiente. Se refiere únicamente a sucesos en el interior de grandes instalaciones, que suponen niveles altos de radiación no previstos y liberación de cantidades considerables de materiales radiactivos en el interior de las instalaciones.
- **defensa en profundidad:** también abarca sucesos que no afectan a las personas ni al medio ambiente, pero en cuyo caso el conjunto de medidas establecidas para prevenir accidentes no funciona conforme a lo previsto.

Para **comunicar los sucesos al público**, los países que aplican la escala internacional INES notifican los sucesos nucleares y radiológicos lo antes posible. En situaciones en las que es difícil conocer desde el principio todos los detalles de un suceso, puede efectuarse una clasificación provisional y posteriormente, se determina la clasificación definitiva explicando cualquier diferencia que pueda existir. Esto ocurrió en el caso del accidente de Fukushima que en un primer momento se clasificó de nivel 5 y posteriormente se reclasificó de nivel 7.

Para facilitar la comunicación internacional de sucesos que suscitan un interés más amplio, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) mantiene una red de comunicaciones basada en una web, la cual permite poner inmediatamente a disposición del público información detallada acerca de los sucesos.

EJEMPLOS DE SUCESOS EN INSTALACIONES NUCLEARES

NIVEL	PERSONAS Y MEDIO AMBIENTE	BARRERAS Y CONTROLES RADIOLÓGICOS	DEFENSA EN PROFUNDIDAD
7	Chernóbil, 1986 – Efectos generalizados en la salud y el medio ambiente. Liberación externa de una fracción considerable del inventario del núcleo del reactor.		
6	Kyshtym (Rusia) 1957 – Liberación considerable de materiales radiactivos en el medio ambiente provocado por la explosión de un tanque de desechos de actividad alta.		
5	Windscale Pile (Reino Unido) 1957 – Liberación de materiales radiactivos al medio ambiente a raíz de un incendio en un núcleo de reactor.	Three Mile Island (EE.UU.) 1979 – Daño grave en el núcleo del reactor	
4	Tokaimura (Japón) 1999 – Sobreexposición letal de trabajadores como consecuencia de un suceso de criticidad en una instalación nuclear.	Saint Laurent des Eaux (Francia)1980 – Fusión de un canal de combustible en el reactor, sin liberación fuera del emplazamiento.	
3	No se conocen ejemplos	Sellafield (Reino Unido) 2005 – Liberación de grandes cantidades de materiales radiactivos contenida dentro de la instalación.	Vandellós (España) 1989 – Cuasi accidente provocado por un incendio que destruyó los sistemas de seguridad en la central nucleoeléctrica.
2	Atucha (Argentina) 2005 – Sobreexposición de un trabajador en un reactor de potencia, por encima del límite anual.	Caradache (Francia) 1993 – Dispersión de la contaminación en una zona no prevista en el diseño.	Forsmark (Suecia) 2006 – Deterioro de las funciones de seguridad por fallo debido a causa común en el sistema de suministro eléctrico de emergencia en una central nucleoeléctrica.
1			Violación de los límites operacionales en una instalación nuclear.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS NIVELES DE LA INES

Nivel de la INES	PERSONAS Y MEDIO AMBIENTE	BARRERAS Y CONTROLES RADIOLÓGICOS	DEFENSA EN PROFUNDIDAD
Accidente grave Nivel 7	• Liberación grave de materiales radiactivos con amplios efectos en la salud y el medio ambiente, que requiere la aplicación y prolongación de las contramedidas previstas.		
Accidente importante Nivel 6	• Liberación importante de materiales radiactivos, que probablemente requiere la aplicación de las contramedidas previstas.		
Accidente con consecuencias de mayor alcance Nivel 5	• Liberación limitada de materiales radiactivos, que probablemente requiere la aplicación de algunas de las contramedidas previstas. • Varias defunciones por radiación.	• Daños graves en el núcleo del reactor. • Liberación de grandes cantidades de materiales radiactivos dentro de una instalación, con alta probabilidad de exposición del público; provocada posiblemente por un incendio o un accidente de criticidad grave.	
Accidente con consecuencias de alcance local Nivel 4	• Liberación menor de materiales radiactivos, con escasa probabilidad de tener que aplicar las contramedidas previstas, salvo los controles locales de alimentos. • Al menos una defunción por radiación.	• Fusión de combustible o daño al combustible, que provoca una liberación superior al 0,1% del inventario del núcleo. • Liberación de cantidades considerables de materiales radiactivos dentro de una instalación, con alta probabilidad de importante exposición del público.	
Incidente importante Nivel 3	• Exposición diez veces superior al límite anual establecido para la exposición de los trabajadores. • Efecto no letal de la radiación en la salud (p. ej., quemaduras).	• Tasas de exposición superiores a 1 Sv/h en una zona de operación. • Contaminación grave en una zona no prevista en el diseño, con escasa probabilidad de exposición importante del público.	• Cuasi accidente en una nucleoeléctrica sin disposiciones de seguridad pendientes de aplicación. • Pérdida o robo de fuentes selladas de radiactividad alta. • Entrega equivocada de fuentes selladas de radiactividad alta, sin que existan procedimientos adecuados para manipularlas.
Incidente Nivel 2	• Exposición de una persona del público por encima de 10 mSv. • Exposición de un trabajador por encima de los límites anuales reglamentarios.	• Niveles de radiación superiores a 50 Sv/h en una zona de operación. • Contaminación importante dentro de una instalación en una zona no prevista en el diseño.	• Fallos importantes en las disposiciones de seguridad, aunque sin consecuencias reales. • Hallazgo de una fuente sellada huérfana, de un dispositivo o de un embalaje para el transporte de radiactividad alta, con indicación de las disposiciones de seguridad, sin que haya habido menoscabo. • Embalaje inadecuado de una fuente sellada de radiactividad alta.
Anomalía Nivel 1			• Sobreexposición de una persona del público por encima de los límites anuales reglamentarios. • Problemas menores en componentes de seguridad, con importantes medidas de defensa en profundidad pendientes de aplicación. • Pérdida o robo de fuentes radiactivas, de dispositivos o de embalaje para el transporte de actividad baja.

6.2 Accidentes nucleares más relevantes y sus consecuencias.

El análisis de accidentes severos con daño al núcleo del reactor indican que en este tipo de accidentes, las contenciones fallarían dando lugar a emisiones de material radiactivo.

A continuación se analizan tres accidentes severos en los que se ha producido daño al núcleo del reactor dando lugar a la fusión del núcleo. Son los accidentes de: Three Mile Island (TMI), Chernóbil y Fukushima.

Aunque hay mucha información sobre estos accidentes, a continuación se van a explicar someramente las causas de los mismos y las consecuencias que tuvieron sobre la población y el medio ambiente.

Los accidentes de Three Mile Island, Chernóbil y Fukushima, han proporcionado enseñanzas muy valiosas para seguir aumentando las medidas de seguridad y protección para la población y el medio ambiente.

6.2.1 Three Mile Island (TMI)

El 28 de marzo de 1979, la central nuclear de Three Mile Island (TMI), localizada en la isla del mismo nombre en el noreste de los EEUU sufrió un accidente.



Este accidente fue clasificado de Nivel 5 en la Escala Internacional de Accidentes Nucleares (INES)

El accidente fue consecuencia de la fusión del núcleo, que se debió a la pérdida de capacidad de refrigeración normal del reactor.

Los monitores en la central midieron la emisión de productos de fisión pero en algunos casos fue casi una hora después del fallo. También hubo fallos de lecturas incorrectas de equipos no calibrados. En este caso a diferencia de Fukushima y Chernóbil, la contención

no falló, y solo se produjeron pequeñas emisiones de material radiactivo al exterior de la instalación, que no hicieron necesaria la adopción de medidas de protección. Sin embargo, si la contención hubiera fallado, podría haber habido efectos graves para la salud de la población fuera del emplazamiento.

Falta de preparación:

La principal causa de la emergencia fue que **los operadores no estaban preparados** para hacer frente a sucesos de baja probabilidad de ocurrencia (más allá de las bases de diseño de accidentes). Carecían de los procedimientos necesarios y no habían sido entrenados o capacitados para reconocer las indicaciones de un daño al núcleo real o simulado.

Dificultades en la gestión:

Además, no conocían la necesidad de mantener unas determinadas funciones de seguridad para proteger el núcleo y como determinar si esas funciones de seguridad estaban siendo llevadas a cabo adecuadamente. Esto muestra la **importancia de la formación y entrenamiento de los trabajadores** de las centrales en los procedimientos para responder a emergencias severas, que deben incluir criterios radiológicos para llevar a cabo en las actuaciones de emergencia.

Dificultades en la comunicación:

Además de los problemas de gestión de la emergencia en el interior de la instalación, durante la emergencia la autoridades responsables de la protección de la población no designaron, en principio, un portavoz único. La relación con los medios de comunicación se llevó a cabo desde distintos centros nacionales y locales, lo que dio lugar a una gran confusión y, en algunas ocasiones, a informaciones contradictorias. Esta situación contribuyó a que medios de comunicación y población, desconfiaran de la respuesta del Gobierno durante la emergencia.

La información preventiva a la población y la información oficial durante la emergencia, es esencial para que los ciudadanos puedan tomar decisiones adecuadas.

Las **recomendaciones que se dieron al público** en relación a la evacuación durante el accidente no fueron cumplidas. Esta situación se produjo, en parte, por la falta de información al principio de la emergencia y la información confusa que se facilitó posteriormente.

Esto se solucionó cuando el presidente de los EEUU dio órdenes para que la información a la población a través de los medios de comunicación se generase desde un portavoz único ubicado en un lugar cercano a la central.

Evacuación:

Dos días después de la ocurrencia del accidente se aconsejó a las mujeres embarazadas y a los niños en edad preescolar abandonar la zona del entorno de las 5 millas (8.05 km) de la central nuclear. Aproximadamente evacuó 10 veces más gente de la estimada. En gran parte, esto fue **debido a la confusión y a la información contradictoria** que las autoridades estaban dando sobre la gravedad del accidente, así como a las expectativas que había sobre evacuaciones posteriores.

