La protección radiológica en la industria, la agricultura, la docencia o la investigación / CSN

100
90
80
70
60
50
40

Referencia: SDB-04.04

© Consejo de Seguridad Nuclear, 2012

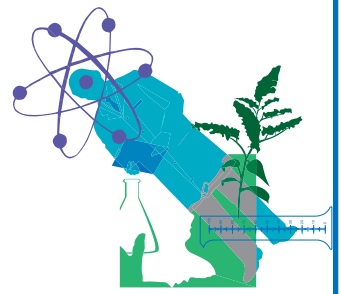
Edita y distribuye:
Consejo de Seguridad Nuclear
Pedro Justo Dorado Dellmans, 11
28040 Madrid
tel.: 91 346 01 00
Fax: 91 346 05 58
www.csn.es

Diseño de colección:
Juan Vidaurre

Imprime: GRAFO, S.A.

Depósito Legal: BI-459-2012

Impreso en papel reciclado

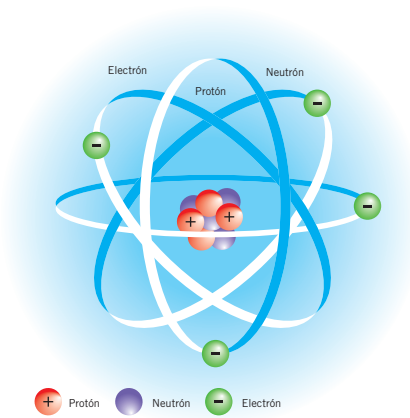


Las radiaciones ionizantes	**5**
Aplicaciones	**13**
Riesgos de la radiación	**27**
Efectos biológicos	**29**
El sistema de protección radiológica	**32**
Aplicación del sistema de protección radiológica	**38**
Medidas de protección radiológica	**46**
Producción y gestión de residuos radiactivos	**49**
Funciones y responsabilidades	**53**
Glosario	**56**
Principales disposiciones legales	**61**

Las radiaciones ionizantes

Introducción

Las radiaciones ionizantes son aquellas que debido a la energía que poseen, al interaccionar con la materia producen ionizaciones en la misma, es decir, modificaciones tanto a nivel atómico como molecular. La materia está formada por átomos, componentes esenciales de todo lo que nos rodea, constituidos por un núcleo, parte central del átomo con carga eléctrica positiva (formado por neutrones y protones = nucleones) y la corteza que es la parte más externa, de carga eléctrica negativa (formada por electrones).

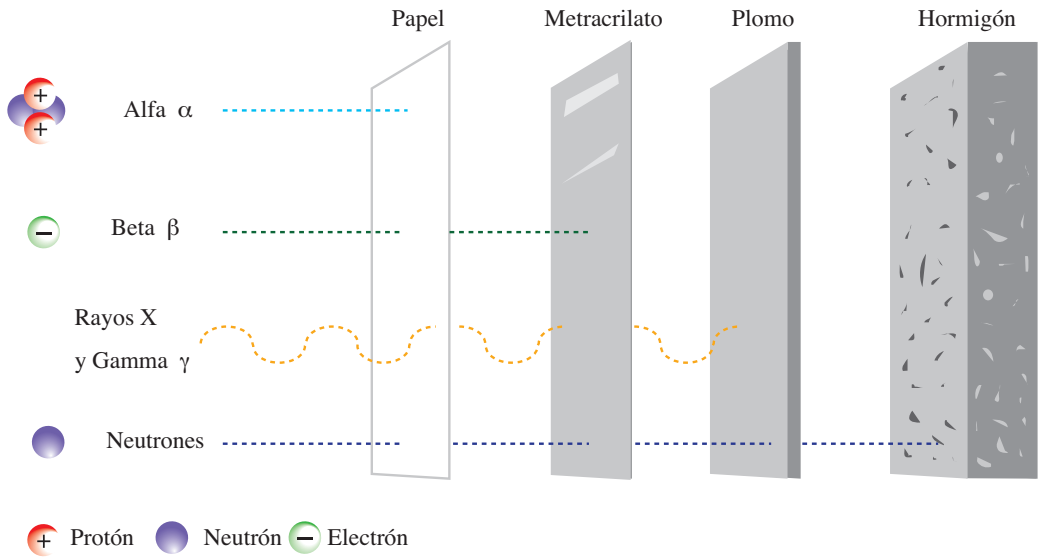


Estructura del átomo.

Para describir completamente un átomo se utiliza la siguiente representación: $[{}^{N}_{Z}X]$ siendo X el símbolo del elemento químico y A y Z el número de nucleones y protones respectivamente.

Un "elemento químico" o simplemente un "elemento", es el conjunto de átomos que tienen el mismo número de protones en el núcleo. Este número se denomina "número atómico" del elemento. Los átomos de un mismo elemento tendrán todos, en estado neutro, el mismo numero de electrones periféricos (mismas propiedades químicas). Por el contrario pueden tener distinto número de neutrones en su núcleo y en estos casos estos átomos se denominan "isótopos" (isótopos del hidrógeno: ${}^{1}H$, ${}^{2}H$, ${}^{3}H$).

La radiactividad está ligada a la desintegración de los núcleos de ciertos átomos particulares denominados por esta razón radiactivos. Durante esta desintegración hay emisión de partículas α o β o radiación electromagnética, radiación γ, hasta que los nuevos átomos producidos encuentran su estabilidad. Estas desintegraciones se pueden observar en la naturaleza, en cuyo caso hablamos de la radiactividad natural, o producirse por el ser humano y hablamos de la radiactividad artificial. Se denomina radionúclido a un isótopo radiactivo de un elemento que posee isótopos estables y radiactivos (${}^{137}Cs$) y radioelemento a un elemento cuyos isótopos son todos radiactivos (uranio). El tiempo necesario para que la mitad de los átomos radiactivos inicialmente presentes en una muestra se desintegren se denomina "periodo de semidesintegración".



Tipos de radiaciones ionizantes.

Tal y como se observa en la figura, atendiendo a la penetración en la materia, las partículas alfa (formadas por dos neutrones mas dos protones) penetran muy poco en la materia, por ello no presentan riesgo cuando actúan desde el exterior del organismo humano pero sí en caso de su incorporación al mismo, ya que tienen un gran poder de ionización en una distancia muy corta.

Las partículas beta (formadas por electrones negativos: (β^-) o positivos: (β^+), son mucho más ligeras que las alfa y por tanto tienen un mayor poder de penetración.

Dentro de la radiación de naturaleza electromagnética tenemos la radiación gamma (γ) y los rayos X (de origen atómico como consecuencia de ajustes electrónicos en la corteza), ambas con un importante poder de penetración que depende de su energía.

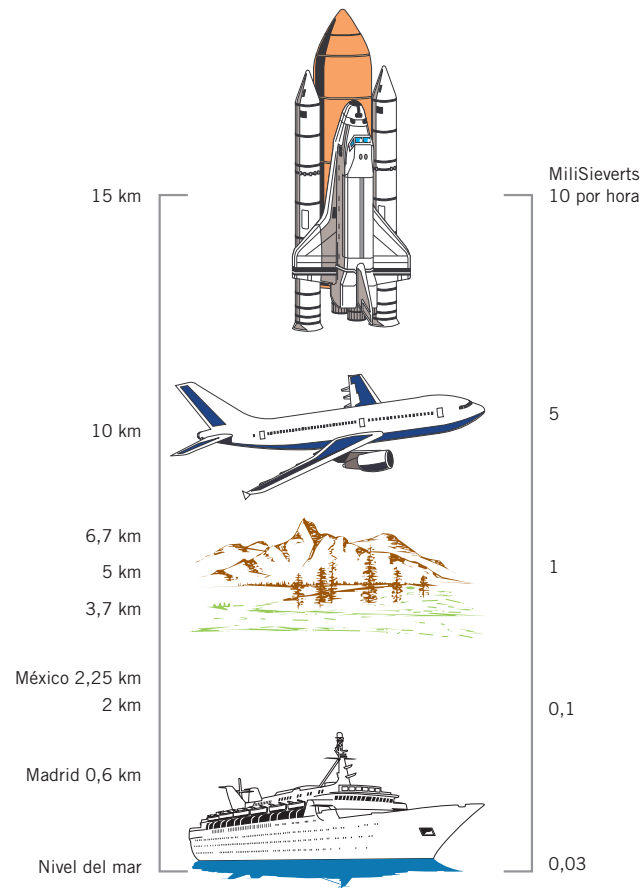
Un poco de historia

A principios del año 1869, Henri Antoine Becquerel, premio Nobel de Física en 1903, descubrió que un compuesto de uranio, sustancia natural, emitía espontáneamente radiaciones ionizantes. Dos años más tarde, el matrimonio Pierre y Marie Curie, que compartieron el premio Nobel de Física con Becquerel, encontraron que otra sustancia llamada torio emitía el mismo tipo de radiación que el compuesto de uranio.

Las investigaciones de estos dos científicos condujeron al descubrimiento de un nuevo elemento llamado radio que tuvo importantes aplicaciones en el campo de la medicina. Las emisiones producidas por estos y otros elementos naturales, llamados radionucleidos, constituyen lo que se conoce como radiactividad natural. Su existencia data desde el origen de la tierra. Desde que nacemos hasta que morimos vivimos inmersos en un medio, en el cual convivimos con un determinado nivel de radiación. Los causantes de esta radiación natural son los radionucleidos naturales y la radiación cósmica.
El ser humano, en las últimas décadas, ha sido capaz de generar nuevos radionucleidos, y la radiación que emiten se conoce con el nombre de radiación artificial.
Las radiaciones ionizantes se utilizan, entre otros campos, en la investigación, la industria y el área sanitaria desde la triple vertiente diagnóstica, investigadora y terapéutica.

Radiación natural

Los seres vivos han estado siempre expuestos a fuentes naturales de radiaciones ionizantes. Una característica distintiva de la irradiación natural es que afecta a toda la población mundial con una intensidad relativamente constante a lo largo del tiempo con variaciones geográficas.



Radiación cósmica.

Parte de la radiación de fondo presente en la superficie de la tierra procede del espacio y se conoce como radiación cósmica. La atmósfera, actuando como filtro natural, evita que la mayor parte de esta radiación alcance la superficie terrestre. La exposición a la radiación procedente del espacio es variable dependiendo de la altitud, siendo mínima a nivel del mar. También varía, aunque en menor medida, en función de la latitud, siendo de menor intensidad en el ecuador que en los polos, debido a la acción del campo magnético terrestre.

Además hay que tener en cuenta que los rayos cósmicos al interaccionar con la atmósfera, la biosfera y la litosfera generan radionucleidos denominados cosmogénicos, que también forman parte del fondo natural.

La radiación procedente del suelo es denominada radiación terrestre. Depende de la concentración de radionucleidos en la corteza terrestre y por lo tanto la exposición de las personas, debida a esta radiación varía considerablemente dependiendo de la zona en la que habitan.

Otras sustancias radiactivas naturales se encuentran presentes en el aire, los alimentos y el agua, y son incorporadas al interior del organismo con la dieta y la respiración, dando lugar a la conocida como exposición interna.

Radionucleidos naturales	Período de semidesintegración
Cosmogénicos	
• Hidrógeno-3	12,3 años
• Berilio-7	53,2 días
• Carbono-14	$5{,}7 \times 10^3$ años
• Sodio-22	2,6 años
De la corteza terrestre	
• Potasio-40	$1{,}3 \times 10^9$ años
• Rubidio-87	$4{,}7 \times 10^{10}$ años
• Serie uranio-235	$7{,}0 \times 10^8$ años
• Serie uranio-238	$4{,}5 \times 10^9$ años
• Serie torio-232	$1{,}4 \times 10^{10}$ años

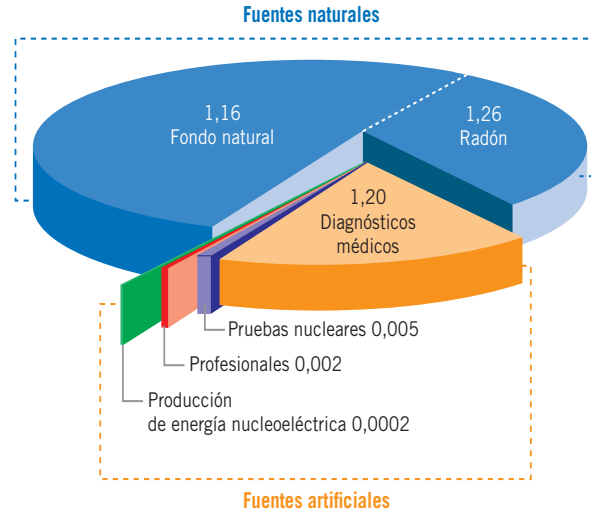
Ejemplos de radionucleidos naturales.

Fuente	Dosis efectiva (mSv por año)	Rango típico (mSv por año)
Exposición externa		
• Radiación cósmica	0,39	0,3-1,0
• Radiación terrestre (Th-232,u-238, u-235, Ra 226)	0,48	0,3-0,6
Exposición interna		
• Inhalación: u,Th, Rn, Tn	1,26	0,2-10
• Ingestión: u,Th, K-40	0,29	0,2-0,8
Total	2,42	1-10

Dosis medias mundiales (Fuente: UNSCEAR 2000).

En la tabla de dósis medias mundiales se aprecia el rango de variación de la dosis efectiva anual (ver apartado sobre magnitudes y unidades) para las diversas fuentes de radiación natural. La dosis efectiva debida a la irradiación natural para un individuo medio hipotético está estimada en 2,42 mSv por año, pero el rango de variación oscila entre 1 y 10 mSv por año según las distintas zonas de la tierra.

Cuando se comparan las dosis individuales medias en la población mundial debidas a las distintas fuentes (naturales y artificiales) se puede observar que la contribución de mayor entidad corresponde al fondo natural y dentro de éste un poco mas de la mitad es debida al radón, gas noble procedente de la desintegración del radio (radio-226) y este a su vez del uranio (uranio-238) que forman parte de la composición natural de los suelos y aguas terrestres. El radón debido a su naturaleza gaseosa emana del suelo y de los materiales de construcción pudiendo acumularse en el interior de edificios y cuevas, dando lugar a exposiciones que pueden ser importantes cuando los terrenos sobre los que se asientan los edificios exhalan concentraciones elevadas de estos dos radionucleidos y las condiciones de ventilación son insuficientes.



Contribución de las diferentes fuentes radiactivas naturales y artificiales a la dosis efectiva por persona y año.

Radiación artificial

El comportamiento de los radionucleidos artificiales, las leyes por las que se rigen y el tipo de emisiones, son las mismas que para la radiactividad natural.

El período de semidesintegración de estos radionucleidos artificiales es, en general, inferior al de los radionucleidos naturales. De hecho, algunos de estos radionucleidos artificiales tienen períodos de semidesintegración de horas e incluso excepcionalmente de minutos.

Detección y medida de la radiación

Algunas manifestaciones de energía como el calor y determinados sonidos pueden ser claramente identificadas por nuestros sentidos. Sin embargo, nuestros sentidos no son capaces de detectar las radiaciones ionizantes, de ahí que se hayan diseñado equipos que ponen de manifiesto su existencia y además miden la cantidad de energía que estas radiaciones van a depositar en cualquier medio.

Medidores de radiación.

