Seguridad y salud frente a las

Radiaciones ionizantes

ASEPEYO

Seguridad y salud frente a las

Radiaciones ionizantes

© Asepeyo. Mutua Colaboradora con la Seguridad Social nº 151.

2ª. Edición, Noviembre de 2017

Autores: Javier Aniés Escartín y Toni Perramon Lladó (Dirección de Prevención)

Fotografías desde www.shutterstock.com: Olga Maksimova, Ezume Images, Andrey Popov, Antoine2K, Zlikovec y Shinobi.

Iconos utilizados en infografías por Freepik desde www.flaticon.com

Reservados todos los derechos en todas las lenguas y países

R1E17087

INDICE

PRESENTACIÓN **6**

1. PRINCIPIOS FÍSICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES **7**

1.1 Estructura de la materia 7

1.2. Tipos de radiaciones ionizantes 8

1.3. Interacción de las radiaciones con la materia. 10

2. FUENTES DE RADIACIONES IONIZANTES **12**

2.1. Exposición a fuentes naturales 12

2.2. Exposición a fuentes artificiales 13

3. EFECTOS BIOLÓGICOS **15**

3.1. Tipos de efectos biológicos 16

4. DETECCIÓN Y MEDIDA DE LAS RADIACIONES **19**

4.1. Magnitudes asociadas a la medida de las radiaciones: 19

4.2. Dispositivos para la medida de radiación ionizante 23

5. NORMATIVA RELATIVA A LAS RADIACIONES IONIZANTES **27**

5.1. Aspectos genéricos de la legislación en materia preventiva 27

5.2. Legislación relacionada con las instalaciones radiactivas 29

5.3. Legislación relacionada con la radioprotección 33

6. PROTECCIÓN Y CONTROL FRENTE A LAS RADIACIONES IONIZANTES **39**

7. PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN LAS INDUSTRIAS NORM **44**

7.1. El caso del radón 47

PRESENTACIÓN

La utilización de las radiaciones ionizantes ha suscitado desde sus inicios un gran interés por sus indudables beneficios en aplicaciones médicas, energéticas e industriales pero al mismo tiempo ha generado preocupación sobre las repercusiones para la salud de las personas expuestas.

La evidencia de los efectos negativos ha impulsado desde hace muchos años un amplio conjunto de legislación y normativa para controlar estrechamente las exposiciones.

Es por ello que Asepeyo, en su constante interés por fomentar el conocimiento preventivo, ha recogido en esta publicación aquellos aspectos relacionados con el conocimiento e identificación, medición, valoración y control de las radiaciones ionizantes, dirigido especialmente al personal profesionalmente expuesto y a los prevencionistas.

Un mejor conocimiento y la sensibilización del colectivo expuesto, objetivo principal de esta publicación, debe permitir el desarrollo de un conjunto de buenas prácticas en las empresas mutualistas que, en sectores de actividad muy concretos, es especialmente recomendable.

Al mismo tiempo se ha llevado a cabo un esfuerzo para que su contenido, así como sus numerosas ilustraciones, permitan que su lectura sea amena, por lo que también está dirigida esta publicación a un colectivo más amplio, caracterizado por estar interesado y querer disponer de la información indispensable para poder entender la naturaleza, los usos y riesgos así como el control de las radiaciones ionizantes en ámbito laboral.

El conocimiento y la adecuada actitud preventiva ante los riesgos derivados de la exposición laboral a radiaciones ionizantes permitirán el uso de este agente con garantías, aprovechando los indudables beneficios que su acceso proporciona, a muchos niveles, a nuestra sociedad.

Esta publicación está enmarcada dentro de las acciones de información y sensibilización para las empresas asociadas a Asepeyo realizadas en desarrollo del Plan general de actividades preventivas de la Seguridad Social.