En este caso las actuaciones de protección iban destinadas sólo a una parte de la población, en concreto a embarazadas y niños en edad preescolar por su mayor sensibilidad a las radiaciones ionizantes. La experiencia puso de manifiesto que en este tipo de situaciones las familias quieren mantenerse juntas y aunque se indique que solo tienen que evacuar algunos de sus miembros, por lo general, lo harán todos en grupo.

Según comunicaciones oficiales, no hubo daños a las personas, ni inmediatos ni a largo plazo.
Este accidente fue clasificado de Nivel 5 en la Escala Internacional de Accidentes Nucleares (INES)

6.2.2 Accidente de Chernóbil

El accidente nuclear de Chernóbil ocurrió en la central nuclear Vladímir Ilich Lenin, a 18 km. de la ciudad de Chernóbil, actual Ucrania, el 26 de abril de 1986. Este accidente afectó fundamentalmente a la actual Ucrania, Bielorrusia y Rusia. Era un tipo de reactor que nunca ha sido construido fuera de la antigua Unión Soviética, y que nunca hubiera sido autorizado en países occidentales.

Está considerado, junto con el accidente de Fukushima como el más grave en la Escala Internacional de Accidentes Nucleares (INES), con clasificación de accidente mayor, nivel 7.



El reactor 4 de Chernóbil junto al sarcófago y el memorial del accidente en 2009

Este accidente fue debido a una **combinación de factores**, como el propio diseño de la central, que **no disponía de un recinto de contención** en el cual, en caso de existir, hubiera podido quedar confinada la radiactividad y hubiera evitado la emisión de sustancias radiactivas a la atmósfera. También había otras condiciones del diseño que no permitieron la recuperación del control del reactor. Así mismo, los errores producidos por los **operadores que, careciendo de la capacitación suficiente** y con el fin de realizar una comprobación, dejaron fuera de servicio voluntariamente varios sistemas de seguridad.

Por otra parte, en aquel tiempo, la **Unión Soviética no tenía un organismo regulador independiente**, por lo tanto, no contaba con un sistema independiente de inspección y evaluación de sus instalaciones nucleares, con el que si se contaba en los países occidentales.

Además, las prácticas operativas de los reactores soviéticos no eran homologables a las de los países occidentales, en los cuales estas prácticas no se habrían permitido.

La base del accidente de Chernóbil se debió fundamentalmente, **a la carencia de una cultura de seguridad.**

Comunicación del accidente:

Las autoridades soviéticas ocultaron la ocurrencia del accidente y no emitieron instrucciones a la población hasta que, días después, en otros países de Europa se midieran niveles muy elevados de radiactividad en el medio ambiente.

Consecuencias para la población y el medio ambiente

Los efectos del accidente de Chernóbil han sido evaluados por organismos internacionales, fundamentalmente por la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), que han hecho públicos los resultados de su investigación y algunos de los cuales se resumen a continuación:

En el ámbito medioambiental:

Los **ecosistemas** afectados por el accidente de Chernóbil se han estudiado y vigilado ampliamente en los dos decenios siguientes al accidente. Durante los primeros diez días hubo grandes emisiones de radionúclidos que contaminaron más de 200.000 kilómetros cuadrados de Europa.

El informe también afirma que las evaluaciones científicas indican,

que salvo en la zona incluida en un radio de 30 km del reactor que aún está contaminada, y en algunos lagos cerrados y bosques de acceso restringido, los niveles de radiación han vuelto a situarse, en su mayor parte, en valores aceptables. Actualmente, expertos en la recuperación de Chernóbil desde la ocurrencia del accidente, afirman que la mayoría de los problemas en la zona son de índole económico y psicológico.

En el ámbito sanitario:

Uno de los daños más importantes producidos en la población fue el **impacto psicológico** derivado de la ansiedad por el desconocimiento del efecto de la radiación y las informaciones incorrectas que se emitieron, que provocaron indefensión en la población por no poder tomar medidas de autoprotección y prevención.

El **traslado a otras zonas** fue una experiencia muy impactante psicológicamente para las 350.000 personas que fueron evacuadas de las zonas afectadas. Aunque 116.000 fueron evacuadas de la parte más gravemente afectada inmediatamente después del accidente, los traslados posteriores no sirvieron para reducir significativamente la exposición a la radiación, debido al retraso con el que se llevo a cabo la evacuación y a la exposición externa prolongada que conllevó.

Según el **informe** de la Organización Mundial de la Salud, realizado a mediados de **2005** sobre el accidente de Chernóbil, las defunciones atribuidas directamente a la radiación liberada por el accidente de Chernóbil no pasaron de los 50 fallecidos, casi todos trabajadores de servicios de emergencia que sufrieron una sobreexposición y fallecieron a los pocos meses del accidente.

Este mismo informe indica que la contaminación provocada por el accidente a lo largo de los años ha causado numerosos casos de **cáncer de tiroides**, principalmente en personas que eran niños o adolescentes en el momento del accidente, debido a la dosis de yodo radiactivo que recibió el tiroides al ingerir verduras de hoja contaminados con yodo radiactivo y beber leche procedente de vacas que permanecieron en pastos contaminados.

Además, este cáncer responde favorablemente a tratamientos tempranos. De ahí la importancia de identificar a la población infantil posiblemente expuesta a las radiaciones ionizantes para tomar medidas inmediatamente.

Aun así, la tasa de supervivencia entre estas víctimas en Bielorrusia, es del 99%.

En este sentido, el equipo de expertos internacionales no encontró evidencias de un aumento de la incidencia de la leucemia y otro tipo de cáncer entre los residentes afectados.

La gran mayoría de los cánceres **podrían haber sido evitados** dando **instrucciones a la población de no tomar alimentos ni leche potencialmente contaminados.**

6.2.3 Accidente de Fukushima

El accidente nuclear de Fukushima I (Japón) tuvo lugar el 11 de marzo de 2011 en la central nuclear del mismo nombre. A diferencia de las centrales nucleares españolas, que como máximo tienen dos reactores, esta central nuclear constaba de 6 reactores.

Este accidente se produjo **como consecuencia del terremoto y posterior tsunami** acontecido en Japón en esa fecha. En situaciones de normalidad, los reactores utilizan la electricidad del tendido eléctrico externo para su refrigeración y el funcionamiento de la instrumentación de la sala de control, pero la red fue dañada por el terremoto. Por ello, en este momento, los motores diesel de emergencia para la generación de electricidad comenzaron a funcionar, sin embargo se detuvieron poco después debido a la inundación provocada por el tsunami. Se ve, por tanto, que el terremoto y posterior tsunami desencadenaron una serie de incidentes, como las explosiones en los edificios que albergan los reactores nucleares, fallos en los sistemas de refrigeración, fusión del núcleo en tres de los reactores y liberación de radiación al exterior.

La ausencia de un muro de contención adecuado permitió que el agua penetrase en la central. La presencia de numerosos sistemas de funcionamiento importantes en áreas inundables contribuyó a que se produjese una cascada de fallos tecnológicos, culminando con la pérdida de control sobre la central y sus reactores.

A pesar de conocerse el peligro por tsunamis en la región que, según el análisis de riesgos podrían alcanzar más de 38 metros de altura, la central sólo contaba con un muro de contención de 6 metros y tenía numerosos sistemas esenciales en zonas inundables. Esas deficiencias de diseño, que no habían tenido en cuenta el análisis de riesgo, influyeron negativamente en la catástrofe.

Medidas urgentes

Dada la magnitud del accidente, las autoridades declararon inmediatamente el «**estado de emergencia nuclear**», procediendo a la **adopción de medidas urgentes** encaminadas a paliar los efectos del accidente. Así, **se ordenó la evacuación de la población** residente en las zonas adyacentes (con un aumento progresivo del perímetro de seguridad: un radio de diez a veinte kilómetros alrededor de la central, extendiendo luego este radio a treinta y posteriormente a cuarenta de forma voluntaria). Los trabajadores de la central sufrieron exposición a radiación en varias ocasiones y fueron evacuados temporalmente de forma intermitente.

En el transcurso de los días se fueron tomando nuevas decisiones para controlar el accidente, para s**uministrar yoduro potásico a la población afectada** y para desplazar los vuelos de la aviación civil del entorno de la central afectada.

Este accidente, fue clasificado en el nivel 5 en la Escala Internacional de Sucesos Nucleares (INES), pero posteriormente se reclasificó como de nivel 7, igual que en su día ocurrió con el accidente de Chernóbil.

Consecuencias para la población y el medio ambiente

En el ámbito medioambiental

Tras el fallo de los sistemas de refrigeración de los reactores de la central nuclear, se realizaron emisiones controladas de gases radiactivos al exterior para reducir la presión en el recinto de contención. Esto dio lugar a la emisión al exterior de una cantidad no determinada de partículas radiactivas.

Posteriormente, en el **agua del interior de las instalaciones se detectó un nivel de radiación cien mil veces por encima de lo normal.** También, en el agua del mar de las inmediaciones de la central, los niveles de yodo radiactivo eran 1850 veces superiores a lo que marcan los límites legales. Así mismo, se detectó plutonio fuera de los reactores. Pocos días después del accidente **se detectó yodo radiactivo en el agua de abastecimiento público de Tokio**, así como altos niveles de radiactividad en leche y espinacas producidas en las proximidades de la central.

Semanas después del accidente en California, Finlandia y otros países de Europa, se pudieron encontrar partículas radiactivas y yodo y cesio en el aire procedentes de Japón. Si bien, se descartaba que los niveles de radiación detectados fuesen peligrosos.
Posteriormente al accidente, el gobierno japonés reconoció que la central nuclear no podrá volver a ser operativa y que se desmantelaría una vez que se hubiera controlado totalmente el accidente.

En el ámbito sanitario:

El primer análisis es el realizado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre los efectos para la salud por de la exposición a la radiación tras el accidente de la central nuclear de Fukushima, titulado “Evaluación de los riesgos para la salud del accidente nuclear posterior al terremoto y maremoto del Japón de 2011, basada en una estimación preliminar de la dosis de radiación”, y es el resultado de un proceso de análisis de las dosis realizado por expertos independientes especializados en salud pública, epidemiología, dosimetría y efectos de la radiación.

A través de un comunicado de prensa de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de febrero de 2013 se concluye que, en lo que respecta a la población general dentro y fuera del Japón, los riesgos estimados son bajos y no se prevé que las tasas de cáncer aumenten de manera apreciable con respecto a las tasas de estudios de base.