Magnitudes y unidades

De igual forma, que para determinar la cantidad de materia que poseen los cuerpos, se utiliza una magnitud llamada masa, cuya unidad es el kilogramo con sus múltiplos y submúltiplos, en el campo de las radiaciones ionizantes, también se han establecido una serie de magnitudes y sus unidades correspondientes.

Actividad radiactiva

Es una magnitud que expresa la velocidad de desintegración de una cantidad determinada de sustancia radiactiva. Corresponde al numero de desintegraciones que sufre por unidad de tiempo y en un momento determinado, la muestra radiactiva considerada. Su unidad es el becquerelio (Bq) en honor del físico francés Becquerel. Un becquerelio es la desintegración de un átomo por segundo. Esta unidad es muy pequeña, los seres humanos en nuestra constitución somos portadores de actividades radiactivas entre 2.000 y 3.000 Bq debidas a dos radionucleidos naturales, el carbono-14 y el potasio-40). Entre los múltiplos de esta unidad, los mas utilizados en el área sanitaria son el kilo-becquerelio (kBq), igual a 1.000 Bq, y el mega-becquerelio (MBq) que tiene 1.000.000 Bq.

Dosis absorbida

Las radiaciones emitidas por las sustancias radiactivas interaccionan con la materia cediéndole energía. La cantidad de energía cedida se denomina "dosis absorbida". Se expresa en gray (Gy) que corresponde a la energía de 1 julio cedida en un kilogramo de materia (1 Gy = 1 J/kg). En el campo de la protección radiológica, es frecuente el uso del mili-gray (mGy), ya que el gray es una unidad muy elevada.

La dosis absorbida es insuficiente para expresar el efecto biológico que produce la radiación, ya que éste depende de la naturaleza y energía de la radiación y del tejido expuesto a la misma. Para tener en cuenta estos aspectos se introducen dos nuevas magnitudes: la dosis equivalente y la dosis efectiva.

Tipo y rango de energía	Factor de ponderación de la radiación
Fotones de todas las energías	1
Electrones de todas las energías	1
Neutrones (según energía)	5-20
Partículas alfa	20

Factores de ponedración de la radiación.

Dosis equivalente

Es la dosis absorbida en un órgano o tejido (T), ponderada en función del tipo y calidad de la radiación R. Su unidad es el sievert (Sv). Se expresa mediante la expresión:

$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R}$

$H_{T,R}$ = Dosis equivalente

$D_{T,R}$ = Dosis absorbida promediada en el órgano o tejido procedente de la radiación R

W_R = Factor de ponderación de la radiación

El valor de la dosis equivalente H permite comparar, desde el punto de vista de la protección radiológica, los diferentes daños que la misma dosis absorbida puede causar, en un órgano o tejido, dependiendo del tipo de radiación y su energía.

Dosis efectiva

La dosis efectiva (E) es la suma ponderada de las dosis equivalentes en los distintos órganos y tejidos del cuerpo a causa de irradiaciones internas y externas. Su unidad es también el sievert (Sv). Se expresa mediante la siguiente expresión:

$E = \Sigma_T W_T \cdot H_T$

E = Dosis efectiva

H_T = Dosis equivalente en el órgano o tejido T.

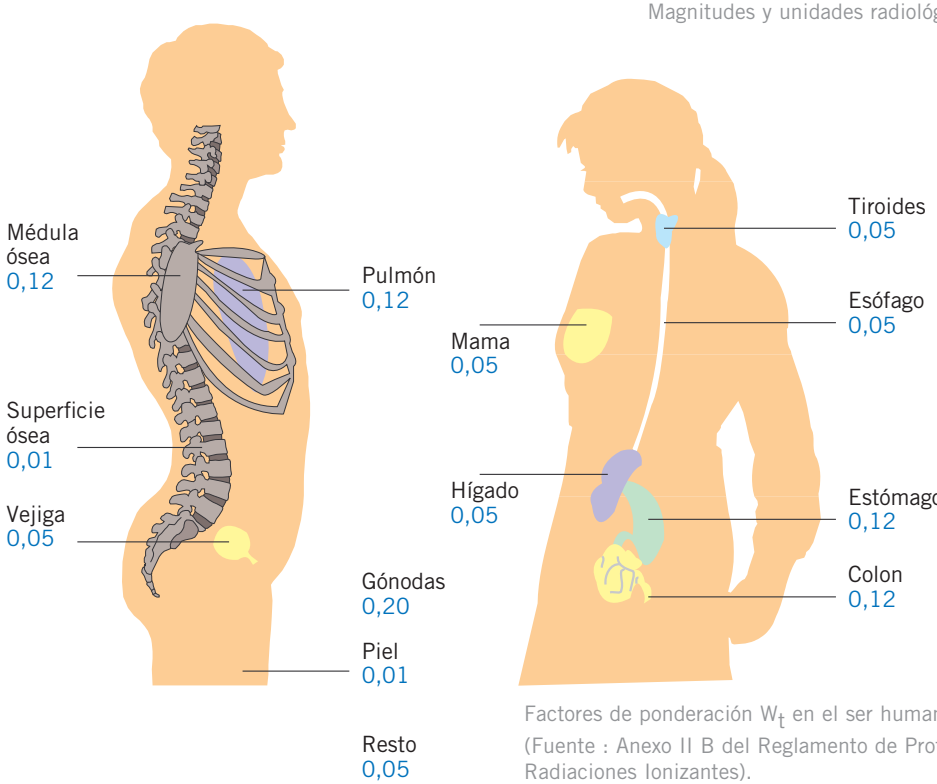
W_T = Factor de ponderación del órgano o tejido T.

El valor de la dosis efectiva E, nos da una información sobre el riesgo global en el organismo humano.

Tanto la dosis equivalente como la dosis efectiva son magnitudes utilizadas en la reglamentación actual para establecer los límites de dosis aplicables a los trabajadores expuestos y a los miembros del público.

Magnitud	Fórmula	Símbolo	Unidad
Actividad		A	Becquerelio (Bq)
Dosis absorbida		D	Gray (Gy)
Dosis equivalente	$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R}$	H	Sievert (Sv)
Dosis efectiva	$E = \Sigma_T W_T \cdot H_T$	DE	Sievert (Sv)

Magnitudes y unidades radiológicas.



Factores de ponderación W_t en el ser humano.
(Fuente : Anexo II B del Reglamento de Protección Radiológica contra Radiaciones Ionizantes).

Aplicaciones

Introducción

La utilización de las radiaciones ionizantes en la industria, la agricultura, la docencia y la investigación constituye un instrumento que permite realizar determinadas tareas de una manera más rápida, eficaz y a un coste menor del que supondría la utilización de otros métodos alternativos. Se emplean diversos tipos de fuentes de radiaciones ionizantes.

Los radionucleidos como fuentes de radiaciones ionizantes se pueden presentar en forma encapsulada o no encapsulada.

Una fuente encapsulada o sellada, es aquella en la que el radionucleido está protegido mediante una cápsula lo suficientemente segura, como para evitar que el radionucleido pueda tomar contacto con el exterior. Sólo emergerá de esta fuente la radiación que, emitida por el radionucleido, sea capaz atravesar la mencionada cápsula. Este tipo de fuentes solamente puede presentar el riesgo de contaminación en el caso de que la cápsula pierda su hermeticidad.

En las fuentes no encapsuladas o abiertas, el radionucleido puede fácilmente tomar contacto con el exterior. La manipulación de este tipo de fuentes puede implicar un mayor riesgo de irradiación y de contaminación.

La aplicación de las radiaciones ionizantes tiene su origen en la interacción de esta radiación con la materia y sus consecuencias. De acuerdo con ello se pueden clasificar las aplicaciones en tres grupos:

- Aplicaciones basadas en la acción de la materia sobre esta radiación. Para este tipo se utilizan generalmente fuentes encapsuladas de pequeña o mediana actividad. Se fundamentan en la diferente absorción o retrodispersión de la radiación en la materia que atraviesa. Se incluyen aplicaciones como la gammagrafía o radiografía industrial, la medida de espesores y de humedad, etc.

- Aplicaciones basadas en la acción de esta radiación sobre la materia, como consecuencia de su acción bactericida e ionizante. Para las aplicaciones basadas en la primera característica se utilizan fuentes con elevada actividad y es de gran utilidad en la esterilización de todo tipo de productos.

Para el segundo tipo de aplicaciones se utilizan actividades muy bajas de emisores alfa y beta, como en el caso de los detectores de humo y la producción de materiales luminosos.

- Aplicaciones basadas en el empleo de trazadores. La técnica consiste en incorporar radionucleidos a un material para seguir su curso o comportamiento mediante la detección de la radiaciones ionizantes que emiten. Estas técnicas se encuentran ampliamente difundidas desde los estudios médicos y bioquímicos hasta en el estudio de transporte de fluidos y la contaminación ambiental.

También se pueden clasificar las radiaciones ionizantes atendiendo a su campo de aplicación tal como presentamos en el presente capítulo, donde pasamos revista brevemente a las aplicaciones de las radiaciones ionizantes en la industria, la agricultura y la investigación sin hacer mención a las aplicaciones en medicina tanto con fines de diagnóstico como de terapia, ya que debido a su importancia y extensión es objeto de la publicación *La protección radiológica en el medio sanitario* del CSN.

Aplicaciones de las radiaciones ionizantes en la industria

Las aplicaciones de las radiaciones ionizantes en el campo de la industria son muy variadas y numerosas. La industria aprovecha la capacidad que las radiaciones ionizantes tienen para atravesar los objetos y los materiales y el hecho de que cantidades insignificantes de radionucleidos puedan medirse rápidamente y con precisión proporcionando información exacta de su distribución espacial y temporal.

A continuación, se muestran algunas de las aplicaciones más significativas:

- Medida de espesores y densidades. La técnica se basa en la variación de la intensidad o tasa de flujo de la radiación que se transmite o refleja cuando ésta atraviesa un material. Así, cuando en un proceso industrial se quiere medir el espesor de una lámina, se coloca una fuente a un lado de la lámina del material a medir y un detector en el lado opuesto. Si varía el grosor de la misma, el detector percibirá el cambio en la intensidad de la radiación. La radiación gamma es la más uti-

lizada en el control de la fabricación de láminas metálicas, debido a su alto poder de penetración. La radiación beta, con menor poder de penetración, es habitual para la medida de espesores en la industria del papel y el plástico.

- Medida de niveles. La técnica utilizada es muy similar a la anterior, se fijan a la superficie externa del depósito o botella, en el que se quiere medir el nivel, varias fuentes orientables dispuestas a diversas alturas. En el lado opuesto, se disponen los detectores.

Radionucleidos	Tipo de emisión	Periodo de semidesitegración	Aplicación
Cesio-137	β , γ	30 años	Gammagrafía industrial, esterilización de materiales, irradiación de alimentos. Para estas aplicaciones sólo se utiliza la radiación γ
Cobalto-60	β , γ	5,26 años	Gammagrafía industrial, esterilización de materiales, irradiación de alimentos. Para estas aplicaciones sólo se utiliza la radiación γ
Americio-241	α , γ	458 años	Detectores de humo
Radio-226/ Berilio	α, β , γ neutrones	1620 años	Medida de humedad
Americio-241/ Berilio	α, γ neutrones	458 años-53,3 días	Medida de humedad
Carbono-14	β^-	5.730 años	Datación
Bario-133	γ	10 años	Medida de espesores de láminas de aluminio y cobre
Estroncio-90	β^-	25,5 años	Eliminación de electricidad estática

Radiaciones ionizantes utilizadas en la industria.

Los detectores localizados por encima del nivel del líquido reciben niveles de radiación superiores a los situados por debajo del mismo. Esta técnica es muy útil en el caso de depósitos o envases que contengan líquido o gases corrosivos o a elevadas temperaturas y en todos aquellos casos donde sea imposible emplear dispositivos de contacto.

- Medida del grado de humedad. La determinación de humedad mediante la utilización de fuentes radiactivas se basa en la moderación de neutrones rápidos al colisionar con los átomos de hidrógeno presentes en el agua. Las sondas neutrónicas de humedad son especialmente adecuadas para medir la humedad en materiales a granel (arena, cementos, etc.) y en la producción de vidrio y hormigón.

- Gammagrafía o radiografía industrial. Esta técnica se basa en la absorción diferencial de la radiación cuando ésta atraviesa materiales de diferente densidad. Está ampliamente utilizada para verificar las uniones de soldadura en tubos, para ello se introducen fuentes portátiles dentro de la tubería a inspeccionar, fijando una película en el exterior de la misma que actúa como detector.

- Control de seguridad y vigilancia. Los rayos X se utilizan para vigilar el contenido de maletas en aeropuertos, así como para la detección de explosivos en cartas y paquetes postales en oficinas de correo.

Detector de humo.

- Detectores de humo. Estos dispositivos contienen una pequeña fuente que emite radiación alfa. Si el humo se interpone entre la fuente y el detector, impide que la partícula incida en el detector y se dispara una alarma.

- Esterilización de materiales. Se basa en la acción bactericida de la radiación. Para ello se utilizan fuentes encapsuladas de elevada actividad y aceleradores de partículas. Es un método frecuentemente utilizado en la industria farmacéutica y alimentaria.

- Eliminación de electricidad estática. Se basa en los fenómenos de ionización que provocan las radiaciones en el medio que atraviesan.

Es muy útil en aquellos procesos industriales en los que la acumulación de electricidad estética provoca grandes inconvenientes, como pueden ser la industria: textil, de materiales plásticos, papel, vidrio, transporte de combustibles, etc.

- Producción de materiales luminiscentes. Se fundamenta en la propiedad de las partículas alfa y electrones de producir fenómenos de luminiscencia en algunos materiales. Los productos obtenidos suelen ser utilizados para la señalización (en aviones, barcos, etc.).

- Datación. A lo largo de miles de años la relación entre el carbono estable y el carbono-14 se ha mantenido inalterada en estado de equilibrio en la atmósfera. Esta misma relación se mantiene en todos los seres vivos. Cuando éstos mueren, el equilibrio se rompe debido a la desintegración radiactiva del carbono-14, y analizando la cantidad de carbono radiactivo presente en el resto orgánico que se quiera datar, se puede estimar su antigüedad.

- Detección de fugas. Se utilizan radionucleidos, de periodo muy corto, que se mezclan con el fluido y se introducen en las canalizaciones. La situación de la fuga se establece empleando detectores capaces de localizar el radionucleido cuando éste sale de la canalización por alguna rotura.

Producción de energía eléctrica

Un caso particular de las aplicaciones industriales es la generación de energía eléctrica mediante una central nuclear. Se trata de una instalación industrial que utiliza un reactor nuclear como fuente inicial de calor, en lugar de una caldera de combustión de carbón, fuel o gas natural, para producir el vapor necesario para accionar los turbogeneradores.

Las centrales nucleares españolas son del tipo denominado de "agua ligera" por utilizar el agua ordinaria como fluido de refrigeración del reactor. Este tipo de centrales es el más extendido en el mundo.

En el reactor se produce la fisión del uranio enriquecido en el isótopo uranio-235 en forma de una reacción en cadena controlada que libera la energía necesaria para el proceso.