No obstante, en dicho informe se señala que ha aumentado el riesgo estimado de algunos cánceres en determinados grupos de la población de la prefectura de Fukushima, por lo que se pide que se mantenga un s**eguimiento continuo y exámenes sanitarios a largo plazo.**

Además de reforzar los servicios médicos para vigilar la salud de la población posiblemente expuesta a la radiación, en el futuro será necesario un **monitoreo medioambiental continuo**, en particular del suministro de alimentos y agua, para evitar la contaminación interna que provocaría su consumo.

En el informe, además de dar cuenta de la repercusión directa de la radiactividad en la población, se señala que la **repercusión psicosocial** que produce puede tener serias consecuencias para la salud y el bienestar psicológico de los ciudadanos.

Medidas de protección

En un principio se evacuó de forma gradual a más de 45.000 personas en un radio de diez kilómetros alrededor de la central, comenzándose a distribuir yoduro potásico para limitar la probabilidad de cáncer de tiroides.

Pasados dos días, el gobierno aumentó el radio de evacuación de diez a veinte kilómetros, llegando a 170.000 personas evacuadas.

Dos semanas después, debido al aumento de los niveles de radiación en los alrededores de la central, se aumentó nuevamente el radio de evacuación hasta los treinta kilómetros y la policía estableció controles de accesos en un radio de treinta kilómetros para impedir el acceso de la población no implicada.

También se cerraron comercios y edificios públicos y el gobierno recomendó a los habitantes de la zona no salir de sus casas, cerrar ventanas y desconectar sistemas de ventilación, no beber agua del grifo y evitar consumir productos locales.

Varios países aconsejaron no viajar a Japón por el riesgo de contaminación. Un número importante de personas trataron de salir del área afectada, por lo que aeropuertos cercanos y estaciones de trenes llegaron a saturarse.

ACCIDENTES NUCLEARES MÁS RELEVANTES Y SUS CONSECUENCIAS

CENTRAL nuclear	Descripción	Contención	Ines	Comunicación pública	Recomendaciones sobre medidas para la población	Consecuencias generales
Three Mile Island (EEUU) 1979	Perdida de refrigeración del reactor con fusión del núcleo.	No liberación de radiactividad al exterior.	V	No había portavoz único. Confusión e informaciones contradictorias. Desconfianza en la respuesta del gobierno. Orden del Presidente de EEUU sobre información desde las proximidades del accidente.	Dirigidas a mujeres embarazadas y niños.	Daños económicos en la zona. Consecuencias medio ambientales.
Chernóbil (Ucrania) 1986	Diseño de la central sin recinto de contención. Poca capacitación de trabajadores. Sistemas de seguridad fuera de servicio. No existencia de organismo regulador.	Liberación de radiactividad al exterior.	VII	No hubo una política de información porque se ocultó. El accidente se conoció públicamente por medidores de radiactividad en Suecia.	No hubo indicaciones para la población.	Evacuación permanente de 350.000 personas. Medioambientales: Contaminación de 200.000 Km^2 de Europa. Actualmente, alrededor de 30 Km sigue contaminada. No posibilidad de habitar en la zona. Sanitarios: 50 muertes directas en el accidente. 4.000 casos de cáncer de tiroides.
Fukushima (Japón) 2011	Daños ocasionados como consecuencia del tsunami, explosiones de edificios que albergaban el reactor con fusión del núcleo. Deficiencias en el diseño por faltar barreras de resistencia para tsunamis.	Liberación de radiactividad al exterior.	VII	El portavoz fue el Presidente Japón.	En primer término, confinamiento de la población. Desplazamiento de los vuelos de aviación civil por el entorno de la central. Ingesta de yoduro potásico. Evacuación de 45.00 personas y posteriormente de 170.000. No consumir productos locales.	Cierre de la central nuclear. Paralización industrial de la zona. Contaminación marina Contaminación del suministro de agua pública en Tokio. Contaminación de leche y verduras. Evacuación permanente de un gran número de habitantes de la zona.

12. Planes de Emergencia Nuclear y Protección Civil

Los objetivos principales que se persiguen con este capítulo son que el alumno conozca los distintos tipos de planes que existen en España para dar respuesta a las situaciones de emergencia nuclear, como se integran en el Sistema Nacional de Protección Civil y los objetivos de dichos planes y, finalmente, que adquieran conciencia de la importancia de la coordinación entre todas las instituciones para la gestión eficaz de la emergencia.



Sistema Nacional de Protección Civil
Planes de Emergencia Nuclear

SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL

Según la Ley 17/2015, la protección civil es un servicio público que tiene como objetivo proteger a las personas y los bienes, garantizando una respuesta adecuada ante los distintos tipos de emergencias y catástrofes originadas por causas naturales (terremotos, inundaciones etc.) o derivadas de la acción humana, sea ésta accidental o intencionada.

Las responsabilidades en protección civil se reparten entre los tres niveles básicos de las Administraciones (Estatal, Autonómico y Local), por lo que nunca debemos olvidar que existen distintos organismos implicados, desde la Dirección General de Protección Civil y Emergencias del Ministerio del Interior a los diferentes Servicios o Direcciones Generales en cada Comunidad Autónoma y Servicios municipales de Protección Civil.

Los Planes de Emergencia Nuclear se integran en el Sistema Nacional de Protección Civil. Al hablar de sistema nacional, debemos tener en cuenta que, debido a la magnitud y trascendencia de su misión, implica la participación de un gran número de instituciones, incluyendo no sólo a los órganos de Protección Civil, sino también a otros organismos públicos (como el Consejo de Seguridad Nuclear) y distintos cuerpos de intervención (Guardia Civil, Policía Nacional, Unidad Militar de Emergencias, Bomberos, cuerpos de intervención sanitaria, voluntarios, entidades privadas), así como a los ciudadanos.



La legislación en materia de protección civil en nuestro país, en concreto la Norma Básica de Protección Civil establece que **el riesgo nuclear es de competencia estatal**, y por tanto es el Estado el encargado de desarrollar todas las acciones a llevar a cabo en materia de prevención, planificación y organización de la respuesta ante emergencias nucleares.



PLANES DE EMERGENCIA NUCLEAR. TIPOS Y OBJETIVOS

Como se ha visto anteriormente, las centrales nucleares operan bajo unas exigencias de seguridad muy altas, aunque existe una baja probabilidad de que ocurra un accidente con emisión de material radiactivo al exterior y con exposición a la radiación de las personas que viven en su entorno.

El objetivo de estos planes de emergencia nuclear es proteger a la población que vive en el entorno de las centrales nucleares y al medio ambiente contra los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes en caso de accidente en una central nuclear.

Estos planes son: Los Planes de Emergencia Interior (PEI) y los Planes de Emergencia Nuclear Exteriores a las centrales nucleares (PEN), que incluyen los Planes de Grupos Operativos y los Planes de Actuación Municipal en Emergencia Nuclear (PAMEN) y el Plan de Emergencia Nuclear de Nivel Central de Respuesta y Apoyo (PENCRA).

En el caso de que ocurriera un accidente nuclear con posibilidad de emisión al exterior de sustancias radiactivas, se activarían los **Planes de Emergencia Nuclear**

PLANES DE EMERGENCIA NUCLEAR

1. Planes de Emergencia Interior (PEI)
2. Planes de Emergencia Exterior (PEN):
   - 2.1. Planes de los Grupos Operativos
   - 2.2. Planes de Actuación Municipal en Emergencia Nuclear (PAMEN)
3. Plan de Emergencia Nuclear del Nivel Central de Respuesta y Apoyo (PENCRA)

1. Planes de Emergencia Interior (PEI)

De acuerdo a la legislación actual en la materia, la Norma Básica de Autoprotección y el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas, establece que las centrales nucleares deberán disponer de planes de emergencia interior para hacer frente a los incidentes y accidentes que pudieran producirse en las mismas.

Su objetivo es controlar el accidente y evitar que tenga repercusiones en el exterior. El Plan de Emergencia Interior (PEI) es responsabilidad exclusiva de la central nuclear.

2. Planes de Emergencia Nuclear Exteriores a las Centrales Nucleares (PEN)

Su objetivo es evitar, o al menos reducir en lo posible, los efectos adversos de las radiaciones ionizantes sobre la población y el medio ambiente, en caso de producirse un accidente nuclear con emisión de sustancias radiactivas al exterior.

Son responsabilidad conjunta de la Administración General del Estado con la participación de las restantes administraciones públicas y organismos competentes en materia de protección civil, y la colaboración que deben prestar las centrales nucleares. En este sentido, hay que destacar que la Ley 17/2015, del Sistema Nacional de Protección Civil detalla las áreas en las que los titulares de las centrales nucleares tienen obligación de colaborar con las autoridades competentes en protección civil.

Elaboración de los Planes de Emergencia Nuclear Exteriores a las Centrales Nucleares.

Como se ha comentado anteriormente, la Norma Básica de Protección Civil establece que el riesgo nuclear es un riesgo de competencia estatal. Así mismo indica que los planes de protección civil para hacer frente a los accidentes en las centrales nucleares se elaborarán de acuerdo a las directrices establecidas en el correspondiente Plan Básico de Emergencia Nuclear.

La **Dirección General de Protección Civil y Emergencias**, del Ministerio del Interior, es el organismo responsable de la elaboración del Plan Básico de Emergencia Nuclear (PLABEN), que establece las directrices necesarias para la elaboración e implantación de los Planes de Emergencia Nuclear Exteriores a las Centrales Nucleares en nuestro país. Cuenta para ello con la colaboración del Consejo de Seguridad Nuclear, que es el organismo regulador español en materia de seguridad nuclear y protección radiológica que se encarga de establecer los criterios radiológicos en los que se basan los planes.

Preparación de la respuesta

Estos planes se apoyan en el Sistema Nacional de Protección Civil, contando con la participación de organismos e instituciones pertenecientes tanto a la Administración General del Estado (Guardia Civil, Policía Nacional, etc…), como a las Administraciones Autonómicas (bomberos, sanitarios, educación, etc…) y administraciones locales (policías locales y personal de los ayuntamientos).



Dirección General de Protección Civil y Emergencias

En España, existen 5 Planes de Emergencia Nuclear Exteriores a las centrales nucleares. Todos ellos han sido elaborados siguiendo las directrices del **Plan Básico de Emergencia Nuclear (PLABEN):**

- Plan de Emergencia Nuclear Exterior de la central nuclear de Santa María de Garoña en Burgos **(PENBU)**
- Plan de Emergencia Nuclear Exterior de la central nuclear de Almaraz en Cáceres **(PENCA)**
- Plan de Emergencia Nuclear Exterior de las centrales nucleares de José Cabrera y Trillo en Guadalajara **(PENGUA)**
- Plan de Emergencia Nuclear Exterior de las centrales nucleares de Ascó y Vandellós en Tarragona **(PENTA)**
- Plan de Emergencia Nuclear Exterior de la central nuclear de Cofrentes en Valencia **(PENVA)**

Centrales nucleares en España



5 Centrales nucleares
7 Reactores
en funcionamiento

Como el riesgo nuclear es de competencia estatal, el Director del PEN es la máxima autoridad del Gobierno en la Comunidad Autónoma o provincia en la que se ubica la central nuclear, es decir el Delegado o Subdelegado del Gobierno.

Estos planes de emergencia nuclear establecen los objetivos, la organización, los medios y recursos necesarios, los procedimientos de actuación y los procedimientos de coordinación de las distintas administraciones que tienen que intervenir.

En los Planes de Emergencia Nuclear Exteriores a las centrales Nucleares se integran los Planes de los Grupos Operativos y los Planes de Actuación Municipal en Emergencia Nuclear (PAMEN)

2.1 Planes de Grupos Operativos

Los planes de emergencia nuclear exteriores a las centrales nucleares para conseguir su objetivo fundamental, que es la protección de la población y del medio ambiente, cuentan en su organización con una serie de grupos operativos encargados de poner en práctica, junto con las organizaciones municipales, las medidas de prevención y protección a la población. Cada uno de estos grupos debe disponer de un plan operativo para reforzar la aplicación eficaz de las actuaciones y mejorar la respuesta coordinada y efectiva ante una situación de emergencia.



Organigrama: Grupos operativos que forman parte en la organización de cada Plan de Emergencia Exterior a las centrales nucleares.

Las funciones que cada grupo operativo tiene asignadas son las siguientes:

El **grupo radiológico** es responsable de transmitir al Director del Plan de Emergencia Exterior las recomendaciones del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) sobre las medidas de protección a adoptar y las zonas de aplicación de las mismas, asegurar el control radiológico y las medidas de protección del personal de intervención, y coordinar las actividades de gestión de residuos radiactivos.

El **grupo de seguridad ciudadana y orden público** es el encargado de seleccionar la ubicación de controles de acceso (puntos de restricción del paso a la zona afectada), vías de evacuación y vías de acceso a Estaciones de Clasificación y Descontaminación (ECD) y a Áreas Base de Recepción Social (ABRS), asegurar la evacuación ordenada, garantizar el tránsito por las vías de evacuación y rutas de aviso, y la custodia de los bienes de la población evacuada.

El **grupo sanitario** es el encargado de proponer las medidas sanitarias de profilaxis radiológica y descontaminación de personas, asegurar la distribución de yoduro potásico, en colaboración con los responsables municipales, seleccionar los grupos de población con problemas médicos a evacuar y dirigir las actuaciones sanitarias en las Estaciones de Clasificación y Descontaminación (ECD) y Áreas Base de Recepción Social(ABRS). Asimismo prevé la atención sanitaria urgente y medios para el transporte sanitario de urgencia.

El grupo de **apoyo logístico** es el responsable de aportar los servicios contra incendios y salvamento, medios de transporte para la evacuación y de garantizar el traslado, abastecimiento, albergue y asistencia social de la población afectada. Asimismo proporciona el transporte para el personal de intervención y los medios materiales necesarios.

El grupo de **coordinación y asistencia técnica** es responsable de facilitar la coordinación de los demás grupos operativos y de las organizaciones municipales y prestar asistencia técnica a todo el personal que se incorpore a la sede de la dirección del plan en el transcurso de la emergencia.

La asistencia psicológica, como ya se ha expuesto anteriormente, reviste una especial importancia debido a la ansiedad que genera este tipo de emergencia entre la población potencialmente afectada, y puede prestarla el grupo sanitario o el grupo de apoyo logístico, en función de la organización de cada Plan de Emergencia Exterior.

Aunque cada grupo operativo de acuerdo a sus funciones, debe realizar unas actuaciones concretas para conseguir la aplicación de las medidas de protección de manera rápida y eficaz, la coordinación y colaboración entre los distintos grupos y las organizaciones municipales es primordial.



Por ejemplo, el grupo sanitario es el encargado de aplicar la medida de descontaminación en caso de que la población evacuada haya podido estar expuesta a la nube radiactiva. Esta se aplica en las Estaciones de Clasificación y Descontaminación, ubicadas en determinados municipios. Para que estos centros estén preparados y el personal del grupo sanitario pueda aplicar los tratamientos de descontaminación, antes de trasladar a la población potencialmente expuesta a la radiación, los responsables municipales habrán tenido que ir a la Estación de Clasificación y Descontaminación y organizar lo necesario para que esté operativa y se pueda trasladar a la población.

Además no toda la población evacuada a las Estaciones de Clasificación y Descontaminación tiene porqué estar contaminada. Por ello, antes de aplicar los tratamientos de descontaminación hay que saber si las personas están contaminadas o no. La medición de la contaminación la efectúa el personal del grupo radiológico, que se desplazará a la Estación de Clasificación y Descontaminación con los equipos adecuados para detectarla y medirla y decir al personal sanitario que personas están contaminadas.

Para poner en práctica lo que en un principio parece tan sencillo, la descontaminación, entran en juego personal de distintas organizaciones, con funciones distintas pero que tiene que actuar de manera coordinada para conseguir el máximo grado de eficacia en la aplicación de la medida.







2.2 Plan de Actuación Municipal en Emergencia Nuclear (PAMEN)

No podemos terminar el repaso de los planes de emergencia nuclear sin hablar de los PAMEN.

Al igual que cada grupo operativo, para el correcto desarrollo de sus funciones debe disponer de un Plan de Grupo Operativo, los municipios que se encuentran en el área de influencia de las centrales nucleares también deberán tener un plan de actuación municipal, que bajo la dirección del alcalde, permita aplicar con prontitud y eficacia las medidas de prevención y planificación a los habitantes del municipio.

Los Planes de Actuación Municipal en Emergencia Nuclear (PAMEN) se clasifican de acuerdo a las zonas de planificación definidas en los Planes de Emergencia Nuclear Exteriores a las centrales nucleares que se explican a continuación:

Zonas de planificación

Siguiendo los criterios radiológicos emitidos por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), en los Planes de Emergencia Nuclear Exteriores a las Centrales Nucleares se han definido unas zonas de planificación para llevar a cabo una correcta gestión de la emergencia.

Las zonas de Planificación se definen dependiendo de la distancia a la central nuclear:

Zona 0

La zona 0 es el área en la que se ubica la central y los terrenos que la rodean.

Las medidas de protección y otras actuaciones de emergencia que deben adoptarse en esta zona están especificadas en el Plan de Emergencia Interior de la central nuclear y afectan fundamentalmente a los trabajadores de la misma.

Zona I

Es el área geográfica comprendida en la circunferencia de 10 km de radio con centro en la central nuclear.

Se subdivide en 3 subzonas:

Subzona IA: De 0 a 3 km alrededor de la central nuclear.
Subzona IB: De 3 a 5 km alrededor de la central nuclear.
Subzona IC: De 5 a 10 km alrededor de la central nuclear.

Esta zona se corresponde con el área geográfica en la que las vías principales de exposición están asociadas al paso de la nube radiactiva, que lleva consigo la exposición directa a la radiación procedente de la contaminación de la atmósfera y del suelo, la contaminación externa por depósito de las partículas radiactivas presentes en la nube radiactiva en el exterior del cuerpo y la contaminación interna por inhalación del material radiactivo emitido durante el accidente.

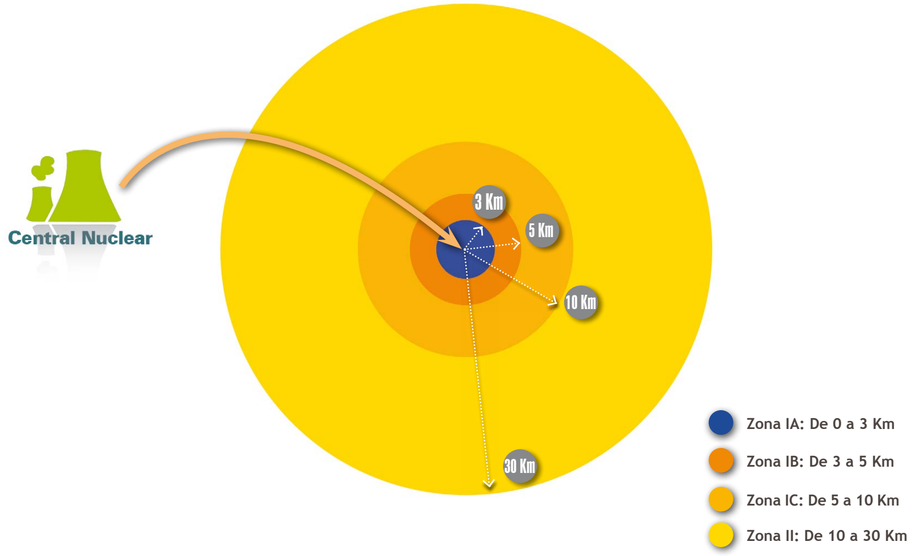
Zona II

Es la corona circular comprendida entre las circunferencias de radios de diez y treinta km, concéntricas con la central nuclear, en la que las principales vías de exposición a la radiación están asociadas, fundamentalmente, al material radiactivo depositado en el suelo tras el accidente.

En esta zona se deberán planificar medidas de protección para reducir las dosis a largo plazo provenientes de las sustancias radiactivas depositadas y de la ingestión de alimentos y agua contaminados.

En caso de accidente, dependiendo de su gravedad y de las circunstancias atmosféricas, la aplicación de las medidas de protección podrá limitarse a una parte de las zonas de planificación o extenderse más allá de éstas.