Sus principales características son:

- El gran rendimiento calórico. El proceso de la fisión nuclear es del orden de millones de veces superior al de la combustión química convencional del carbón o del fuel. Un kg de uranio-235 fisionado equivale a 2,5 millones de kg de carbón, o a 1,5 millones de kg de fuel, o a 2.000 millones de metros cúbicos de gas natural.

- El bajo consumo de combustible. En el proceso de la fisión se necesita una pequeñísima cantidad de masa de uranio para producir una gran cantidad de energía, tal como se deduce de la conocida fórmula de Einstein ($E= mc^2$), en la que la masa se multiplica por el cuadrado de la velocidad de la luz para obtener la energía producida por la misma.
  Una central nuclear, de 1.000 megavatios de potencia eléctrica (unos 3.000 megavatios térmicos), consume unas 30 toneladas de combustible al año, fisionándose 3 kg de uranio-235 por día de funcionamiento.

- La ausencia de contaminación química. En el proceso de la fisión nuclear no hay consumo de oxígeno ni producción de dióxido de carbono ni de otros contaminantes químicos, pues se trata de una transformación energética directa y no de un proceso de combustión en el sentido convencional, aunque se designe al uranio, como "combustible nuclear" por analogía con las demás centrales térmicas.

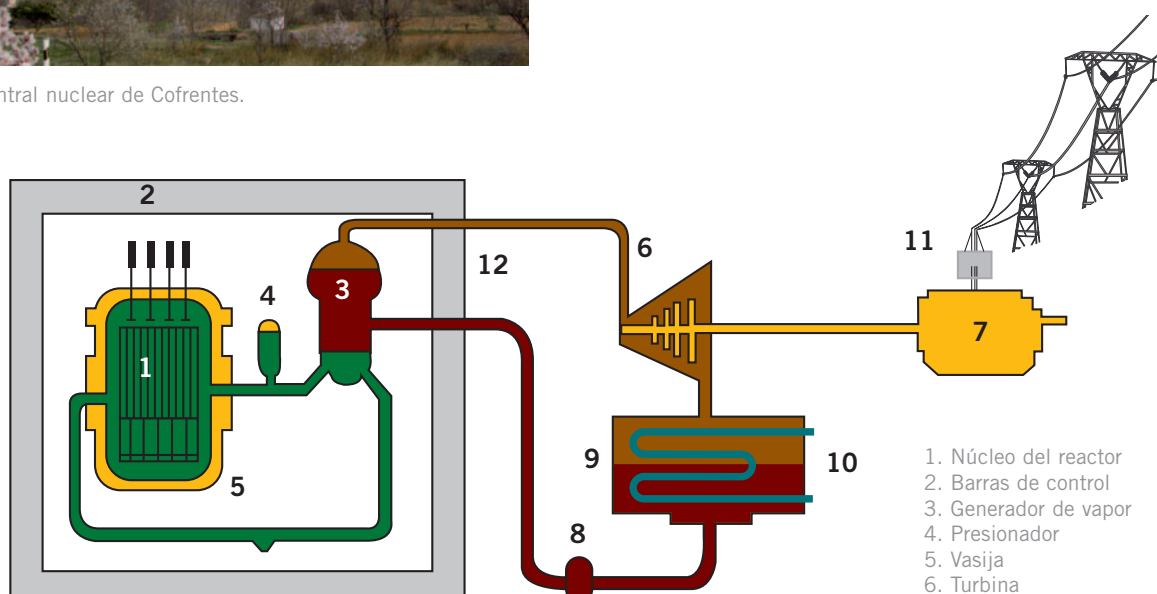
- La producción de radiactividad. Debida principalmente a que los fragmentos de la fisión del uranio son radiactivos y también a la radiactividad que se origina por la activación de los fluidos y materiales que están sometidos a la irradiación neutrónica en el reactor.

El elemento combustible irradiado del reactor es la principal fuente de radiactividad de una central nuclear, con actividades de muchos miles de millones de becquerelios por gramo. Los productos de fisión y elementos transuránidos originados en él quedan retenidos en un 99,5% en el propio elemento combustible y su vaina, el cual conserva su integridad macroscópica sólida así como su hermeticidad después de la irradiación. El resto, así como los productos de activación originados en el núcleo del

reactor, quedan confinados en el sistema primario cerrado constituído por la vasija y el circuito de refrigeración del mismo.

Central nuclear de Cofrentes.

En consecuencia, las radiaciones ionizantes son inherentes al funcionamiento de una central nuclear. Por ello, su diseño debe preveer el confinamiento de la radiactividad y el blindaje de las radiaciones ionizantes hasta valores inocuos para el público y compatibles con el trabajo profesional de exposición radiológica en ella. El trabajo en una central nuclear requiere una vigilancia radiológica que, en su sentido más amplio, es el objeto de la protección radiológica asociada a la planta.



Esquema de una central nuclear de agua ligera.

1. Núcleo del reactor
2. Barras de control
3. Generador de vapor
4. Presionador
5. Vasija
6. Turbina
7. Alternador
8. Bomba
9. Condensador
10. Agua de refrigeración
11. Transformador
12. Recinto de contención de hormigón armado

Aplicaciones agroalimentarias

La utilización de radiaciones ionizantes en la industria agroalimentaria ha desempeñado un papel importante incluyendo aspectos tan diferentes como la investigación o la eliminación de plagas. En 1964 se estableció una Comisión Mixta entre la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) para facilitar la puesta en práctica de estas actividades en el campo de la agricultura y la alimentación en los países en desarrollo gracias a las cuales se han obtenido grandes beneficios. En este ámbito las radiaciones ionizantes se utilizan para:

- Determinar la eficacia en la absorción de los abonos por las plantas y optimizar la fijación biológica del nitrógeno. El empleo de los fertilizantes es costoso y su uso inadecuado o excesivo puede ser perjudicial para el medio ambiente. Marcando los abonos con isótopos de fósforo y de nitrógeno se puede determinar con precisión la cantidad de los mismos que absorben las plantas y la que se pierde en el medio. También estas técnicas permiten conocer la cantidad de nitrógeno que pueden fijar las plantas y estudiar formas para aumentarla.

- Optimizar los recursos hídricos. El agua es un factor limitante de la producción agrícola en muchas partes del mundo, y su aprovechamiento eficiente pasa por un control permanente de la humedad del suelo, que puede llevarse a cabo mediante la utilización de sondas neutrónicas. Gracias a estos métodos puede conseguirse un ahorro del 40% del agua con respecto a los procedimientos tradicionales.

- Desarrollar variedades de cultivo con propiedades ventajosas para la agricultura mediante la inducción de mutaciones empleando técnicas de irradiación. Utilizando esta técnica se consigue:

  - Aumento de la resistencia del encamado, buscando plantas más bajas y de tallo más resistente para soportar las tormentas.

  - Modificación del tiempo de maduración para obtener plantas de maduración tardía o temprana.

  - Aumento a la resistencia de enfermedades, evitando de esta manera la utilización de productos químicos contra plagas.

  - Aumento del rendimiento de los cultivos.

Finalidad	Productos
Dosis baja (hasta 1kGy) Inhibición de brotes	Patatas, cebollas, ajos
Desinfección de insectos y parásitos	Cereales, legumbres, frutas frescas y desecadas, carne y pescado desecado
Retardo de la maduración	Frutas y verduras frescas
Dosis media (1-10 kGy) Prolongación del periodo de conservación	Pescado fresco, fresas
Eliminación de la putrefacción y de los microorganismos patógenos	Marisco fresco y congelados, aves y carne
Mejora de las cualidades de los alimentos	Aumento del jugo en las uvas, reducción del tiempo de cocción en verdura deshidratada
Dosis alta (10-50 kGy) Esterilización	Carne, aves, mariscos, alimentos preparados, dietas hospitalarias

Aplicaciones agroalimentarias.

- Mejora de los caracteres agronómicos: mayor resistencia al frío o aumento de la tolerancia al calor.

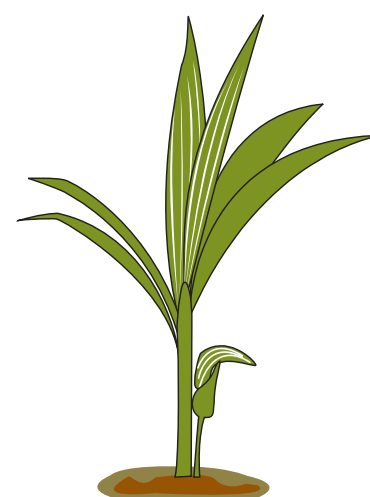
- Mejora de las características de las semillas: aumento del valor nutritivo o la facilidad de cocción.

- Lucha contra plagas de insectos. La técnica de los insectos estériles (TIE), consiste en exponer individuos macho criados en laboratorio a dosis de radiación apropiadas para esterilizarlos. Al ser liberados compiten con los machos normales y se aparean con las hembras sin producir descendencia. La liberación repetida de estos machos ha conseguido reducir o controlar las plagas en determinadas áreas geográficas.

- Aplicaciones en zootecnia. Se llevan a cabo estudios con radioisótopos para determinar el valor nutritivo y la absorción de los piensos y

otros subproductos de diversas industrias que habitualmente sirven de alimento al ganado, de manera que el rendimiento de la producción lechera y ganadera se ha visto aumentado. También son útiles estas técnicas en los programas de cría para determinar con exactitud el periodo reproductivo de las hembras. Por último puede citarse la irradiación con rayos X para producir vacunas contra diversas enfermedades del ganado.

- Prolongación del periodo de conservación de los alimentos. El proceso consiste en exponer los alimentos a irradiación generalmente con rayos gamma, empleando tres niveles de dosis dependiendo del fin perseguido. A dosis bajas para inhibir la germinación (por ejemplo de las patatas) , la desinsectación y el retraso en la maduración. A dosis medias para prolongar el tiempo de conservación reduciendo la carga microbiana y a dosis altas para la esterilización incluida la eliminación de virus.



Investigación

Un gran número de análisis bioquímicos, requieren la detección de cantidades pequeñísimas de material. Ahora bien, las pruebas químicas, rara vez son sensibles a cantidades menores de 10^{-7} moles. Esta limitación se ha paliado por el desarrollo de una tecnología de marcadores radiactivos, cuya extraordinaria sensibilidad, ha permitido que los estudios con substancias en cantidades del orden de 10^{-12} moles, sean pura rutina.

Un compuesto marcado es un tipo de molécula en la que uno o más de sus átomos estables (en la molécula original) se han sustituido por sus correspondientes radioisótopos. Por ello conforme a lo indicado anteriormente, esta molécula tiende a alcanzar el grado de mayor estabilidad energética mediante desintegraciones nucleares. De esta forma la molécula marcada "trazador radiactivo" es fácilmente detectable por diferentes técnicas (autorradiografía, recuento de centelleo, etc.) en función del campo de radiación que producen o los radioisótopos que la componen.

El procedimiento químico para introducir un isótopo radiactivo en una molécula se llama "marcaje radiactivo".

El éxito en la aplicación de un compuesto marcado como trazador en investigación depende fundamentalmente de la elección del radioisótopo.

Radionucleido	Tipo de emisión	Periodo de semidesintegración
Tritio-3	β	12,3 años
Carbono-14	β	5.730 años
Azufre-35	β	87 días
Calcio-45	β	165 días
Fósforo-32	β	14,7 días
Fósforo-33	β	21 días
Rubidio-86	β/γ	18,7 días
Yodo-131	β/γ	8 días
Yodo-125	γ	60 días

Aplicaciones en investigación.

Como las moléculas biológicas están construidas principalmente por átomos de: C, H, O, N, P y S, es lógico que se elijan los radioisótopos siguientes: carbono-14, hidrógeno-3, fósforo-32 y fósforo-33. También se utilizan yodo-125 y yodo-131 para el marcaje de determinadas proteínas. Otros radioisótopos utilizados son calcio-45, cromo-51 y rubidio-86. El uso a que se destina cada radionucleido depende del estudio que se esté desarrollando en cada momento. En la tabla se reflejan las características fundamentales de los radionucleidos más utilizados en investigación biológica.

El objetivo de las diferentes aplicaciones de las radiaciones ionizantes en investigación, es el estudio de los diferentes procesos biológicos que tienen lugar en los seres vivos. Estas aplicaciones se pueden abordar de dos maneras diferentes, mediante ensayos *in vivo* o bien mediante ensayos in vitro.

- Ensayos *in vivo*. El fundamento del marcaje *in vivo* consiste en la administración de una sustancia radiactiva "trazador" a un organismo vivo, células (las células no son organismos vivos completos *per se*), bacterias, virus, levaduras, animales o plantas, efectuando un seguimiento de la misma, consistente en estudiar su evolución.

  El resultado es la aparición, desaparición o transformación de una molécula marcada más o menos compleja que forma parte del sistema o proceso que se está estudiando (proteína de membrana, metabolito intermediario, etc.).

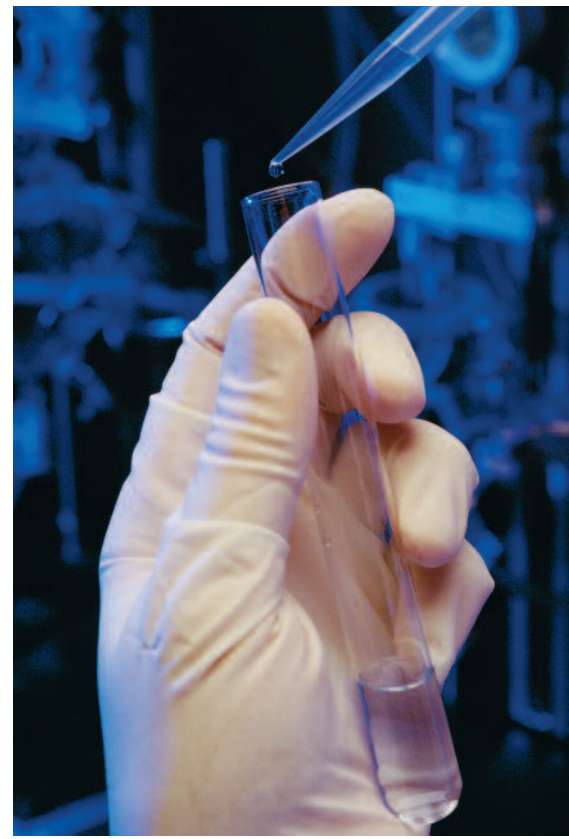
  El objetivo de los estudios *in vivo* puede ser muy variado, desde estudiar el destino o la distribución intracelular de una determinada molécula hasta determinar la distribución de ésta en diferentes tejidos u órganos o ver cómo se modifica en diferentes rutas metabólicas, así cómo realizar estudios funcionales en diferentes órganos.

- Ensayos *in vitro*. Los estudios *in vitro* significan literalmente en el tubo de ensayo. Consisten en el marcaje de diferentes macromoléculas, como hidratos de carbono, lípidos, ácidos nucleicos, proteínas, etc. que han sido previamente extraídas del sistema biológico al que pertenecían y purificadas. En este tipo de técnicas se utilizan cantidades muy bajas de radiotrazador ya que la muestra biológica suele ser muy pequeña. Para ello se añade un trazador radiactivo, utilizando pequeñas cantidades de radioisótopos, del orden de MBq.

  El objetivo de los estudios *in vitro* es muy variado, puede ser tan sencillo como detectar la existencia de una molécula determinada o su localización dentro de una muestra (células o tejidos previamente aislados). En otros casos se pretende obtener datos cuantitativos, como su concentración, o cualitativos como su papel biológico.