ZONAS DE PLANIFICACIÓN



Zonas de planificación y Zonas de aplicación de medidas

Es preciso distinguir entre **zonas de planificación**, que se establecen para prever y poner en marcha con eficacia las medidas de protección necesarias y **zonas de aplicación de medidas**, que serán aquellas en las que realmente se aplicarán las medidas de protección, dependiendo de los factores que condicionan el accidente, como la distancia a la central, condiciones meteorológicas, época del año, magnitud y gravedad, etc….

En general, las zonas de aplicación de las medidas quedarán incluidas en las de planificación, al ser de menor extensión. Sin embargo, puede haber excepciones a esta regla.



Medidas de Protección a la Población

CONTROL DE ACCESOS

Restricción parcial o total del acceso de la población a la zona afectada por una emergencia nuclear.

CONFINAMIENTO

Permanencia de la población en sus domicilios, o en edificios próximos a los lugares donde se encuentre en el momento de ordenarse la adopción de la medida, con las ventanas y puertas cerradas y con los aparatos de climatización apagados.

PROFILAXIS RADIOLÓGICA

Ingestión de compuestos químicos, en concreto yoduro potásico, para reducir la absorción de yodo radiactivo por la glándula tiroides.

EVACUACIÓN

Traslado de la población que pueda resultar afectada por el paso de la nube radiactiva fuera de ese lugar.

ALOJAMIENTO PROVISIONAL O PERMANENTE

Puesta a disposición de un lugar para vivir, temporal o definitivamente, a las personas que han sido evacuadas a un Área Base de Recepción Social (ABRS) y que no puedan volver a sus casas.

DESCONTAMINACIÓN DE PERSONAS

Comprobación con aparatos específicos si existe contaminación, y en caso de que exista, aplicar los procedimientos de descontaminación previstos.

AUTOPROTECCIÓN CIUDADANA Y AUTOPROTECCIÓN DEL PERSONAL DE INTERVENCIÓN

Conjunto de actuaciones y medidas a llevar a cabo por uno mismo, con el fin de evitar o disminuir en lo posible la contaminación externa e interna.

MEDIDAS RELATIVAS AL CONSUMO DE AGUA POTABLE

Restricción o prohibición del uso de agua potable por la población afectada en caso de que exista una duda o evidencia de que la red de suministro lleva agua contaminada.

MEDIDAS RELATIVAS A LA CADENA ALIMENTARIA

Prohibición del consumo y de la comercialización de alimentos que puedan estar contaminados (todos aquellos que no se encuentren envasados o en cámaras herméticas, refrigeradores domésticos, etc. antes de la fuga radiactiva).

Planes de actuación municipal

Dependiendo de la zona de planificación en la que se encuentren, se definen los distintos tipos de planes municipales:

- **municipios zona I y**
- **municipios zona II**

En estos municipios es donde se aplicarán las medidas de protección a la población, ya que serían los municipios potencialmente afectados y por ello en el ayuntamiento se disponen de distintos servicios.

Los planes de actuación municipal en emergencia nuclear de los municipios:

Zona 1

de **zona I** tienen una serie de servicios para cubrir diferentes **funciones:**

- Alertar, informar y dar avisos a la población.
- Colaborar con los grupos operativos en la aplicación de las medidas de protección a la población.
- Facilitar la distribución de yoduro potásico.
- Facilitar el confinamiento y el abastecimiento a la población confinada.
- Facilitar la evacuación de la población, en caso necesario.

Zona 2

de **zona II** tienen una serie de servicios para cubrir las siguientes **funciones:**

- Alertar, informar y dar avisos a la población.
- Colaborar con los grupos operativos en la aplicación de las medidas de protección a la población.
- Facilitar el abastecimiento a la población, en caso necesario.

En estos planes de emergencia municipal están integrados el alcalde, los concejales del Ayuntamiento, el secretario del Ayuntamiento, el jefe de la policía municipal, el jefe del parque de bomberos, los responsables sanitarios, etc.







En esta organigrama se detallan, a título orientativo, algunos servicios, que serán diferentes en los municipios de zona I y zona II. Por ejemplo, el servicio de evacuación no estaría en un plan de actuación municipal de zona II.

Pero también en el Plan de Emergencia Exterior (PEN) se designan otros municipios por tener un papel especialmente importante en la gestión de la emergencia. Son:

- **Municipios sede de Estación de Clasificación y Descontaminación (ECD) y**
- **Municipios con funciones de Áreas Base de Recepción Social (ABRS)**

Los municipios sede de **Estaciones de Clasificación y Descontaminación (ECD)**, son municipios con instalaciones donde se llevaría a la población, en caso de que hubiera habido una emisión de sustancias radiactivas al exterior y hubiera sospecha de que pudieran estar contaminadas.
Estos planes deben disponer de una organización que permita:

- La recepción e identificación de la población evacuada.
- La medición de la existencia o no de contaminación.
- La descontaminación de las personas que una vez medidas radiológicamente, se ha observado que tienen contaminación.

Además, también se llevarán a cabo actuaciones de descontaminación de los vehículos de emergencias.

Los municipios con funciones de **Área Base de Recepción Social (ABRS)**, son municipios que puedan **proporcionar abastecimiento y albergue** a la población evacuada habilitando, a este fin, las instalaciones que se precisen.

Asimismo, serán capaces, entre otras funciones, de prestar **asistencia sanitaria, psicológica y social** a la población allí evacuada, bien antes de que haya emisión de sustancias radiactivas o bien después de haber pasado por las Estaciones de Clasificación y Descontaminación (ECD) y habiéndose comprobado que no tienen contaminación.

3. Plan de Emergencia Nuclear del Nivel Central de Respuesta y Apoyo (PENCRA)

Tiene por objeto poner a disposición del Director del Plan de Emergencia Exterior (PEN) todos los medios y recursos, tanto público como privados, no pertenecientes a la comunidad autónoma afectada, así como la ayuda internacional en caso necesario.

El director del PENCRA es el Director General de Protección civil y Emergencias del Ministerio del Interior.

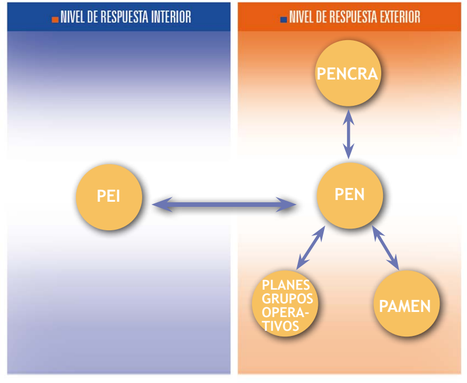
Para aplicar de forma eficaz las medidas de protección, se elaboran **cuatro tipos de Planes de Actuación Municipal en Emergencia Nuclear**

- Plan de Actuación Municipal de Zona I
- Plan de Actuación Municipal de Zona II
- Plan de Actuación Municipal de Estación de Clasificación y Descontaminación (ECD)
- Plan de Actuación Municipal de Área Base de Recepción Social (ABRS)

3.1 Relación entre los niveles de planificación interior y exterior

Para la conexión entre los niveles interior y exterior, los planes de emergencia contendrán los procedimientos comunes de notificación, coordinación y actuación entre ambos.

Ambos niveles se relacionan entre sí como se muestra en la siguiente imagen



PEI: Plan de Emergencia Interior

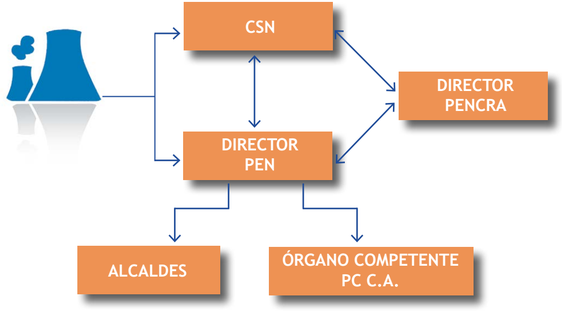
PENCRA: Plan de Emergencia Nuclear del Nivel Central de Respuesta y Apoyo

PEN: Plan de Emergencia Nuclear Exterior a la central nuclear

PAMEN: Planes de Actuación Municipal

Alerta Temprana

Uno de los principios en los que se sustenta la gestión eficaz de una emergencia nuclear es la **alerta temprana**. Por ello, en caso de activarse el Plan de Emergencia Interior, la instalación lo pondría en conocimiento del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y del Director del Plan de Emergencia Nuclear Exterior a la Central, informando de la categoría del accidente. El Director del Plan de Emergencia Exterior (PEN) procedería de inmediato a la activación de dicho plan con la declaración de la correspondiente situación de emergencia y alertaría a los alcaldes de los municipios afectados para que procedieran a la activación de los correspondientes Planes de Actuación Municipal en Emergencia Nuclear, y al órgano competente en materia de protección civil de la Comunidad Autónoma afectada.



Esquema de Alerta Temprana

El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) y el Director del Plan de Emergencia Exterior (PEN) informarían inmediatamente a la Dirección General de Protección Civil y Emergencias del Ministerio del Interior, que procedería a la activación del Plan de Emergencia Nuclear del Nivel Central de Respuesta y Apoyo (PENCRA).

3.2 Implantación y mantenimiento de los planes

Para que estos **planes sean eficaces y operativos** hay que tener en cuenta que es necesario alcanzar y mantener una adecuada preparación para actuar en situaciones de emergencia. Esto se consigue programando, desarrollando y poniendo en práctica una serie de actividades como son:

- **Programa de Información Preventiva a la Población**

El Programa de información a la población tiene la finalidad de facilitar el acercamiento entre la población y las instituciones responsables de los planes, (Protección Civil, Ayuntamiento, sanitarios, etc...) y fomentar con ello la participación ciudadana en actividades relacionadas con la protección civil y en concreto con los planes de emergencia.

A través de las actividades de Información preventiva a la población, los ciudadanos pueden conocer las medidas de prevención y protección que contemplan los planes para alertar, proteger y socorrer a la población en caso de emergencia y, con ello, conocer cómo podrían actuar ellos en esa situación.

Pero otro objetivo muy importante de los Programas de información preventiva a la población va dirigido a la prevención, esto es, enseñar y potenciar comportamientos y hábitos preventivos que orientan a los ciudadanos a través, por ejemplo, de una participación activa en simulacros específicos que se realizan en los entornos nucleares.

Los Programas de información preventiva a la población, por tanto, son necesarios y beneficiosos para reforzar el papel activo y la participación que debe tener la población en las acciones que conllevan los planes de emergencia.

Las actividades de información preventiva se programan colaborando en el ayuntamiento, con diversas asociaciones municipales, en los centros educativos de las zonas de planificación, en los centros de salud y con la colaboración de los medios locales de comunicación social. Cada vez es más frecuente, también, encontrar información preventiva en las páginas web de las instituciones y en las redes sociales.

Folletos divulgativos:
Información preventiva a la población



• **Programa de formación de los actuantes de los planes de emergencia nuclear**

Los planes de emergencia nuclear deben disponer de un programa de formación que garantice a los actuantes los conocimientos adecuados y la preparación práctica necesaria para desempeñar eficientemente las funciones encomendadas en dichos planes.

Así mismo, dicha formación debe favorecer una coordinación adecuada entre el personal adscrito a los planes de actuación municipal (PAMEN), el personal de los planes exteriores de emergencia nuclear (PEE) y el personal que integra el nivel central de respuesta y apoyo (PENCRA) y facilitar la participación conjunta de las distintas organizaciones.



• **Programa de ejercicios y simulacros de los planes de emergencia nuclear**

La realización de ejercicios y simulacros es el tercer pilar que sustenta la implantación de los planes.

Con la realización de ejercicios y simulacros se pone a prueba la organización prevista en el plan y el grado de preparación del personal adscrito a la misma, con la finalidad de, en su caso, introducir las medidas que contribuyan a su mejora.

Antes de abordar la realización de un simulacro debe asegurarse el entrenamiento de los actuantes en el desarrollo de las funciones, la información de la población como parte activa del plan y la realización de una serie de simulacros parciales como avisos a la población, confinamiento, etc…

Es esencial que la realización de un simulacro conlleve la evaluación de su desarrollo, con objeto de poder implantar las acciones correctoras para mejorar la operatividad del plan.

La **revisión y actualización** de los planes es de gran importancia para garantizar la operatividad de los mismos, puesto que los planes están sometidos a frecuentes cambios, fundamentalmente en lo referente a medios y recursos humanos y materiales. De aquí deriva la necesidad de revisarlos con una periodicidad adecuada, y en todo caso siempre que se produzca un cambio en la organización del mismo o de otra naturaleza que puedan interferir en su operatividad y eficacia.



13. Medidas postaccidente



Como se ha indicado en el apartado anterior, hay una serie de medidas de protección que están previstas en los planes de emergencia nuclear, que se pondrían en práctica en la fase de ocurrencia de un accidente en el que pudiera haber liberación de sustancias radiactivas al exterior y, también, inmediatamente después.

Una vez finalizada esta fase comenzaría **la fase post-accidente** en la que los responsables de protección civil decidirían si las medidas adoptadas en la fase del accidente se mantendrían o no, pero siempre con la garantía de que la población no estuviera expuesta a niveles de radiación que pudieran suponer riesgos para la salud a largo plazo.

Una de estas medidas sería la evacuación a **centros de albergue en los municipios Áreas Base de Recepción Social (ABRS)**. Estos centros están pensados para la recepción de los evacuados durante un corto periodo de tiempo. La población allí no tendría las mismas comodidades que en sus casas, por lo que este aspecto sería tenido en cuenta para habilitar otros lugares en caso de que fuera necesario alargar la evacuación.

Por ello, los responsables de protección civil procurarían que las personas evacuadas pudieran regresar a sus hogares lo antes posible.

Para poder saber si se considerara posible la vuelta a sus domicilios, se mediría sistemáticamente la cantidad de radiactividad de la zona y dependiendo de la misma se tomarían las decisiones oportunas. Se podrían dar tres casos:

1. Si la cantidad de radiactividad presente en la zona no entrañara riesgo para la salud y la población hubiera sido anteriormente evacuada, las autoridades podrían prescribir la vuelta al hogar, aunque probablemente habría que **seguir manteniendo algunas medidas de protección.**



2. Si los niveles de radiactividad fueran altos, la población se **trasladaría temporalmente** a otros centros de albergue o residencia hasta que la radiactividad disminuyera, bien de forma natural o bien porque se realizaran acciones de descontaminación tales como lavado de edificios, poda de árboles, retirada de tierra contaminada, etc.



Durante el tiempo que hubiera que evacuar y estar fuera de los domicilios, toda la zona y los bienes (casas, campos, animales, etc.) estarían vigilados por la policía.

Podría ocurrir que, una vez ordenada la vuelta a los hogares, las autoridades decidieran que no se pudiera pasear o jugar por determinados campos, praderas, etc., ya que en estas zonas podrían acumularse más sustancias radiactivas y por tanto ser mayor el riesgo de contaminación.

Una vez se hubiera ordenado la vuelta a los domicilios, antes de beber y consumir las alimentos producidos en la zona, habría que estar seguros de que no estuvieran contaminados. Para ello, con la finalidad de evitar la contaminación interna y la posible aparición de efectos a largo plazo, las autoridades pondrían en práctica un programa para analizar el agua y los alimentos, no dando autorización para su consumo hasta que no se supiera con seguridad que los niveles de contaminación que presentaran fueran inferiores a los permitidos.

2. Si los niveles de contaminación fueran muy altos y las labores de descontaminación muy complicadas, los responsables de protección civil podrían decidir que la gente no pudiera volver a sus casas durante mucho tiempo, por lo que se procedería al t**raslado permanente o realojamiento** de la población en otros lugares con recursos adecuados (escuelas, centros de salud...) en los que las personas pudieran reanudar sus actividades cotidianas.

Por tanto, convendría, en todo momento, permanecer atento a las instrucciones que los responsables de protección civil comunicaran según las características del accidente y la evolución de las circunstancias específicas

Reacciones psicológicas

En este tipo de emergencias, la población afectada se enfrentaría a periodos de incertidumbre ya que, en un principio, no se conocerían con exactitud las consecuencias del accidente y con ello, a la lógica preocupación por el estado de salud propio y de sus seres queridos, allegados y vecinos. Así mismo, existiría preocupación por el estado medioambiental y de posible contaminación que pudiera permanecer en la zona donde residen, por lo que se produciría un aumento de la vulnerabilidad física y ambiental y también psicológica.

Las reacciones desde el punto de vista psicológico, pudieran caracterizarse por una tensión emocional que provocara ansiedad y confusión, tanto en los primeros momentos como en periodos de tiempo más a medio o largo plazo.

Por tanto, las consecuencias psicológicas indeseables son otro aspecto importante que se tendría en cuenta, posibilitando una atención psicológica a aquellas personas afectadas por la emergencia que precisaran este tipo de servicio.

Los responsables de protección civil tomarían las decisiones garantizando que no hubiera riesgo para la salud de las personas





Orientaciones pedagógicas

Las orientaciones pedagógicas presentadas pretenden ser una ayuda para que los profesores faciliten a sus alumnos el proceso de aprendizaje de aquellos conceptos, actitudes, hábitos y destrezas relacionadas con la autoprotección ante emergencias nucleares.

Los alumnos van a poder obtener información, que han ido adquiriendo de su entorno familiar, de sus amigos, de la televisión, de Internet etc., sobre el riesgo nuclear, así como de las posibles consecuencias que éste puede tener (dimensión cognoscitiva). Van a aprender y ejercitar las medidas de protección ante emergencias nucleares y también van a elaborar, más o menos claramente, una valoración sobre el mismo en relación a su vida (dimensión afectiva) y a las reacciones que les produce: indiferencia, miedo, impotencia, ira, solidaridad, implicación, etc. (dimensión emocional).

Para ello proponemos una metodología didáctica activa, participativa y motivadora donde el alumno no será un mero receptor de aprendizaje, sino que participará activamente en él, dándole la oportunidad de aprender por sí mismo, trabajando de forma individual y grupal. Además será motivadora, dando respuesta a los intereses y necesidades del alumno. Propondremos actividades amenas y divertidas, adaptadas al tema, donde todos podrán participar individual o grupalmente, incluyendo el uso de las nuevas tecnologías que despiertan tanto interés, especialmente en estos colectivos.

Sería apropiado seguir un enfoque constructivista, estableciéndose una conexión entre todos los contenidos que se presentan de forma que se les dote de significado para el alumno. Se tendrán en cuenta los conocimientos previos, necesidades e intereses del alumno.

La metodología que se propone es ir objetivando las vivencias subjetivas que los alumnos tienen sobre el riesgo nuclear, así como estructurar y organizar la información que poseen.



OBJETIVOS PEDAGÓGICOS

Objetivos en el ámbito cognoscitivo

- Comprender el concepto de radiactividad.
- Conocer los tipos de radiaciones y las fuentes naturales y artificiales.
- Conocer los usos de las radiaciones ionizantes.
- Saber qué son las centrales nucleares y cómo funcionan.
- Identificar los efectos de las radiaciones ionizantes sobre el cuerpo humano y el medio ambiente.
- Comprender en qué consisten los planes de emergencia ante el riesgo nuclear.
- Identificar las distintas posiciones sociales sobre la percepción del riesgo nuclear.

Objetivos en el ámbito de las habilidades

- Entrenar las distintas medidas de prevención y protección ante el riesgo nuclear.

Objetivos en el ámbito de las actitudes

- Incorporar valores preventivos en materia de riesgo nuclear.
- Integrar las medidas de prevención y protección ante el riesgo nuclear a adoptar en el hogar, el colegio y en su municipio.



- Promover actitudes de solidaridad para hacer frente a las emergencias nucleares en todos los ámbitos (en el municipio, el colegio y el hogar).
- Interiorizar la importancia de mantener la calma ante situaciones de emergencia por los efectos que puede tener un adecuado control de la situación en uno mismo y en los demás.

1. PASOS METODOLÓGICOS

Los pasos metodológicos a seguir, procurando su adecuación al desarrollo cotidiano e integrándolos en las diversas áreas curriculares, son:

1.1. Planteamiento del tema sobre riesgo nuclear y medidas de protección

- Que los alumnos se cuestionen o cuestionarles sobre cualquier situación vivenciada relacionada con el tema.