El marcaje de ácidos nucleicos permite identificarlos y cuantificarlos, así como conocer la secuencia de material genético (código genético).

El marcaje de proteínas mediante la adición de sus precursores (aminoácidos) marcados permite cuantificar con gran sensibilidad la tasa de formación de estas macromoléculas. En otros casos, un tipo de proteína en concreto se marca



mediante su unión con el radioisótopo yodo-125 (radioyodación) y así la podemos usar como radiotrazador para ensayos de cuantificación, mediante radioinmunoensayo, o cinéticos, cono los estudios de unión hormona-receptor.

Las sondas radiactivas (ácidos nucleicos marcados) así como las proteínas marcadas tienen un enorme campo de aplicación en técnicas de investigación y de diagnóstico clínico.

Resulta imposible enumerar todas las aplicaciones de las radiaciones ionizantes en el desarrollo de la investigación científica, tanto básica como aplicada. Se utilizan en numerosos estudios de Biología Celular y Molecular del cáncer, patologías moleculares, evolución genética, terapia génica, desarrollo de nuevos fármacos, etc.

Otras actividades que incrementan o contribuyen a la radiación natural

Como se ha indicado, la contribución dominante a la exposición de las radiaciones ionizantes procede de fuentes naturales. Los niveles de radiactividad natural en las formaciones que constituyen la corteza terrestre varían ampliamente, existiendo algunos materiales extraídos para usos industriales, que contienen concentraciones de radionucleidos relativamente altas. En algunos casos el tratamiento industrial posterior puede incrementar la actividad tanto en el producto como en los subproductos y en el residuo, si bien el riesgo radiológico asociado es generalmente pequeño.

Existen otras actividades o hábitos humanos que también son causantes de un aumento de exposición a fuentes naturales como pueden ser los vuelos a gran altura, los vuelos espaciales y el vivir en poblaciones a grandes altitudes, ya que las dosis debidas a los rayos cósmicos varían en función de la altitud y en mucha menor medida de la latitud. En el caso de las dosis debidas a la inhalación de radón dentro de los edificios va a estar influenciada por la geología local, el diseño de los edificios, los materiales elegidos para su construcción e incluso los sistemas de ventilación, estando todo ello directamente relacionado con las actividades y prácticas humanas.

Dentro de las industrias extractivas que pueden afectar a la exposición a la radiación natural del público en general, podemos citar como más importantes: la del carbón, la del petróleo y la del gas natural, y la correspondiente producción de energía a partir de cada uno de estos tres combustibles fósiles. También hay que considerar la extracción de minerales fosfatados y la industria productora de fertilizantes a partir de los mismos.

Por último, existen otras industrias de menor importancia como son la del zircón y la fabricación de productos cerámicos a partir de él, la del torio y determinadas industrias productoras de pigmentos y esmaltes metálicos (titanio, zinc, etc.). Así mismo puede ser importante el incremento a la dosis por radiación natural de la utilización de las cenizas y escorias resultantes de la combustión del carbón en centrales térmicas y algunos subproductos de la industria del fosfato, como relleno de terrenos y materia prima para la fabricación de materiales de construcción.

Riesgos de la radiación

La presencia de radiaciones ionizantes en el medio ambiente y lugares de trabajo puede producir daños en la salud de las personas. La exposición en exceso a estas radiaciones puede dar lugar a la aparición de ciertos efectos nocivos para la salud. Debe tenerse en cuenta que todas las actividades humanas generan ciertos riesgos, si bien muchos de ellos pueden considerarse muy bajos. La sociedad acepta ciertos niveles de riesgo en determinadas actividades con el fin de disfrutar de los beneficios que se generan.

En el lenguaje cotidiano, el término "riesgo" tiene diferentes acepciones. Una de ellas es "la amenaza de un suceso indeseable" que incluye tanto la probabilidad de aparición como el tipo de suceso. En el campo de la protección radiológica, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) utiliza el término "riesgo" como la probabilidad de que se produzca un efecto perjudicial teniendo en cuenta no solo su probabilidad sino también la gravedad del suceso.

La irradiación es el proceso por el cual determinados equipos o radionucleidos depositan energía en un medio determinado. En el caso de irradiación externa, la fuente emisora de radiación está a una determinada distancia de la zona irradiada.

En el caso de irradiación externa, el riesgo asociado va a depender del tipo de radiación que incide en el medio biológico, de la energía de esa radiación y también de la cantidad de radiación que llega en la unidad de tiempo.

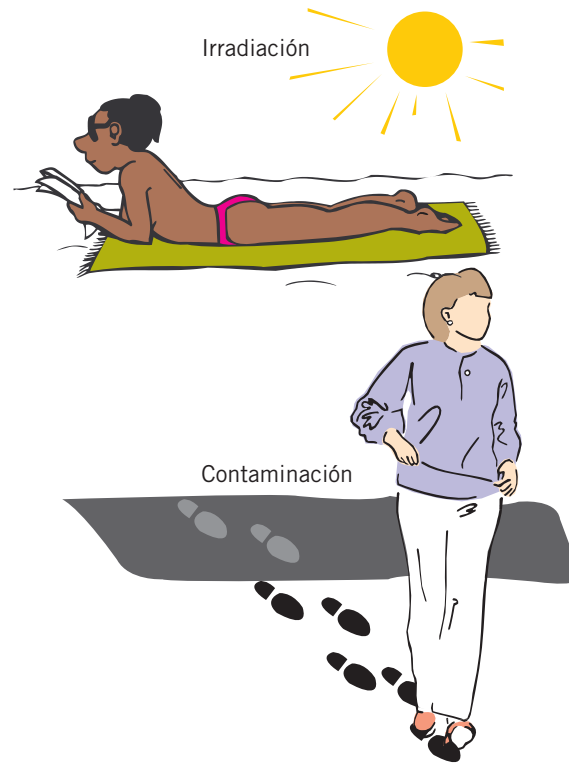
La dosis de radiación que un paciente puede recibir como consecuencia de un estudio diagnóstico, va a depender de muchos factores como son: el tipo de estudio, las características del paciente y también el equipamiento utilizado.

La contaminación se define como la presencia indeseada de radionucleidos en el ser humano (contaminación personal) o en el entorno que nos rodea (contaminación ambiental). En el caso de que la contaminación afecte al ser humano, ésta puede ser externa o interna. Se trata de una contaminación externa, cuando los radionucleidos se depositan en la piel y se trata de contaminación interna, cuando son incorporados al interior del organismo humano (a través de los alimentos que ingerimos, del aire que respiramos y excepcionalmente a través de heridas).

En el caso de contaminación, las dosis recibidas y por tanto los posibles riesgos derivados de las mismas van a depender de varios factores como son: el tipo de emisión o emisiones producidas, la energía asociada a las mismas, la cantidad de radionucleido que ha producido la con-

taminación, ya sea interna o externa, el tiempo durante el cual emitirá radiación el radionucleido contaminante, y en caso de contaminación interna, la facilidad con la que el organismo humano eliminará el radionucleido. En este caso, también hay que tener en cuenta el órgano crítico, es decir, ese órgano, que va a recibir una mayor dosis de radiación, y por tanto en el cual se puede producir un mayor daño.

En el caso de que se utilicen equipos que lleven incorporado una fuente de cobalto-60, el riesgo fundamental es de irradiación, aunque periódicamente hay que realizar pruebas para comprobar que la cápsula en la cual está introducido el cobalto, no ha perdido su hermeticidad y por tanto no puede contaminar.



Efectos biológicos

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes son consecuencia de las modificaciones que a nivel de átomos y moléculas tienen lugar en la materia viva. En la célula algunas de estas modificaciones pueden tener consecuencias graves a corto y largo plazo. Los efectos mas graves se producen al nivel de la molécula de ADN, que puede romperse por una de sus cadenas ("rotura simple") o por las dos ("rotura doble"). Estas roturas pueden producirse por el efecto directo de las radiaciones sobre la molécula de ADN o de un ataque secundario de un radical libre OH^-, muy reactivo que se forma por la acción de la radiación sobre las moléculas de agua que circundan la molécula de ADN. El 75% del daño causado por la radiación se debe a estos radicales libres.

Estas roturas también pueden producirse espontaneamente por causas endógenas ligadas al metabolismo celular. Hoy día se estima que se producen del orden de 3.000 roturas por día y célula del tipo "rotura simple" y que el 1% de ellas se transforman en "roturas dobles".

Si estas lesiones se reparan perfectamente por los mecanismos enzimáticos de la célula, situación que es la frecuente en el caso de "rotura simple", la supervivencia celular será normal. Por el contrario si no se produce la reparación la célula morirá. Entre estas dos situaciones extremas, para dosis de irradiación pequeñas se pueden producir situaciones en las que las lesiones no se reparan correctamente, dando lugar a una mutación no mortal. Esta mutación puede ser benigna y sin efecto grave a largo plazo pero también puede dar lugar a patologías genéticas o cancerosas.

Tejido y efecto	Exposición única	Exposición prolongada durante años
Testículos		
Esterilidad temporal en el varón	0,15 Gy	0,4 Gy/año
Esterilidad permanente en el varón	3,5-6 Gy	2 Gy/año
Ovarios		
Esterilidad	2,5-6 Gy/año	>0,2 Gy/año
Cristalino		
Opacidades detectables	0,5-2 Gy	>0,1 Gy/año
Cataratas	5 Gy	>0,15 Gy/año

Efectos deterministas y sus umbrales de dosis.

La aparición de estos efectos va a depender, entre otros factores, del tipo de tejido, y de la capacidad de reparación del mismo. También van a influir la edad del individuo en el momento de la exposición, su estado de salud y su predisposición genética. Por tanto no todas las personas expuestas a radiaciones ionizantes tienen la misma respuesta.

Los efectos biológicos asociados con la exposición a radiaciones ionizantes, se pueden clasificar en dos categorías:

- Efectos deterministas. Se producen cuando la exposición a radiaciones ionizantes origina la muerte de tal cantidad de células que da lugar a un mal funcionamiento de un tejido u órgano. La aparición de estos efectos se produce sólo cuando la dosis supera un cierto valor denominado umbral de dosis. La gravedad del efecto va a depender de la dosis recibida. No todos los tejidos y órganos tienen la misma respuesta frente a las radiaciones ionizantes. Entre los más radiosensibles están los ovarios, testículos, cristalino y médula ósea. Entre los efectos deterministas se encuentran, entre otros, radiodermatitis, esterilidad y cataratas.
- Efectos estocásticos. Si se producen transformaciones celulares, debido a la exposición a radiaciones ionizantes, éstas pueden dar lugar a la aparición de un cáncer o a enfermedades hereditarias sobre los descendientes de la persona expuesta. A diferencia de los efectos deterministas para estos efectos no existe un umbral de dosis. Ahora bien, la probabilidad de que aparezcan sí depende de la dosis. Clínicamente no es posible distinguir los que tiene su origen en una exposición a radiaciones ionizantes de los que se han producido por otros agentes.

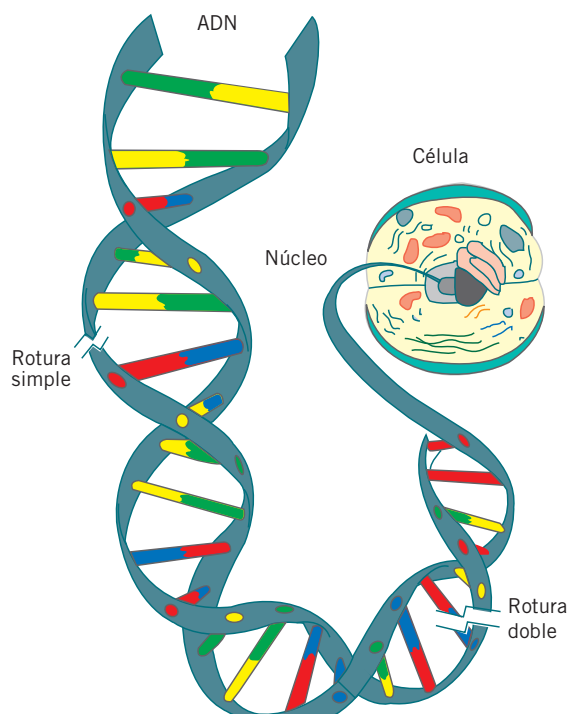
Atendiendo a la transmisión de los efectos de las radiaciones ionizantes se pueden clasificar en:

- Somáticos. Si aparecen en el individuo expuesto y no en sus descendientes.
- Genéticos. Si afectan a los descendientes del individuo expuesto.

El tipo de efectos que la radiación origina sobre el embrión y el feto dependen del momento en que se produzca la exposición respecto al tiempo de gestación.

Efecto		Ejemplo
Estocásticos	• Probabilidad de aparición proporcional a la dosis • No existe dosis umbral • Gravedad independiente de la dosis • Somáticos o genéticos	**Cáncer radioinducido** La probabilidad de que un individuo expuesto desarrolle un cáncer es tanto mayor cuanto mayor es la dosis recibida
Deterministas	• Existe una dosis umbral • Gravedad proporcional a la dosis • Somáticos	**Eritema y descamación seca en la piel** Dosis umbral: 3-6 Gy aparición: tres semanas Con una dosis de 50 Gy se produce la muerte celular en las capas de la piel y la necrosis del tejido

Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes.



Cadena de ADN.

El sistema de protección radiológica

Objetivos de la protección radiológica

Poco o nada se puede hacer para evitar el fondo natural, pero la dosis de radiación consecuencia de las actividades humanas sí puede optimizarse y llegar a valores que supongan un riesgo despreciable para la salud. En este sentido actúa una disciplina que se denomina Protección Radiológica y en la que trabajan profesionales tan diversos como físicos, médicos, biólogos, ingenieros, colaborando con sus conocimientos para que el desarrollo de las tecnologías que utilizan radiaciones ionizantes sea lo más seguro posible.

La finalidad de la protección radiológica es proteger a los individuos, a sus descendientes y a la humanidad en su conjunto, contra los riesgos derivados de las actividades humanas que, por las características de los materiales o equipos que utilizan, puedan irradiar.

La ICRP, en su publicación nº 60 de 1990, presenta sus recomendaciones para el establecimiento del Sistema de Protección Radiológica, recientemente en su publicación nº 103 de 2007, realiza una puesta al día de sus recomendaciones, manteniendo básicamente el mismo esquema y objetivos para dicho sistema.

Definición del sistema de protección radiológica

El objetivo del sistema de protección radiológica es disponer de una metodología estructurada para la protección contra los efectos adversos de las radiaciones ionizantes.

Para lograr ese objetivo el sistema pretende evitar la aparición de efectos biológicos deterministas, manteniendo la dosis que reciben las personas por debajo de los valores (umbrales) en que estos se producen, así como en la exigencia de que se apliquen todas las medidas razonables para reducir la aparición de los efectos biológicos estocásticos a niveles aceptables.

Como punto de partida para la definición del sistema de protección, la ICRP identifica todas las posibles situaciones de exposición que pueden presentarse, agrupándolas en tres tipos: planificadas, las que se producen en el desarrollo normal de actividades beneficiosas para el ser humano; de emergencia, las que se producen en casos de incidentes o accidentes; y existentes, las que ya se han producido en el momento en que se platea la necesidad de realizar alguna actuación sobre ellas, en este último grupo están las que tienen su origen en actividades realizadas en el pasado o las relacionadas con la radiación natural.