En este primer paso se elabora entre todos el plan de trabajo a desarrollar. El profesor organiza con los alumnos las preguntas que, después de haber centrado el tema, les interesan más.

1.2. Aporte de datos

- Que los alumnos aporten los datos que tienen y los ordenen entre todos.

Las preguntas que se han planteado, se intentan contestar entre todos. El profesor debe estructurar y organizar las respuestas que vayan dando los alumnos, ya que estas informaciones son muy importantes para comprender las vivencias subjetivas que tienen del tema, y que pueden ser la causa de comportamientos inadecuados o peligrosos.

- Que los alumnos planifiquen como obtener más datos a través de otras fuentes de información adecuadas al tema que queremos conocer, el riesgo nuclear y las medidas de protección.

En la medida de lo posible, hay que acercar al alumno a la realidad objeto de estudio, por tanto, cuando se necesite más información para contestar adecuadamente a las preguntas que se formularon, deben intentar buscarla no solo en los libros y en los profesores, sino también en la familia, en el municipio y en todo aquello que está en el entorno y que pueden explicarles lo que les interesa saber.

Es útil recurrir a libros, periódicos, revistas e Internet para acceder a información sobre acontecimientos ocurridos relacionados con las emergencias nucleares.

1.3. Elaboración de contenidos

- Que los alumnos ordenen y elaboren esos nuevos datos, relacionándolos con los anteriores, de modo que trabajen un aprendizaje significativo.

A continuación se hará una puesta en común de los datos recogidos para organizarlos, completarlos y ordenarlos de manera que sean significativos. Un adecuado estudio de los datos permitirá hacer comparaciones, descubrir relaciones, observar contrastes, cuestionarse cosas, plantearse nuevas investigaciones y llegar a algunas conclusiones.

Los datos recogidos se integrarán con los que previamente los alumnos conocían del tema.

1.4. Puesta en común

- Que los alumnos comuniquen a todo el grupo la experiencia realizada, con la finalidad de poner en común lo que han aprendido.

La comunicación de lo que se va haciendo o lo que ya se ha hecho es un aspecto metodológico importante, que no tiene porqué darse solo al final del trabajo, sino también después de cada uno de los pasos intermedios.

Es importante que los alumnos se expresen sobre el tema a tres niveles:

- Primer nivel. Comunicación cognoscitiva: haciendo una descripción real de lo conocido, cuidando el lenguaje para que sea preciso y adecuado. Este nivel de comunicación puede apoyarse en datos numéricos, documentos, fotos, gráficos etc.

- Segundo nivel. Comunicación afectiva: expresar qué le ha parecido lo que han visto ó hecho, cómo se ha sentido, si les ha gustado o no. Es el nivel afectivo, la comunicación es subjetiva, cada uno puede expresar lo que siente.

- Tercer nivel. Comunicación creativa: las cosas que han visto son así, pero se las pueden imaginar de otra manera. Se pueden buscar alternativas, inventarlas, explicarlas y contarlas. Estas alternativas tienen que ser reales o posibles.

Los tres niveles de comunicación son muy importantes porque desarrollan en los alumnos aspectos de distintos ámbitos, pero complementarios para su formación integral.



1.5. Valoración e interpretación de la información

- Que los alumnos interpreten y valoren las conclusiones

Este paso consiste en cuestionarse la realidad:
- ¿Por qué las cosas son así?
- ¿Podrían ser de otra manera?
- ¿Cómo se pueden cambiar?

Esta manera de reflexionar favorece la elaboración de un juicio crítico sobre la realidad.





1.6 Toma de decisiones

- Que los alumnos tomen posturas y actúen en consecuencia.

A partir de este juicio crítico, se pueden y se deben buscar alternativas. En caso de que lo observado les parezca negativo, colaborar en los aspectos de mejora, y si lo observado les parece positivo, implicarse. Es decir, es el momento de tomar una postura activa, porque si se plantea el estudio del entorno, es para sentirse seguro dentro de él y participar en su propia realidad.

Este punto es muy importante por la incidencia directa que tiene en la creación de hábitos, actitudes y valores que llevarán a adquirir compromisos entre el grupo de la clase.

2. RELACIÓN CON EL CURRICULO ESCOLAR

Distintas áreas de la enseñanza pueden contribuir a la consecución de los objetivos planteados a través de una aproximación transversal.

El riesgo nuclear puede integrarse en diferentes áreas curriculares, permitiendo extrapolar conocimientos, habilidades y valores a adquirir en distintas materias alrededor de un eje educativo común, ***la prevención como valor***, que debe impregnar toda la acción educativa para conseguir un aprendizaje global e integrado.

Su implantación se llevará a cabo dependiendo de los procesos evolutivos de los alumnos y el nivel educativo que corresponda.

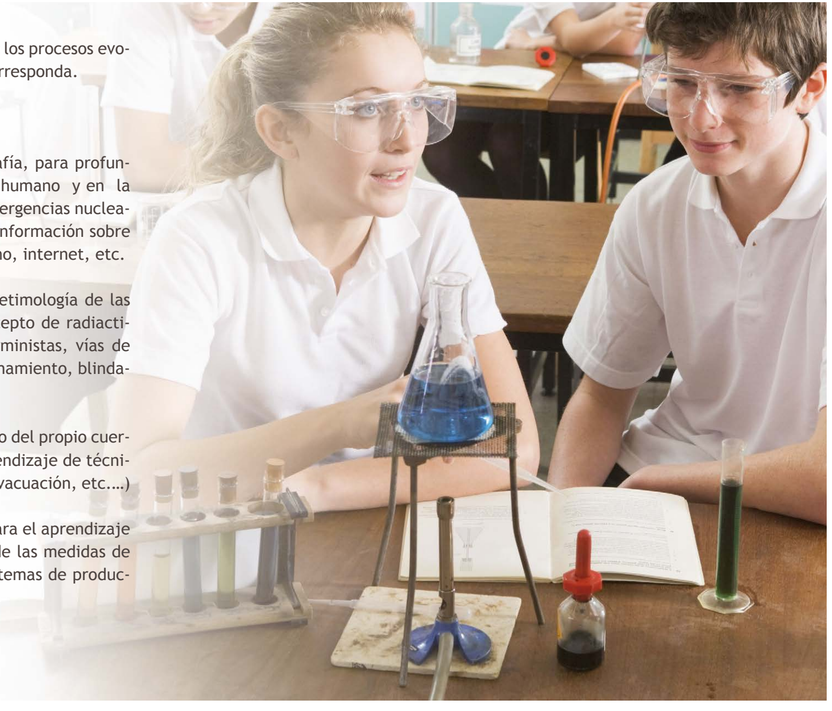
Algunos ejemplos:

En las asignaturas de Biología, Geología y Geografía, para profundizar en los efectos del riesgo nuclear en el ser humano y en la naturaleza. Análisis históricos de las distintas emergencias nucleares ocurridas en el mundo y sus efectos. Buscar información sobre este tema a partir de la información de su entorno, internet, etc.

En Lengua para la definición de conceptos y la etimología de las palabras relacionadas con el riesgo nuclear, concepto de radiactividad, dosis, efectos estocásticos, efectos deterministas, vías de exposición, residuos, profilaxis, evacuación, confinamiento, blindaje, etc.

En el área de educación física para el conocimiento del propio cuerpo y las relaciones espaciales que faciliten el aprendizaje de técnicas de autoprotección (relajación, ejercicios de evacuación, etc.…)

En el área de las matemáticas, física y química para el aprendizaje de actividades relacionadas con las magnitudes de las medidas de dosis, cálculo de porcentajes de los distintos sistemas de producción de energía eléctrica, etc.



3. ACTIVIDADES DIDÁCTICAS

Para que los alumnos alcancen los objetivos que se proponen, a continuación se desarrolla una propuesta de actividades, a través de las cuales los alumnos irán adquiriendo, de forma activa y participativa, los conocimientos, las habilidades y las actitudes que favorezcan, en caso de una emergencia nuclear, unos comportamientos adecuados.

3.1. Conocer los efectos de las emergencias nucleares.

3.2. Preparar y realizar un programa para aplicar las medidas de prevención y protección ante el riesgo nuclear en el colegio.

3.3. Preparar y realizar un programa para aplicar las medidas de prevención y protección ante el riesgo nuclear en el municipio.





Actividad didáctica

3.1. Conocer los efectos de las emergencias nucleares.

Actividad dirigida a alumnos de Secundaria y Bachillerato

Objetivo:



Compartir información sobre lo que ocurrió en el accidente nuclear de Fukushima del 11 de marzo de 2011 y el accidente de Chernóbil del 26 de abril de 1986. Esta actividad también pretende identificar los efectos de las radiaciones ionizantes sobre los seres vivos y el medio ambiente, y las consecuencias de la aplicación o no de determinadas medidas de protección sobre la salud de la población.



Efectos de las emergencias nucleares





PUNTO DE PARTIDA:

Buscar información sobre el accidente nuclear de Fukushima ocurrido el 11 de marzo de 2011 y el accidente de Chernóbil ocurrido el 26 de abril de 1986, en Internet, en su entorno, etc.

DESARROLLO:

Invitar a los alumnos a participar en una lluvia de ideas para compartir la información que tienen sobre los dos accidentes anteriores a partir de las siguientes preguntas:

- ¿Por qué ocurrieron estos accidentes? Causas
- ¿Cómo se comunicó el accidente a la población?
- ¿Cuáles fueron las consecuencias para la población y para el medio ambiente?
- ¿Qué tipo de emisiones se produjeron y cuáles fueron las consecuencias sobre la salud?
- ¿Qué tipo de medidas de protección se tomaron?
- ¿Cuáles fueron las consecuencias sociales en las comunidades afectadas?

ANÁLISIS Y PUESTA EN COMÚN:

Una vez realizada la lluvia de ideas, se puede plantear que los alumnos de la clase se organicen en varios grupos, donde comenten la información relacionada con los acontecimientos obtenida individualmente, y recopilen más información. El objetivo es realizar un trabajo en grupo, donde se analicen los distintos aspectos planteados y las similitudes y diferencias entre ambos accidentes.

Al finalizar las distintas exposiciones de los grupos, se organizará un debate sobre las lecciones aprendidas en estas dos emergencias.





Actividad didáctica

3.2. PREPARAR Y REALIZAR UN PROGRAMA PARA APLICAR LAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN ANTE EL RIESGO NUCLEAR EN EL COLEGIO.

Actividad dirigida a alumnos de Secundaria y Bachillerato



Objetivo:

El objetivo es interiorizar las medidas de prevención y protección ante el riesgo nuclear a adoptar en el colegio, ejercitando la aplicación de las medidas de protección y potenciando el adquirir actitudes de responsabilidad, solidaridad y participación como miembro de una colectividad.









PUNTO DE PARTIDA:

Planificar y preparar las actuaciones a llevar a cabo ante una emergencia nuclear en el colegio.
En el caso de que el centro educativo disponga de un plan de autoprotección que tenga incorporado el riesgo nuclear, no se deberá entregar a los alumnos hasta el final de la actividad, en la fase de análisis y puesta en común.

DESARROLLO:

Los alumnos de cada clase se organizarán en varios grupos de 5 ó 6 personas que abordarán el siguiente trabajo:

- IDENTIFICAR LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN A APLICAR EN EL COLEGIO Y LA FINALIDAD DE CADA UNA DE ELLAS.
- ANALIZAR LAS CARACTERÍSTICAS DEL COLEGIO Y SU USO, (número de plantas, ocupación, etc.).
- PLANIFICAR LAS ACTUACIONES A REALIZAR EN UNA SITUACIÓN DE CONFINAMIENTO:
    - Designar el aula donde se realizaría el confinamiento.
    - Especificar el procedimiento (prever posibles necesidades que puedan ocurrir, elaborar un protocolo para verificar que están todos los alumnos que han ido al colegio ese día, planificar acciones a llevar a cabo, cerrar puertas y ventanas, escuchar radio con pilas, etc.).
    - Designar responsables de las distintas actuaciones.
- PLANIFICAR LA APLICACIÓN DE LA PROFILAXIS RADIOLOGÍCA:
    - Calcular el número de alumnos del colegio.
    - Consultar la existencia de algún alumno con intolerancia al yoduro potásico.
    - Buscar información sobre donde está almacenado el yoduro potásico.
    - Buscar información sobre cuándo debe ingerirse.
    - Diseñar un procedimiento de distribución de yoduro potásico en el colegio.
    - Obtener información sobre si existe autorización de padres o tutores para la administración del yoduro potásico.

• PLANIFICAR LA APLICACIÓN DE LA MEDIDA DE EVACUACIÓN:

o Diseñar las rutas de evacuación más cortas de cada aula al punto de encuentro del patio donde va a estar el autobús de evacuación e identificar rutas alternativas para alumnos con movilidad reducida.

o Planificar la evacuación hasta el punto de encuentro acordado, estableciendo los alumnos que están ese día en clase, los pasos y las normas a seguir y analizando la situación de los alumnos en el aula (problemas de movilidad ó de otro tipo que puedan dificultar la evacuación, las cosas que se llevarían y las que dejarían, etc.).

o Elaborar una estrategia familiar por si se ordenase una evacuación del colegio. El colegio informará a las familias sobre los centros educativos establecidos, ubicados en municipios áreas base de recepción social, a los que se desplazarían los alumnos, en caso de una emergencia de este tipo.

o Desarrollar un simulacro de evacuación, recogiendo información del tiempo invertido, actuaciones que han dificultado ó favorecido la evacuación, etc.

• ANALIZAR OTRAS POSIBLES ACTUACIONES A REALIZAR EN EL COLEGIO PARA MEJORAR LA EFICACIA DE ESTAS MEDIDAS.

ANÁLISIS Y PUESTA EN COMÚN:

Una vez terminado el trabajo.

1. Se hará una presentación de los programas sobre la aplicación de las medidas de protección en el colegio por los distintos grupos.
2. La Dirección del centro explicará, en caso de que exista, su plan de autoprotección con la integración de las medidas sobre riesgo nuclear.
3. Se organizará un debate final sobre todo lo expuesto, en el que se analizará toda la información aportada, los elementos que facilitan ó dificultan la adopción de estas medidas y se propondrá a la Dirección del centro la incorporación de las medidas que se consideren más adecuadas al plan de autoprotección del centro educativo (señalización de la ruta de evacuación en el colegio, de las aulas de confinamiento, etc.).



DEsignar el aula donde se realiza el confinamiento



Planificar la aplicación de la profilaxis radiológica



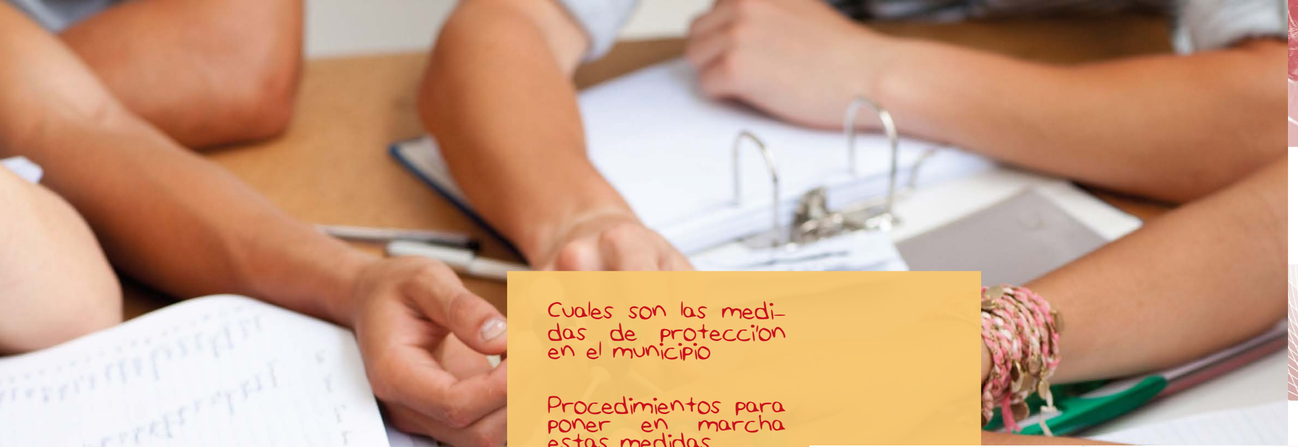
Planificar la medida de evacuación



Calcular el número de alumnos

ANALIZAR OTRAS POSIBLES ACTUACIONES



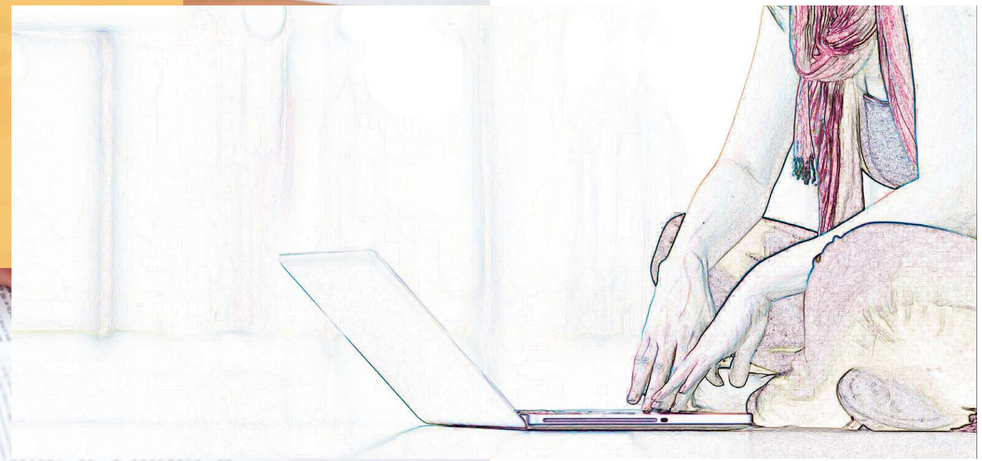


- Cuales son las medidas de protección en el municipio
- Procedimientos para poner en marcha estas medidas
- Recursos humanos y recursos materiales en el municipio
- Buscar en Internet y solicitar información en el ayuntamiento

Actividad didáctica

3.3. PREPARAR Y REALIZAR UN PROGRAMA DE APLICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN ANTE EL RIESGO NUCLEAR EN EL MUNICIPIO

Actividad dirigida a alumnos de Bachillerato



Objetivo:

El objetivo es interiorizar las medidas de prevención y protección ante el riesgo nuclear a adoptar en el municipio y adquirir actitudes de responsabilidad e implicación como miembro de una colectividad.







PUNTO DE PARTIDA:

Buscar información y planificar lo que es correcto hacer si tienen que aplicarse determinadas medidas de protección en el municipio.

DESARROLLO:

- CUALES SON LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN A APLICAR EN EL MUNICIPIO Y LA FINALIDAD DE CADA UNA DE ELLAS.
- DESARROLLAR UN PROCEDIMIENTO PARA PONER EN MARCHA CADA UNA DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN EN SU MUNICIPIO:

  - o Control de accesos
  - o Confinamiento
  - o Profilaxis radiológica
  - o Protección personal
  - o Control de alimentos y agua
  - o Evacuación total de la población
  - o Desplazamiento al alojamiento provisional y albergue
  - o Desplazamiento a la Estación de Clasificación y Descontaminación de personas

- Cada procedimiento debe incluir recursos humanos del municipio, recursos materiales y las actuaciones a llevar a cabo en cada municipio, incluyendo el avisar a la población de la aplicación de cada medida.
- Para la realización de este trabajo los estudiantes buscarán información en Internet, y solicitarán información al ayuntamiento de su municipio sobre el tipo de municipio, la localización de las Áreas Base de Recepción Social, las Estaciones de Clasificación y Descontaminación, etc.

ANÁLISIS Y PUESTA EN COMÚN:

- Una vez terminado el trabajo, se hará una presentación por grupos y se contemplarán los aspectos a mejorar, las dificultades y los puntos fuertes de cada uno de los trabajos presentados.
- Se elegirá el trabajo más completo y será remitido al ayuntamiento del municipio, para conocer su opinión al respecto y valorar, si es posible, integrar algún aspecto en el plan de actuación de emergencia nuclear del municipio.

GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DEL INTERIOR

DIRECCIÓN GENERAL
DE PROTECCIÓN CIVIL
Y EMERGENCIAS