La siguiente etapa es la identificación de los individuos que resultan expuestos a las radiaciones en cada una de las situaciones identificadas, que se agrupan en tres tipos fundamentales: trabajadores expuestos, personas que reciben dosis de radiación debido al desempeño de su actividad laboral o profesional; miembros del público, personas de la población general que reciben dosis debido a la existencia de fuentes de radiación en el entorno en el que viven; y pacientes, personas que reciben dosis de radiación con motivo de que se ven sometidas a pruebas para diagnóstico médico o a tratamientos médicos con radiaciones.

A continuación es necesario realizar dos tipos de evaluaciones, el primero orientado a reducir la exposición actuando sobre las fuentes que la originan y el segundo orientado a reducir las dosis que reciben los individuos expuestos a ellas. Como resultado del primero se identifican las condiciones de seguridad que deben aplicarse a las diferentes fuentes de radiación tanto en condiciones normales como en caso de ocurrencia de incidentes o accidentes. Como resultado del segundo se establecen niveles de dosis individuales que es necesario evitar que sean recibidos por las personas.

Finalmente, se identifican las medidas específicas a adoptar para lograr esas condiciones de seguridad y que las dosis recibidas por las personas se mantengan por debajo de los niveles establecidos.

Para la correcta definición del sistema de protección aplicable en cada caso resulta especialmente importante la formulación y aplicación de los principios básicos de Protección Radiológica.

Principios básicos y límites de dosis

El Sistema de Protección Radiológica se fundamenta en los principios siguientes:

- Justificación. No debe adoptarse ninguna práctica con radiaciones ionizantes que no conlleve un beneficio neto para el individuo o la especie humana en su conjunto.

- Optimización. Para una fuente dada, las dosis deberán ser lo más bajas que sea razonablemente posible, teniendo en cuenta consideraciones sociales y económicas (principio ALARA).

- Limitación de dosis y riesgo. La dosis total recibida por una persona debido a actividades autorizadas con exposición a radiaciones, sin contar las recibidas como paciente en diagnósticos o tratamientos médicos, no debe superar los límites de dosis establecidos en la legislación.

Los dos primeros principios están orientados a reducir las fuentes de radiación, el tercero está orientado a la protección de las personas.

Los límites de dosis sólo se establecen para las exposiciones de los trabajadores expuestos y de los miembros del público. Son el resultado de una serie de estudios realizados en individuos y poblaciones expuestos a diferentes dosis de radiación y en sus descendientes. Los valores recomendados por ICRP se han incorporado a la normativa española.

La protección de los pacientes es objeto de tratamiento especifico por la ICRP ya que en este caso se produce la exposición intencionada de la persona a radiaciones con el objetivo de obtener un eficaz diagnóstico o un adecuado tratamiento médico, de los que se deriva un beneficio evidente para su salud.

La aplicación del principio de justificación para los pacientes exige la demostración de que la utilización de radiaciones en un determinado procedimiento médico produce, con carácter general, un beneficio sobre la salud que com-

Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes.

	Trabajadores expuestos	Miembros del público
Dosis efectiva	100 mSv/5 años (máximo 50 mSv/año)	1 mSv/año
Dosis equivalente cristalino	150 mSv/año	15 mSv/año
Dosis equivalente piel y extremidades	500 mSv/año	50 mSv/año
	Límites especiales	
Trabajadora expuesta embarazada	1 mSv/embarazo*	
Personas en formación y estudiantes	6 mSv/año	

* Dosis al feto desde la comunicación del embarazo hasta el final del mismo.

pensa los riesgos derivados de la exposición a radiaciones. Además la aplicación de ese procedimiento a cada paciente concreto debe analizarse para verificar que se mantiene ese balance positivo entre beneficio para la salud y riesgo debido a la exposición.

En cuanto al principio de optimización su aplicación a los pacientes no consiste forzosamente en reducir las dosis que estos reciben, las dosis deben ser las necesarias para asegurarse de que se cumplen los objetivos previstos para la prueba diagnóstica o el tratamiento prescritos por los responsables de la atención médica de la persona. En el caso de las pruebas diagnósticas la ICRP recomienda la utilización de niveles de referencia que son valores de dosis obtenidos de la experiencia y que sirven para identificar situaciones en las que los pacientes reciben dosis de radiación inusualmente elevadas o inusualmente bajas. En el caso de los tratamientos médicos las recomendaciones pretenden conseguir la dosis prevista en la zona del organismo a tratar, reduciendo al mínimo la dosis recibida por tejidos sanos, todo ello mediante un análisis individualizado para cada paciente.

Situaciones especiales: mujeres embarazadas o en periodo de lactancia

Es poco probable que la exposición del feto o embrión en el embarazo durante las exploraciones radiodiagnósticas y de medicina nuclear produzcan efectos deterministas o estocásticos en el niño ya nacido. No obstante, la ICRP recomienda que se eviten aquellos procedimientos diagnósticos o terapéuticos que supongan la exposición del abdomen de mujeres embarazadas o con riesgo de estarlo salvo que existan indicaciones clínicas justificadas, asimismo recomienda que se eviten en lo posible situaciones que puedan dar lugar a que las mujeres en periodo de lactancia incorporen sustancias radiactivas al organismo que puedan posteriormente transferir al lactante.

Se acepta que la dosis que puede recibir el feto como consecuencia de la actividad laboral de la madre, desde el momento en que se toma conciencia del embarazo hasta el final de la gestación, es de 1 mSv. Éste es el límite de dosis que puede recibir el público y por tanto ha sido establecido para el feto atendiendo a consideraciones éticas ya que él no participa en la decisión y no recibe beneficio alguno de ella.

La aplicación de este límite en la práctica, se corresponde con una dosis recibida en la superficie del abdomen (tronco inferior) de la mujer hasta el final de la gestación.

Ese límite de dosis es muy inferior a las dosis que se requieren para la aparición de efectos deterministas en el feto, ya que, el aborto, las malformaciones congénitas, la disminución del cociente intelectual o el retraso mental severo, requieren dosis muchísimo mayores.

Con el fin de proteger adecuadamente al feto, es imprescindible que la trabajadora expuesta gestante, en cuanto tenga conocimiento de su embarazo, lo comunique al encargado de la protección radiológica del centro en el que trabaja y al responsable de la instalación, quienes establecerán las medidas de protección oportunas para garantizar que el desempeño de su trabajo no suponga un riesgo añadido para su hijo.

A Las trabajadoras expuestas embarazadas se les asigna un dosímetro especial para determinar dosis en abdomen, a partir de estos datos se determina la dosis recibida por el feto. Asimismo se tiene que llevar a cabo una evaluación cuidadosa de su puesto de trabajo, de modo que, las probabilidades de incidentes en los que reciba dosis altas o pueda incorporar cantidades apreciables de sustancias radiactivas al interior del organismo sean insignificantes.

Organismos internacionales relacionados con la protección radiológica

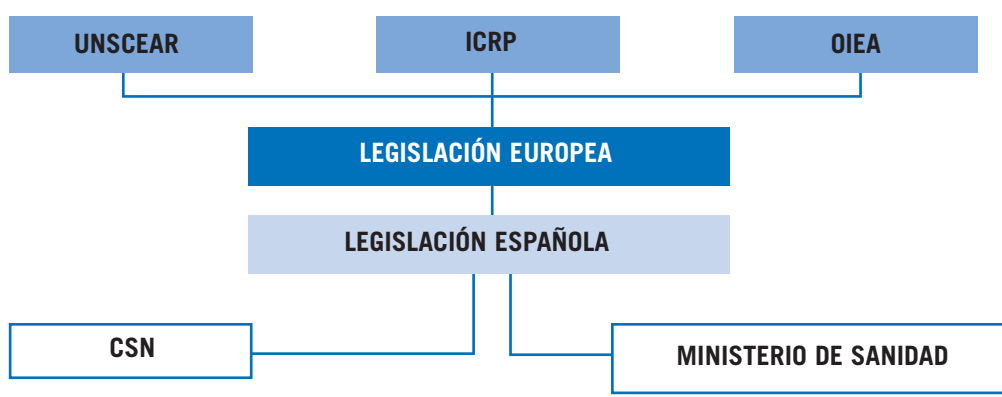
El Comité Científico de Naciones Unidas para el estudio de los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR) fue creado en 1955 con la misión de estimar e informar sobre los niveles y efectos de la exposición a las radiaciones ionizantes en la población humana y en el medio ambiente. Gobiernos y organizaciones en todo el mundo se apoyan en estas evaluaciones como base científica para establecer criterios y normas de seguridad.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) es una organización no gubernamental creada en 1928, que se encarga actualmente de establecer la filosofía de la Protección Radiológica, proporcionando las recomendaciones generales y fundamentales para utilizar de forma segura las radiaciones ionizantes en todas sus aplicaciones. Para cumplir este objetivo se basa, tanto en los datos aportados por UNSCEAR, como en el juicio de los expertos que componen sus comités. La ICRP es independiente porque estos expertos

son designados por sus méritos científicos y no representan a sus países.

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), dependiente también de Naciones Unidas, desarrolla todas aquellas funciones que tienden a fomentar el uso pacífico de la energía nuclear y su seguridad. Ha incorporado las recomendaciones de la ICRP en sus normas básicas de seguridad para la protección contra las radiaciones ionizantes y la seguridad de las fuentes de radiación, denominadas en general como normas internacionales ya que se han realizado en colaboración con la Agencia de la Energía Nuclear de la OCDE (NEA-OCDE), la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la Oficina Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Así mismo la Unión Europea, por el Tratado EURATOM, establece también los requerimientos Europeos (Directiva 96/29 EURATOM) que incorporan las recomendaciones de la ICRP. Esta directiva es de obligado cumplimiento para los Estados miembros de la UE, que posteriormente han realizado la transposición de ésta en sus respectivas legislaciones. En el caso de España se recoge en el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (Real Decreto 783/2001, de 6 de Julio).



Aplicación del sistema de protección radiológica

Trabajadores expuestos

Son las personas que, por razones de su trabajo profesional, están sometidas a un riesgo de exposición a las radiaciones en el que pueden recibir dosis anuales superiores a 1 mSv. La protección radiológica de los trabajadores expuestos se lleva a cabo mediante la adopción de un programa de medidas operacionales basado en los siguientes principios generales:

- Evaluación previa de las condiciones de trabajo. Determinación de la exposición y aplicación del principio de optimización.
- Clasificación de los lugares de trabajo en función de la exposición presente en ellos.
- Clasificación de los trabajadores en función de las dosis que podrían recibir.
- Aplicación de medidas acordes con la clasificación de cada zona de trabajo y con la clasificación de los trabajadores que desempeñan tareas en ellas.

Las medidas a aplicar tendrán fundamentalmente dos objetivos: prevenir la exposición y evaluar y vigilar las dosis recibidas.

Entre las medias de prevención están:

- Identificación de zonas de trabajo con exposición a radiación.
- Clasificación de las zonas: la clasificación de las zonas de trabajo en función de las dosis anuales previstas y el riesgo de una contaminación o exposición potencial son las siguientes:

  - Zona vigilada, cuando existe la posibilidad en las mismas de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv/año (límite del público) e inferiores a 6 mSv/año, o dosis equivalentes superiores a 1/10 de los límites para el cristalino, piel y extremidades.

  - Zona controlada, cuando se pueden superar los 6 mSv/año para la dosis efectiva o dosis equivalentes superiores a 3/10 de los límites para el cristalino, piel y extremidades. Dentro de esta última categoría, se considera la “zona de

permanencia limitada", cuando existe riesgo de recibir una dosis superior a los límites anuales establecidos, la "zona de permanencia reglamentada", cuando se puede recibir, en una única exposición, dosis superiores a los límites reglamentarios en cortos periodos de tiempo o la "zona de acceso prohibido", cuando se puede recibir, en una única exposición, dosis superiores a los límites reglamentarios.

- Delimitación y señalización de zonas: las zonas en las que se trabaja con exposición a radiaciones se señalizan con el símbolo internacional de radiactividad trébol con puntas radiales (riesgo de irradiación externa) o con campo punteado (riesgo de contaminación), tienen los siguientes colores:

  - Zona vigilada: gris azulado
  - Zona controlada: verde
  - Zona de permanencia limitada: amarillo
  - Zona de permanencia reglamentada: naranja
  - Zona de acceso prohibido: rojo

Señalización internacional de radiactividad.

- Control de accesos: sólo se permite el acceso a cada zona a los trabajadores autorizados.

- Clasificación de los trabajadores: los trabajadores expuestos, en función de las condiciones de trabajo, pueden ser de categoría A (cuando pueden recibir una dosis superior a 6 mSv por año) o de categoría B (cuando es muy improbable que reciban estas dosis).

- Formación e información de los trabajadores: antes de incorporarse a un puesto de trabajo con exposición a radiaciones, los trabajadores tienen que ser informados sobre los riesgos existentes y sobre las normas, procedimientos y precauciones de protección que deben adoptar en cada puesto de trabajo a que pueda asignárseles. El empresario está obligado a facilitar formación y entrenamiento sobre protección radiológica antes de empezar a trabajar y periódicamente. La legislación española exige, en las instalaciones radiactivas, que los trabajadores posean unas licencias (de operador o supervisor según sus responsabilidades), otorgadas por el CSN, que garanticen su formación en protección radiológica. En el caso de las instalaciones médicas de diagnóstico mediante rayos X, los trabajadores expuestos deben poseer una acreditación para operar o dirigir la instalación.

- Comprobación de las disposiciones de protección. El proyecto de las instalaciones en las que se produce exposición a radiaciones tiene que ser sometido a una evaluación para comprobar que se han tenido en cuenta las necesidades de protección radiológica adecuada. Cada nueva fuente o equipo radiactivo debe someterse a un proceso de autorización que garantiza que esa evaluación se ha realizado correctamente. Los dispositivos y técnicas de protección disponibles deben además revisarse periódicamente para comprobar que funcionan correctamente y mantienen su eficacia. Los instrumentos utilizados para la detección y medida de la radiación tienen que ser calibrados, verificados y comprobados periódicamente.

Entre las medidas para la vigilancia y evaluación de las dosis recibidas por los trabajadores están:

- Vigilancia del ambiente de trabajo. Las dosis por unidad de tiempo que se pueden recibir por irradiación externa y la contaminación existente en los distintos puestos de trabajos tiene que medirse periódicamente, deben anotarse y ser evaluadas por los especialistas a cargo de la protección radiológica para asegurarse de que se mantienen en los valores previstos.

- Vigilancia dosimétrica. Las dosis recibidas por los trabajadores expuestos se determinan por dosimetría externa (cuando existe riesgo de irradiación) o dosimetría interna (cuando existe riesgo de contaminación), mediante medidas o análisis pertinentes.

  Para los trabajadores de categoría A o que desempeñan su actividad en zonas controladas tiene que realizarse una vigilancia dosimétrica individual. Habitualmente se lleva a cabo utilizando dosímetros personales basados en el fenómeno de la termoluminiscencia (TLD) que deben procesarse todos los meses para determinar la dosis superficial y la dosis profunda recibidas. La dosimetría interna, en función de las sustancias radiactivas que pueden incorporarse al organismo, se realiza mediante equipos contadores de radiactividad corporal o mediante la realización de análisis de laboratorio de muestras de orina o heces. La periodicidad para las determinaciones de dosimetría interna se establece por los responsables de protección radiológica en cada caso.

  La dosimetría individual, tanto externa como interna, se efectúa por servicios de dosimetría personal expresamente autorizados por el CSN. En el caso de los trabajadores de categoría B o que desempeñan su actividad en zonas vigiladas la vigilancia dosimétrica puede realizarse mediante dosimetría de área o ambiental, permite estimar la dosis de los trabajadores a partir de las dosis medidas en los puestos de trabajo y en las dependencias radiológicas o radiactivas.

  Los resultados de la vigilancia dosimétrica de cada trabajador deben anotarse en un historial dosimétrico individual que debe conservarse a largo plazo.

La dosimetría individual, tanto externa como interna, se efectúa por servicios de dosimetría personal expresamente autorizados por el CSN.

Además de las medidas de prevención y vigilancia mencionadas, los trabajadores expuestos tienen que someterse a una vigilancia sanitaria basada en los principios generales de medicina en el trabajo. Esta vigilancia médica se realiza por servicios de prevención de riesgos laborales expresamente autorizados para ello por las autoridades sanitarias.

Los trabajadores de categoría A deben realizar un reconocimiento médico antes de incorporarse a su puesto de trabajo y posteriormente un reconocimiento médico anual. Los trabajadores de categoría B deben realizar los reconocimientos médicos periódicos que establezca su Servicio de Prevención.

Como resultado de esos reconocimientos médicos se determinará si el trabajador puede o no trabajar en presencia de radiaciones o si debe hacerlo en condiciones especiales. Los resultados de la vigilancia sanitaria se tienen que recoger en un historial médico individual que debe conservarse a largo plazo.

El CSN exige en las instalaciones radiactivas que los trabajadores posean unas licencias (de operador o supervisor según sus responsabilidades) que garanticen su formación en protección radiológica. En el caso de las instalaciones de radiodiagnóstico, los trabajadores expuestos deben poseer una acreditación para operar o dirigir la instalación.

Miembros del público

Está formado por las personas que no trabajan en instalaciones con riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes.

La protección de los miembros del público se basará fundamentalmente en la estimación, anotación y evaluación de las dosis que pudieran recibir en régimen de funcionamiento normal de las instalaciones radiactivas y en caso de accidente. El responsable de llevar a cabo esas actividades en cada caso es el titular de la instalación.

Puesto que la población puede estar expuesta a radiaciones procedentes de diversas instalaciones es necesario asegurarse de que la contribución de cada una de ellas resulte lo más reducida posible. Para ello se establecen valores máximos de las dosis que se pueden recibir debidas a cada una de ellas muy por debajo de los límites.

Las exposiciones de los miembros del público pueden producirse debido a que estos se sitúen en las inmediaciones de las instalaciones, debido a los efluentes vertidos por ellas o debido a los residuos evacuados desde las mismas.

Las instalaciones deberán tener unos blindajes y sistemas de contención que aseguren que las dosis recibidas por el público, debidas a la exposición externa o interna, no superen el límite reglamentado. Estas instalaciones, aparte de estar señalizadas, deberán tener dispositivos luminosos o acústicos que avisen cuando estén en funcionamiento.

Los efluentes radiactivos emitidos por las instalaciones están sometidos a una autorización expresa y deben mantenerse por debajo de límites muy bajos establecidos para cada caso específico. Los estudios y estimaciones que deben realizar los responsables de cada instalación deben considerar las cantidades vertidas al medio ambiente y la capacidad de éste para recibirlas. Tienen que utilizarse métodos de estimación realistas, repetirse periódicamente y tener capacidad para determinar las dosis, debidas tanto a irradiación externa como a contaminación interna, a través de todos los posibles caminos por los que la radiación procedente de las instalaciones pueda afectar a los miembros del público, seleccionando para el estudio el grupo de población más representativo de las personas que podrían recibir mayores dosis.

En caso necesario, las instalaciones deberán disponer de sistemas específicamente diseñados y construidos para almacenar, tratar y evacuar los efluentes y residuos radiactivos. Estos sistemas deberán someterse a revisiones periódicas para comprobar que mantienen su eficacia y evitar que se produzcan descargas incontroladas al medio ambiente. Del mismo modo, los instrumentos utilizados para la detección y medida de la radiación tienen que ser calibrados, verificados y comprobados periódicamente.

El CSN, aparte de vigilar estas instalaciones, vigila también el medio ambiente mediante un sistema de redes para la medición continua de la radiactividad ambiental en toda España.

Toda instalación nuclear, radiactiva o radiológica debe cumplir unos requisitos técnicos que aseguren la protección radiológica del público en general y de los trabajadores que operan en ella. Estos requisitos son evaluados, controlados y autorizados con el informe previo del CSN. Ninguna instalación puede operar sin la debida autorización.

Toda instalación nuclear, radiactiva o radiológica debe cumplir unos requisitos técnicos que aseguren la protección radiológica del público en general y de los trabajadores que operen en ella. Estos requisitos son evaluados, controlados y autorizados por el CSN. Ninguna instalación puede operar sin la debida autorización.

Supervisión de la aplicación del sistema

La legislación española prevé que, en el caso de múltiples instalaciones o instalaciones singulares complejas, el titular disponga de una organización específica para asesorarle en materia de protección radiológica y a la que encomendar las funciones, no la responsabilidad, que le son exigibles en esta materia. Estas organizaciones son los servicios y unidades de protección radiológica y deben ser expresamente autorizados por el CSN.

Los servicios de protección radiológica se constituyen dentro de la organización de los titulares de las instalaciones, las unidades técnicas de protección radiológica son empresas privadas que trabajan para las instalaciones mediante contrato.

Al frente de estas organizaciones tiene que haber un profesional con un diploma otorgado por el CSN, este constituye la titulación de mayor categoría en nuestro país en materia de protección radiológica. El resto de los técnicos que trabajan en los servicios y unidades de protección radiológica también tiene que disponer de formación y experiencia especificas en protección radiológica.

Los servicios y unidades de protección radiológica actúan como entidades muy especializadas que velan por la correcta aplicación del sistema de protección radiológica en las instalaciones a las que atienden.

Las funciones más importantes de los servicios y unidades de protección radiológica son:

- Participar o supervisar las fases de diseño, montaje, instalación, operación, modificaciones y clausura de las instalaciones radiactivas y radiológicas.
- Supervisar la adquisición de material y equipos radiactivos y radiológicos.
- Efectuar la estimación de los riesgos radiológicos asociados a las instalaciones.
- Clasificar, señalizar y vigilar las zonas y condiciones de trabajo en función del riesgo radiológico, así como clasificar en las diferentes categorías a los trabajadores expuestos.
- Establecer las normas de acceso, permanencia y trabajo en zonas con riesgo radiológico.
- Vigilar la radiación y contaminación.
- Vigilar la gestión de los residuos y efluentes radiactivos.
- Controlar el mantenimiento, verificación y calibración de los sistemas de detección y medida de las radiaciones.

- Vigilar y controlar la dosimetría personal de los trabajadores expuestos.

- Formar y entrenar a los trabajadores expuestos en materia de protección radiológica.

- Comprobar que se lleva a cabo la vigilancia sanitaria de los trabajadores expuestos, en colaboración con el Servicio de Prevención de Riesgos.

- Conocer o analizar el impacto radiológico derivado del funcionamiento de la instalación.

- Optimizar las medidas de control de calidad del equipamiento radiológico, de medicina nuclear y de radioterapia.

Control de las autoridades

En España, el organismo competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica es el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), ente de Derecho Público independiente de la Administración Central del Estado.

Desde su creación en 1980 el CSN ha asumido la vigilancia y el control del funcionamiento de las instalaciones nucleares y radiactivas del país. Se rige por un Estatuto propio, pudiendo encomendar algunas de sus funciones en las comunidades autónomas. Debe informar semestralmente al Congreso y al Senado sobre el desarrollo de sus actividades. Entre sus funciones, en relación con la protección radiológica, destacan:

- Vigila y controla los niveles de radiación medioambiental en el territorio nacional.

- Examina y concede licencias a las personas que trabajan en las instalaciones radiactivas y acredita a las personas que trabajan en las instalaciones de radiología médica.

- Estudia e informa cada proyecto de instalación nuclear o radiactiva.

- Inspecciona y controla el funcionamiento de las instalaciones nucleares y radiactivas e impone la corrección de posibles deficiencias.

- Proporciona apoyo técnico en caso de emergencia nuclear o radiactiva y participa en la elaboración de los planes de emergencia exteriores de las instalaciones.

- Controla las dosis de radiación que pueden recibir tanto los trabajadores expuestos como la población en general.

- Realiza y promueve planes de investigación.

- Propone al Gobierno las reglamentaciones necesarias en materia de seguridad nuclear y protección radiológica.

- Informa a la opinión pública.

Medidas de protección radiológica

Aplicaciones industriales

En general, en la industria, sólo se utilizan actividades elevadas en los procesos de esterilización de materiales, irradiación de alimentos y en la radiología industrial. En los dos primeros casos, las fuentes están ubicadas en salas blindadas. Los trabajadores realizan las operaciones desde puestos de control completamente automatizados por lo que el riesgo de exposición es bajo.

En el caso de la radiología industrial es más complicado ya que las operaciones se realizan en campo. En estas aplicaciones el principal riesgo es debido a la posible pérdida de la fuente quedando fuera de control. Por este motivo el CSN ha realizado un plan de actuación para mejorar la vigilancia de los trabajadores en el área de la radiografía industrial que incluye el incremento de las inspecciones.

El resto de las aplicaciones con fuentes encapsuladas utilizan fuentes de actividad relativamente baja por lo que el riesgo de irradiación es pequeño. En algunas actividades industriales se utilizan fuentes no encapsuladas por lo que podría existir riesgo de contaminación. En las aplicaciones industriales, en general, se utilizan fuentes de poca actividad y periodo de semidesintegración corto.

Los radionucleidos de periodo de semidesintegración corto, se pueden almacenar hasta que, perdida su actividad, puedan ser liberados al medio ambiente como residuos convencionales sin causar impacto ambiental. La cormercialización y posterior utilización de estos materiales está sometida a una estricta vigilancia.

Normas básicas para reducir la irradiación externa

Distancia

Debe ser la máxima posible respecto de la fuente emisora de radiación. Hay que recordar que la dosis disminuye con la distancia (de acuerdo con la ley del inverso del cuadrado de la distancia).

Tiempo

Debe ser el menor posible. La dosis es directamente proporcional al tiempo de exposición, si se reduce éste a la mitad, la dosis se reduce en la misma proporción.

Blindaje

Cuando la combinación de tiempo y distancia no reduce la dosis a niveles permisibles, hay que interponer una barrera de material absorbente entre la fuente y el usuario.

Producción de electricidad

En una central nuclear existen sistemas radiactivos ligados al reactor y a las piscinas de almacenamiento del combustible irradiado, así como otros sistemas auxiliares, como los de tratamiento de residuos radiactivos, que requieren una vigilancia operativa y un mantenimiento durante su funcionamiento.

Periódicamente, cada año o año y medio, se realiza una parada programada de la central para efectuar la recarga del combustible y los trabajos de mantenimiento que requieren una parada de los sistemas, en la que concurren simultáneamente numerosos trabajadores de varias empresas exteriores. Todo ello conlleva la realización de trabajos en zonas clasificadas radiológicamente así como a intervenciones sobre materiales radiactivos, con exposición radiológica a la irradiación externa y a la potencial contaminación superficial y ambiental, que deben desarrollarse en el marco de una aplicación estricta de las normas de protección radiológica establecidas en la planta para tales circunstancias.

La organización de la protección radiológica en una central nuclear comprende:

- El Servicio de Protección Radiológica, cuya principal misión, aparte de las especificadas en el capítulo anterior, es la de la vigilancia radiológica de la instalación y coordinación de la vigilancia radiológica del medio ambiente en el entorno exterior.

- El Servicio de Prevención de Riesgos Laborales, que realiza las misiones que le son propias desde el punto de vista sanitario para las aptitudes y seguimiento de los historiales médicos de los trabajadores expuestos, así como la atención médica, en caso de irradiación o contaminación.

- Una Sección de Formación, encargada de impartir o coordinar la formación básica e instrucciones específicas reglamentarias de protección radiológica para los trabajadores expuestos, así como la formación preceptiva para el personal con licencia.

Normas básicas para reducir la contaminación

*Utilizar **sistemas de contención** en las superficies de trabajo (bandejas, papel plastificado o similares).*

*Utilizar **equipos de protección individual** (bata y calzas desechables, guantes de latex, gafas de plástico, etc).*

*Cumplir las **normas de trabajo con material radiactivo.***

- La organización del trabajo. La preparación de los trabajos con riesgo de exposición radiológica requiere la habilitación de un permiso de trabajo con radiaciones que es un documento en el que consta toda la información y requisitos de protección radiológica necesarios para la realización del trabajo.

- Así mismo los trabajadores expuestos deben poseer un carné radiológico del Consejo de Seguridad Nuclear, que es un documento personal reglamentario que recoge los datos personales y la información sobre la aptitud médica, su control dosimétrico personal y su formación radiológica.

- La dotación de medios logísticos, de detección, de protección, de control y de análisis para el desarrollo y cumplimiento de estas misiones.

Investigación

En este campo se aplican las normas básicas para reducir la irradiación y contaminación. En los laboratorios, donde se utilizan radionucleidos se instalarán, cuando sea necesario, los blindajes:

- Para radioisótopos emisores beta: materiales plásticos, metacrilato, PVC o similares.

- Para radioisótopos emisores gamma: elementos de alta densidad, generalmente plomo o vidrio plomado.

Las normas fundamentales de trabajo en estas instalaciones son las siguientes:

- No fumar ni ingerir alimentos durante la manipulación de material radiactivo.

- Utilizar siempre pipetas automáticas con puntas desechables.

- Restringir el trabajo con material radiactivo a la Zona Radiológica Autorizada del laboratorio.

- El material radiactivo volátil se manipulará siempre en vitrinas de extracción de gases equipadas con los filtros adecuados, para evitar su posible dispersión.

- Utilizar material desechable.

- Gestionar los residuos radiactivos generados de forma adecuada.

Producción y gestión de residuos radiactivos

El residuo radiactivo

Se denomina residuo radiactivo a cualquier material o producto de desecho para el cual no está previsto ningún uso, está contaminado o que contiene radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por la autoridad competente.

Producción de residuos radiactivos

Pueden generarse residuos radiactivos en las siguientes actividades:

- Producción de energía eléctrica de origen nuclear.
- Minería.
- Producción de concentrados de uranio.
- Fabricación de elementos combustibles.
- Combustible gastado.
- Reproceso del combustible gastado.
- Aplicaciones de los radioisótopos en la medicina, industria e investigación.
- Desmantelamiento de instalaciones nucleares y radiactivas.

Se originan residuos de baja actividad, siempre que se utilizan materiales radiactivos, es decir en todas las actividades citadas anteriormente. Suelen constituir este tipo de residuos objetos tales como toallas de papel, algodones, jeringas usadas, tubos, viales, guantes de goma y cubiertas para calzado, filtros de aire, etc.

Los residuos de media actividad que se producen en centrales nucleares y plantas de

Características	Residuo de baja y media actividad	Residuo de alta actividad
Periodo de semidesintegración	No debe ser superior a 30 años	Casi siempre superior a 30 años
Actividad específica por elemento	Baja, no supera ciertos valores establecidos para esta categoría	Alta, supera los valores establecidos para la categoría anterior
Calor	No desprenden	Pueden desprender calor
Tipo de emisiones	Beta, gamma y alfa < 0,37 GBq/T	Beta, gamma y alfa > 0,37 GBq/T
Blindaje	No los necesitan muy potentes	Necesitan potentes blindajes

reprocesamiento de combustible gastado son habitualmente objetos metálicos variados, lodos de circuitos, resinas de intercambio iónico, etc. Algunas de las fuentes radiactivas utilizadas para la esterilización de equipos médicos y en algún otro tipo de industria, requieren blindajes y son consideradas como residuos de media.

Prácticamente el 95% de los residuos de alta actividad se producen como consecuencia de la generación de energía eléctrica en centrales nucleares ya sea como combustible gastado propiamente dicho o como líquidos ácidos concentrados (altamente radiactivos), resultantes del reproceso de dicho combustible en el caso de que éste se lleve a cabo.

Gestión de los residuos radiactivos

Un aspecto importante en el desarrollo de la protección radiológica es realizar una correcta gestión con los residuos radiactivos que permita minimizar los riesgos de contaminación e irradiación para los trabajadores expuestos y el público en general y reducir el impacto de los mismos sobre el medio ambiente. Para ello es necesario realizar las siguientes acciones:

- Caracterización de los residuos, determinando las propiedades físicoquímicas y radiológicas de los mismos.
- Clasificación, atendiendo a diferentes parámetros tales como la actividad, el periodo de semidesintegración, etc.
- Segregación, etiquetado y recogida. Los residuos radiactivos se guardan en contenedores adecuados atendiendo al tipo de radiación emitida y al estado físico de los mismos, utilizando contenedores blindados y debidamente señalizados. Existirán contenedores para los residuos en todos los lugares donde se estén generando.
- Almacenamiento. Las instalaciones generadoras de residuos radiactivos disponen de lugares específicos para el almacenamiento seguro de los mismos hasta su posterior evacuación. El diseño de estos almacenes incluye los blindajes necesarios, bandejas o sistemas de contención para residuos líquidos y sistemas de ventilación provistos de filtros adecuados para los gaseosos.

La emisión de estos materiales al medio natural es objeto de una normativa especialmente estricta que considera el posible impacto en el medio ambiente y el ser humano.

Procedimientos de evacuación y acondicionamiento

La evacuación o disposición final de los residuos radiactivos se realiza de acuerdo a las siguientes modalidades de actuación: vertido controlado y evacuación de residuos de baja y media actividad para su almacenamiento.

- Vertido controlado. Se aplica a residuos contaminados con radionucleidos de corto periodo de semidesintegración y baja actividad que tras un periodo de almacenamiento adecuado pueden ser eliminados, de forma controlada, por dilución al medio ambiente o gestionados como residuos convencionales. En ambos casos, estos materiales se incorporan al medio ambiente sin causar impacto sobre el mismo.

- Evacuación de residuos de media y baja actividad. La solución más generalizada es el "almacenamiento en superficie" pudiendo incluir o no, barreras adicionales de ingeniería. Previamente a su disposición en las instalaciones dedicadas a tal fin, los residuos han de estar debidamente acondicionados. El acondicionamiento de los residuos comprende un conjunto de procesos desde que se producen hasta que son envasados. Durante este proceso los residuos son primeramente clasificados para posteriormente reducir su volumen, generalmente por compactación o incineración. Los residuos líquidos de baja y media actividad se someten a una serie de procedimientos (precipitación química, filtración, centrifugación, evaporación, intercambio iónico), con el fin de separar los radionucleidos de la solución que los contiene. También puede utilizarse la incineración en el caso de líquidos combustibles (aceites, líquidos de centelleo...), o sustancias orgánicas (cadáveres de animales, tejidos, líquidos orgánicos, etc.).
  Para conseguir aislar los residuos radiactivos durante un largo periodo de tiempo, pueden interponerse entre el residuo y el entorno humano una serie barreras artificiales cuyo objetivo esencial es impedir que el agua superficial o subterránea entre en contacto con los bidones o contenedores en los que se encuentran los residuos acondicionados. Estos sistemas deben cumplir tres premisas: estar situados por encima del nivel de las aguas subterráneas (nivel freático), estar protegidos de las lluvias por una cobertura impermeable y disponer de sistemas colectores de las aguas que pudieran filtrarse hasta el interior del almacenamiento.

- Evacuación de residuos de alta actividad. El combustible gastado en las centrales nuclea-

res pasa a las piscinas de éstas, donde se somete a un proceso de enfriamiento previo a su disposición final. Si dicho combustible es sometido a reproceso con el fin de recuperar el uranio no gastado, los residuos de alta actividad que se originan se incorporan a una matriz vitrificada que se introduce en contenedores de acero inoxidable, los cuales se disponen en cámaras refrigeradas por aire hasta su evacuación final.

Actualmente, la opción que se considera como tecnológicamente más desarrollada y más segura para la evacuación definitiva de residuos solidificados de actividad alta, es el enterramiento profundo en estratos geológicos estables o bajo el fondo del mar.

Las formaciones geológicas que actuarán como barrera (arcillas, granitos o sales), han de cumplir una serie de requisitos para garantizar el confinamiento de los residuos:

- Poseer unas propiedades mecánicas favorables para la realización de las obras.
- Tener unas dimensiones y una homogeneidad lateral suficiente para acoger las instalaciones.
- Presentar condiciones de impermeabilidad y geoquímica adecuadas en la roca almacén.
- Poseer bajo gradiente hidráulico y,
- Ser un área tectónicamente estable y con vulcanismo nulo.

Funciones y responsabilidades

Las sustancias radiactivas y los equipos productores de radiaciones ionizantes no pueden ser utilizados por personas (físicas o jurídicas) que no estén expresamente autorizados para ello. Así mismo, es necesario disponer de la autorización de funcionamiento para la instalación radiactiva donde se utilizará el material o equipos indicados. Estas autorizaciones son concedidas por el organismo competente de Industria de la comunidad autónoma correspondiente.

A continuación se reflejan las obligaciones y responsabilidades asignadas a los centros, entidades, empresas y personas implicadas en el uso de radiaciones ionizantes, definidas en la legislación vigente.

Protección radiológica del trabajador expuesto y del público

El titular es el máximo responsable de la aplicación de los principios de protección radiológica reflejados en la legislación vigente, en el ámbito de la instalación radiactiva. Sus obligaciones y responsabilidades, fundamentales, en materia de protección radiológica son:

- Garantizar el cumplimiento de las especificaciones de la autorización de funcionamiento de la instalación radiactiva, las normas establecidas en el correspondiente Manual de Protección Radiológica, así como las disposiciones legales vigentes sobre instalaciones radiactivas.

- Asegurar que se imparte una formación en protección radiológica adecuada previa y continuada a todo el personal de la instalación.

- Comunicar al Consejo de Seguridad Nuclear cualquier situación, accidente o incidente que reduzca la seguridad de los trabajadores en materia de protección radiológica.

- Tomar las medidas oportunas en caso de incumplimiento de las normas de protección radiológica establecidas.

- Firmar y tramitar la documentación preceptiva de la instalación radiactiva y aprobar los procedimientos relativos a la protección radiológica.

- Facilitar a los inspectores del Consejo de Seguridad Nuclear el acceso, la documentación y los medios necesarios para el cumplimiento de su misión.

El personal que manipule material o equipos radiactivos y el que dirija dichas actividades, deberá disponer de una licencia específica concedida por el Consejo de Seguridad Nuclear. Existen dos tipos de licencias: supervisor y operador.

La licencia de supervisor capacita para dirigir y planificar el funcionamiento de una instalación radiactiva y las actividades de los operadores.

La licencia de operador capacita para la manipulación de materiales o equipos productores de radiaciones ionizantes, conforme a procedimientos e instrucciones preestablecidos.

Especial relevancia tiene la formación en materia de protección radiológica. Todas las personas que trabajan en una instalación radiactiva reciben una formación previa y continuada en esta disciplina. Los programas de formación, adecuados a las tareas realizadas por el personal implicado, son homologados por el Consejo de Seguridad Nuclear.

La formación previa debe cubrir como mínimo los aspectos relativos a los riesgos radiológicos asociados, las normas y procedimientos de protección radiológica, reflejando todas las normas de trabajo con radiaciones ionizantes, la gestión de residuos radiactivos, las pautas de actuación a seguir ante un incidente o accidente radiológico así como las normas de descontaminación. Así mismo, deberán conocer las características de los radionucleidos u otras fuentes de radiación ionizante utilizadas en su trabajo. En el caso de mujeres embarazadas, se indicará la necesidad de efectuar rápidamente la declaración de embarazo y notificación de lactancia. Esta información será entregada en documentos escritos.

Las obligaciones y responsabilidades asignadas al supervisor de una instalación nuclear o radiactiva son la siguientes:

- Cumplir y hacer cumplir las especificaciones indicadas en la autorización de la instalación, Reglamento de Funcionamiento, Manual de Protección Radiológica específico, Plan de Emergencia y cualquier otro documento oficialmente aprobado.

- Elaborar los informes anuales relativos al funcionamiento de la instalación y enviarlos al Consejo de Seguridad Nuclear.

- En caso de emergencia, accidente o incidente, adoptar las medidas necesarias, dejando constancia de ellas, comunicándoselas al jefe de protección radiológica y al titular de la instalación.

- Detener en cualquier momento el funcionamiento de la instalación si estima que se han reducido las condiciones de seguridad.

- Vigilar el funcionamiento de los diferentes equipos de medida de la instalación radiactiva.

- Mantener un inventario actualizado del material radiactivo.

- Gestionar los residuos radiactivos

Las obligaciones y responsabilidades asignadas al operador de una instalación nuclear o radiactiva son la siguientes:

- Conocer y cumplir las normas establecidas en el Manual de Protección Radiológica y las medidas a tomar en caso de emergencia radiológica.

- Comunicar al supervisor, de forma inmediata, cualquier accidente o incidente.

- Utilizar de forma correcta los equipos productores de radiaciones ionizantes.

- Utilizar los equipos de protección radiológica necesarios en cada situación.
  Detener en cualquier momento el funcionamiento de la instalación radiactiva si estima que se han reducido las condiciones de seguridad si no es posible localizar al supervisor.

Control de las instalaciones

Las instalaciones radiactivas están sometidas a un doble control. Por una parte, existe un control externo a la instalación realizado por la Administración Pública y por otra parte hay un control interno realizado en la propia instalación.

El control externo realizado desde la Administración se lleva a cabo a través de la evaluación de los documentos preceptivos, y de las inspecciones realizadas por el personal técnico del Consejo de Seguridad Nuclear, oficialmente designado para ello.

El resultado de las inspecciones quedará reflejado en actas firmadas por el inspector y por el supervisor de la instalación.

El control interno de las instalaciones nucleares o radiactivas se realiza por el supervisor y el Servicio de Protección Radiológica. Este servicio es responsable de velar por el cumplimiento de las normas de protección radiológica establecidas.

Existe la posibilidad de que una instalación contrate los servicios de protección radiológica a una Unidad Técnica de Protección Radiológica (UTPR) ajena al propio centro. En esta situación la UTPR tendrá las mismas obligaciones y responsabilidades que los propios servicios de protección radiológica.

La fabricación de aparatos, equipos y componentes que incorporen sustancias radiactivas o que sean susceptibles de generar radiaciones ionizantes requieren una autorización específica de la autoridad competente en la materia, previo informe vinculante del Consejo de Seguridad Nuclear.

Glosario

Actividad radiactiva
Velocidad con la que tienen lugar cambios, transformaciones o desintegraciones en el núcleo atómico. La actividad se expresa en becquerelios (Bq). Un becquerelio, representa una desintegración en un segundo. la antigua unidad era el curio.

Acelerador
Equipo de uso clínico o industrial, que tiene capacidad para emitir fotones y electrones de varios MeV.

Actividad específica
Es la actividad radiactiva por unidad de masa o volumen. Sus unidades son: el Bq/gr o el Bq/ml.

ADN
Ácido desoxiribonucleico. Macromolécula esencial del material genético. Es la base de la herencia biológica.

Átomo
Es la más pequeña porción de un elemento que presenta las propiedades químicas del mismo constituido por un núcleo con carga positiva, rodeado de electrones con carga negativa.

Becquerelio (Bq)
Es la unidad de actividad radiactiva, representa una desintegración en un segundo.

Blindaje
Sistema constituido por un material que se utiliza para que absorber o atenuar una determinada radiación. Cuando se desea atenuar radiación gamma o rayos X, se suele utilizar hormigón normal, hormigón baritado, plomo, etc. Cuando se desea atenuar radiación beta, se suelen utilizar sustancias como el metacrilato.

Cámara de ionización
Equipo electrónico que se utiliza para detectar y medir la radiación. El fundamento físico en el que se basa su funcionamiento es la ionización que la radiación produce en el gas que contiene.

Célula
Unidad funcional más pequeña capaz de existir de forma independiente. Está formada por el núcleo y el citoplasma, ambos separados por la membrana nuclear. El citoplasma está separado del medio en el cual se encuentra la célula por otra membrana llamada membrana celular.

Citoplasma
Comprende la parte de la célula contenida entre la membrana celular y el núcleo de la misma. El citoplasma es el lugar donde se realizan todas las funciones metabólicas de la célula

Contaminación radiactiva
Presencia indeseada de uno o más radionúclidos en el ser humano (contaminación personal) o en el entorno que le rodea (contaminación ambiental). Para que se produzca una contaminación radiactiva los radionúclidos han de estar como fuentes abiertas (no encapsulados).

Cromosomas
Componentes celulares contenidos en el núcleo de la célula, portadores de genes (unidades de material genético). Son los responsables de transmitir la información hereditaria que contiene la célula y también dirigen la actividad del citoplasma de la misma.

Curio
Unidad antigua de actividad radiactiva, equivale a: $3{,}7 \times 10^{10}$ Bq. Esta cantidad se denomina como un giga becquerelio (GBq).

Descontaminación
Proceso mediante el cual se elimina toda o parte de la contaminación radiactiva.

Desintegración
Transformación nuclear, mediante la cual el núcleo de los átomos radiactivos emite partículas o radiación con el fin de conseguir su estabilidad.

DNA
Véase ADN.

Dosímetro
Sistema detector utilizado para estimar la dosis de radiación.

Dosímetro de termoluminiscencia
Sistema detector formado por una sustancia que al ser irradiada, retiene la energía depositada por la radiación en su proceso de interacción con la misma y la emite a continuación en forma de luz al ser calentada en un proceso de lectura del mismo. La luz emitida es proporcional a la energía absorbida por el dosímetro.

Dosis
Termino genérico utilizado para designar distintas cantidades utilizadas para estimar la energía transferida a un medio en el proceso de interacción de la radiación con el mismo, o el daño biológico ocasionado.

Dosis absorbida
Energía absorbida por unidad de masa.

Dosis equivalente
Dosis absorbida en órgano o tejido, ponderada según el tipo y calidad de la radiación.

Dosis efectiva
Suma de las dosis equivalentes ponderadas en los tejidos y órganos del cuerpo.

Dosis interna
Dosis de radiación recibida como consecuencia de los radionucleidos depositados en el organismo humano.

Efectos deterministas
También llamados no estocásticos y que se caracterizan por tener umbral a la hora de su aparición. La gravedad de este efecto depende de la dosis. Ejemplos de estos efectos son las cataratas radioinducidas, caída del cabello, esterilidad etc.

Efectos estocásticos
También llamados probabilísticos. Estos efectos no tienen umbral y la probabilidad de su aparición aumenta con la dosis. Son siempre graves y ejemplos de ellos son la inducción de cáncer y los posibles efectos genéticos.

Efectos genéticos
Los que afectan a la salud de los descendientes de la persona irradiada. Son mutaciones producidas en los genes y que originan malformaciones de cualquier tipo.

Efectos somáticos
Son aquellos que afectan a la salud de la persona irradiada, ejemplo de ellos es el cáncer radioinducido.

Electrón
Partícula constituyente de la corteza atómica. Tiene carácter negativo y su masa es muy pequeña comparada con la masa del protón.

Electrónvoltio
Es la energía que adquiere un electrón cuando es acelerado en el vacio a una diferencia de potencial de un voltio. Es la unidad de energía de uso en la física nuclear. Sus múltiplos más utilizados son: el kiloelectrónvoltio (keV) 1.000 eV y el megaelectrónvoltio (MeV) 1.000.000 eV.

Elemento
Sustancia en la cual los átomos que la forman tienen todos los mismos números atómicos, ejemplo el oxígeno, el hidrógeno, etc.

Equipo de rayos X
Utilizado en al área sanitaria, y cuyo funcionamiento se basa en la utilización de haces de fotones tanto para el diagnóstico como para terapia. La energía de los fotones utilizados en este caso es de una magnitud cercana al kev.

Eritema
Enrojecimiento de la piel que puede ser consecuencia de la congestión de los capilares como resultado de una determinada irradiación.

Exposición
Acción de someter o someterse a las radiaciones ionizantes.

Factor de ponderación de la radiación
Factor utilizado para calcular la dosis equivalente, corregida según la eficacia de la radiación para producir efectos biológicos.

Factor de ponderación tisular
Factor utilizado para calcular la dosis efectiva corregida teniendo en cuenta la sensibilidad de los distintos órganos o tejidos a las radiaciones ionizantes.

FAO
Organización de Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación.

Fotón
Paquete de energía asociado a la radiación electromagnética. Los rayos X y la radiación gamma están formados por haces de fotones y su mayor o menor capacidad de penetrar en el medio, depende de la energía de los mismos.

Fuentes radiactivas
Son sistemas con capacidad para producir radiaciones ionizantes.

Genético
Lo relativo a la herencia biológica.

Gónadas
Órganos que producen las células sexuales reproductoras (ovarios y testículos).

Gray
Unidad de dosis absorbida; equivale a 1 j/kg.

IAEA
Ver OIEA.

ICRP
Comisión Internacional de Protección Radiológica.

Intervención
Actividad humana que evita o reduce la exposición de las personas a la radiación procedente de fuentes que no son parte de una práctica o que están fuera de control, actuando sobre las fuentes, las vías de transferencia y las propias personas.

Ionización
Fenómeno que ocurre cuando un átomo neutro, o una molécula, adquiere o pierde carga eléctrica, convirtiéndose en un ión positivo o negativo (catión o anión respectivamente).

IRPA
asociación internacional de protección radiológica.

Irradiación
Proceso de exposición a la radiación.

Isótopos
Átomos del mismo elemento que tienen el mismo número de protones en su núcleo pero difieren en el número de neutrones.

Isótopo radiactivo
Ver radionucleidos.

keV
Kiloelectrónvoltio. Unidad de energía equivalente a 1.000 electrónvoltios.

Leucemia
Grupo de enfermedades habitualmente graves que afectan a los glóbulos blancos de la sangre.

Límite de dosis
Valores de la dosis efectiva o de la dosis equivalente que no deben ser rebasadas. Los límites de dosis están basados en recomendaciones hechas por la ICRP y se recogen en el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes.

MeV
Megaelectrónvoltio. Unidad de energía equivalente a 1 millón de electrónvoltios.

Molécula
Agrupación de átomos que constituyen la cantidad más pequeña de un compuesto que puede existir independientemente y que presenta todas las propiedades químicas del mismo.

MOL
Cantidad de una sustancia que contiene el Número de Avogadro (6,023 1023) de átomos o moléculas.

Mutación
Cambio o alteración en el material genético.

Neutrón
Partícula sin carga eléctrica que acompaña a los protones en el núcleo del átomo.

Núcleo
Parte central del átomo, con carga positiva y constituida por protones y neutrones a los que se les suele denominar nucleones.

Número atómico (Z)
Número de protones en el núcleo y electrones en la corteza del átomo. Es característico de cada elemento.

Número másico (A)
Número total de neutrones y protones (nucleones) en el núcleo del átomo.

OIEA (IAEA)
Organismo Internacional de Energía Atómica.

OIT
Organización Internacional del Trabajo.

OMS
Organización Mundial de la Salud.

OPS
Oficina Panamericana de la Salud.

Partícula alfa
Partícula cargada positivamente compuesta de dos protones y dos neutrones. Las partículas alfa son emitidas por elementos pesados; tienen bajo poder de penetración y ceden su energía cerca de la fuente emisora.

Partícula beta
Electrones con poder de penetración mayor que el de las partículas alfa por ser más ligeras que estas. Pueden tener carga positiva o negativa.

Penetración
Distancia máxima alcanzada por una partícula alfa o beta antes de perder su energía y ser absorbida en un medio determinado.

Periodo de semidesintegración
Intervalo de tiempo que ha de transcurrir para que el número de átomos de un radionúclido se reduzca a la mitad, o lo que es lo mismo, su actividad se reduzca a la mitad.

Práctica
Actividad humana que puede aumentar la exposición de las personas a la radiación procedente de una fuente artificial, o de una fuente natural cuando los radionucleidos naturales son procesados por sus propiedades radiactivas, fisionables o fértiles, excepto en el caso de exposición de emergencia.

Protón
Partícula de carga positiva que junto con los neutrones forma parte del núcleo atómico.

Radiación
Emisión de energía o de partículas desde una fuente.

Radiación electromagnética
Radiación que trasmite energía y que consiste en ondas eléctricas y magnéticas que se desplazan a la velocidad de la luz.

Radiación ionizante
Partículas y radiación electromagnética con longitud de onda igual o menor a 100 nanómetros o frecuencia igual o mayor a $3x\ 10^{15}$ hz, capaces de producir iones directa o indirectamente.

Radiactividad
Fenómeno mediante el cual determinados elementos con núcleos inestables tienden, a lo largo del tiempo y con mayor o menor rapidez, a transformarse en núcleos estables mediante la emisión espontánea de algunas partículas o radiación gamma.

Radioisótopo
Ver radionúclido.

Radionucleido
Átomo de núcleo inestable que se desintegra espontáneamente emitiendo partículas (alfa o beta) o radiación gamma, o ambas.

Radionucleidos artificiales
Son los que se originan a partir de reacciones nucleares utilizadas por el ser humano.

Radionucleidos naturales
Son aquellos que forman parte de la tierra desde el origen de la misma. Además del potasio-40 y del rubidio-87, están los integrantes de las tres grandes cadenas de desintegración (uranio-235, uranio-238 y torio-230). Los dos primeros radionucleidos y los cabezas de las tres series tienen un periodo de semidesintegración bastante elevado, comparable a la edad de la tierra.

Radionucleidos cosmogénicos
Son los que se originan debido a reacciones nucleares producidas por la interacción de los rayos cósmicos con la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera.

Radioterapia
Tratamiento de células y tejidos tumorales mediante la aplicación de radiaciones ionizantes.

Rayos cósmicos
Radiación ionizante procedente del Sol y del espacio exterior.

Rayos gama
Radiación electromagnética de muy baja longitud onda, emitida por un núcleo inestable. Su poder de penetración es importante y directamente proporcional a su emergía asociada.

Rayos X
Radiación de naturaleza electromagnética que procede de la corteza atómica. Se producen en dispositivos especialmente diseñados cuando un haz de electrones acelerados por un potencial eléctrico, choca contra un blanco metálico. El poder de penetración de los rayos X depende de la energía suministrada a los electrones por el potencial de aceleración.

Servicio de Protección Radiológica
Entidad propia de un titular, expresamente autorizada por el Consejo de Seguridad Nuclear para desempeñar las funciones de protección radiológica.

Sievert
Unidad de dosis equivalente y de dosis efectiva.

Trazador
Sustancia química a la que se le añade un radionucleido para formar un radiotrazador de forma que pueda ser detectado por instrumentos de medida de la radiación a lo largo de un proceso.

Unidad Técnica de Protección Radiológica
Entidad ajena contratada por un titular, expresamente autorizada por el Consejo de Seguridad Nuclear para desempeñar las funciones de protección radiológica .

UNSCEAR
Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de la Radiación Atómica.

Vatio
Unidad de potencia eléctrica.

Zona controlada
Zona sometida a regulación especial a efectos de protección contra las radiaciones ionizantes. en ella existe la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv/año. Dentro de esta categoría se consideran.

- Zona de acceso prohibido: se pueden recibir, en una única exposición, dosis superiores a los límites reglamentarios.
- Zona de permanencia limitada: existe riesgo de recibir una dosis superior a los límites anuales establecidos.
- Zona de permanencia reglamentada: se pueden recibir, en una única exposición, dosis superiores a los límites reglamentarios en cortos periodos de tiempo.
- Zona vigilada: sometida a una adecuada vigilancia a efectos de protección contra las radiaciones ionizantes. En ella existe la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv/ año (límite para el público) e inferiores a 6 mSv/año.

Principales disposiciones legales

- Ley 25/1964 sobre Energía Nuclear (BOE, 4 de mayo de 1964).
- Ley 15/1980 de Creación del CSNr (BOE, 25 de abril de 1980), reformada por la Ley 33/2007, de 8 de noviembre.
- Ley 31/1995. Prevención de Riesgos Laborales (BOE, 10 de noviembre de 1995).
- Ley 14/1999 de Tasas y Precios Públicos por servicios prestados por el Consejo de Seguridad Nuclear (BOE, 5 de mayo 1999).
- Real Decreto 1132/1990. Protección Radiológica de las Personas sometidas a exámenes y tratamientos médicos (BOE, 18 de septiembre de 1990).
- Real Decreto 1085/2009, de 3 de junio por el que se aprueba el Reglamento sobre Instalación y Utilización de Aparatos de Rayos X con fines de diagnóstico médico.
- Real Decreto 39/1997. Reglamento de los Servicios de Prevención (BOE, 31 de enero de 1997).
- Real Decreto 220/1997. Creación y regulación de la obtención del título oficial de especialista en radiofísica hospitalaria (BOE, 1 de marzo de 1997).
- Real Decreto 412/1997. Solicitud para la obtención del título de especialista en radiofarmacia (BOE, 16 de abril 1997).
- Real Decreto 413/1997. Protección operacional de los trabajadores externos con riesgo de exposición a radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada (BOE, 16 de abril 1997).
- Real Decreto 1841/1997. Establecimiento de los criterios de calidad en medicina nuclear (BOE, 19 de diciembre de 1997).
- Real Decreto 1566/1998. Establecimiento de los criterios de calidad en radioterapia (BOE, 28 de agosto de 1998).
- Real Decreto 1976/1999. Establecimiento de los criterios de calidad en radiodiagnóstico (BOE, 29 de diciembre de 1999).
- Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas, modificado por el Real Decreto 35/2008, de 18 de enero.
- Real Decreto 815/2001 sobre justificación del uso de las radiaciones Ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas (BOE, del 14 de julio 2001).
- Real Decreto 783/2001. Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (BOE, 26 de julio de 2001).
- Directiva 96/29/EURATOM. Normas básicas para la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes (DOCE L 159 del 29 de junio de 1996).
- Directiva 97/43/EURATOM. Protección del paciente (DOCE L 180 del 9 de julio de 1997).
- Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación. Colección Seguridad nº 115. Organismo Internacional de Energía Atómica. Viena. 1997.
- Guías de Seguridad del Consejo de Seguridad Nuclear (www.csn.es).

Otras publicaciones

SDB-01.02 Emergencia en centrales nucleares
CSN, 2009 (28 págs.)

SDB-01.03 Utilización de la energía nuclear para producir energía eléctrica
CSN, 2011 (20 págs.)

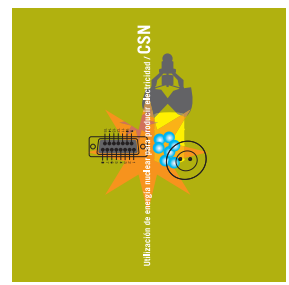
SDB-01.04 El funcionamiento de las centrales nucleares
CSN, 2002 (24 págs.)

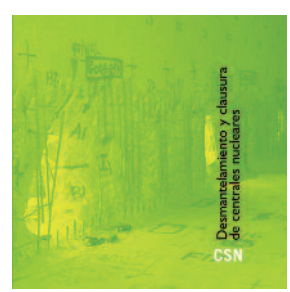
SDB-01.05 Desmantelamiento y la clausura de centrales nucleares
CSN, 2008 (36 págs.)

SDB-04.02 La protección de las trabajadoras gestantes expuestas a radiaciones ionizantes en el ámbito sanitario
CSN, 2005 (32 págs.)

SDB-04.03 El CSN vigila las radiaciones: 10 preguntas y respuestas sobre la radiactividad
CSN, 2006 (20 págs.)

SDB-04.04 La protección radiológica en la industria, la agricultura, la docencia o la investigación
CSN, 2012 (64 págs.)





SDB-04.05 La protección radiológica en el medio sanitario
CSN, 2011 (64 págs.)

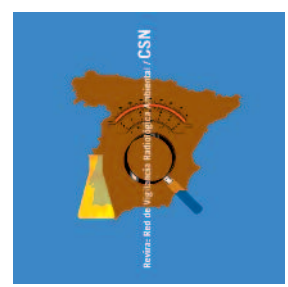
SDB-04.06 Protección radiológica
CSN, 2008 (16 págs.)

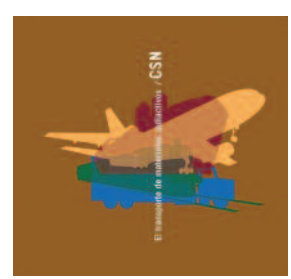
SDB-04.07 Dosis de radiación
CSN, 2010 (16 págs.)

SDB-04.08 Revira: red de vigilancia radiológica ambiental
CSN, 2009 (28 págs.)

SDB-04.09 Las radiaciones en la vida diaria
CSN, 2012 (20 págs.)

SDB-06.01 El transporte de los materiales radiactivos
CSN, 2009 (28 págs.)





100
90
80
70
60
50
40

La protección radiológica en la industria, la agricultura, la docencia o la investigación / CSN

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Pedro Justo Dorado Dellmans, 11
28040 Madrid
tel.: 91 346 01 00
fax: 91 346 05 88
www.csn.es