Evarist Llenas Torrent
Director de Prevención

1. PRINCIPIOS FÍSICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Siempre que hablemos de radiaciones debemos relacionarlas directamente con una energía que se transmite por el espacio. Esta energía interacciona con la materia modificándola respecto a su estado inicial, rompiendo o alterando las estructuras originales. Esta interacción ocurre y está descrita en el universo microscópico, el mundo de lo más pequeño.

1.1 ESTRUCTURA DE LA MATERIA

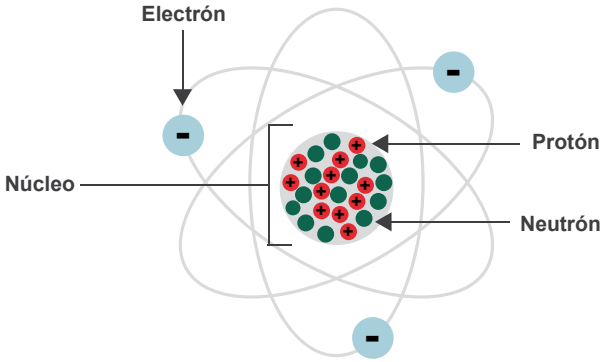
Cualquier porción de materia que tomemos, está compuesta por partículas minúsculas, llamadas átomos. A su vez estas partículas también tienen una estructura bien definida, en ellas podemos diferenciar dos zonas: la corteza y el núcleo.

La corteza atómica está ocupada por los electrones. Éstos son una de las partículas subatómicas existentes. Los enlaces entre átomos para formar moléculas, se realizan a nivel de cortezas atómicas, formándose una “nube electrónica” que envuelve a los núcleos.

En el centro del átomo está situado el núcleo y en el núcleo se encuentran otras dos partículas subatómicas: el protón y el neutrón.

El protón y el neutrón tienen prácticamente la misma masa, que es muy superior a la del electrón, casi dos mil veces mayor. Y mientras el protón y el electrón tienen carga eléctrica (positiva y negativa respectivamente), el neutrón no tiene esta propiedad.

En cuanto a las dimensiones de la corteza, encontramos que ésta ocupa prácticamente todo el volumen del átomo. Haciendo un símil aproximado en el que un átomo tiene la superficie de un campo de fútbol, nos encontraríamos que el núcleo no ocupa un espacio mayor que la moneda de un euro situada en el centro.



Por tanto, esta unidad de materia que llamamos átomo tiene una densidad muy baja, excepto en una zona bien precisa, el núcleo, dónde se concentra prácticamente toda la masa.

1.2. TIPOS DE RADIACIONES IONIZANTES

Para distinguir y dar nombre a los diferentes tipos de radiaciones ionizantes es conveniente realizar una clasificación en función de las propiedades de esta radiación o según sea el origen o fuente de dicha radiación.

1.2.1. Radiación electromagnética ionizante

1 Khz = 10^3 Hz; 1Mhz = 10^6 Hz; 1 Ghz = 10^9 Hz; 1 THz = 10^{12} Hz

La radiación electromagnética está formada por una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro a la velocidad de la luz.

La radiación electromagnética puede manifestarse de diversas maneras como calor radiado, luz visible, Rayos X o Rayos gamma. A diferencia de otros tipos de onda, como el sonido, que necesitan un medio material para propagarse, la radiación electromagnética se puede propagar en el vacío. A menudo se denomina fotón a un paquete de energía viajando por el espacio en forma de onda electromagnética.

La radiación electromagnética ionizante incluye a toda aquella radiación constituida por fotones con una energía suficientemente elevada, debido a su alta frecuencia, capaz de ionizar los átomos y romper los enlaces moleculares.

Frecuentemente se considera al fotón como una partícula, aunque sin masa ni carga eléctrica. Esta simplificación permite ilustrar la interacción de los fotones con la materia como un choque entre objetos que intercambian energía.

Dentro de este grupo se distingue entre la Radiación Gamma (γ) y los Rayos X. Esta distinción se realiza en función del origen de la radiación; La fuente natural de los Rayos gamma está en los núcleos atómicos de las sustancias radiactivas. Por su parte, los Rayos X tienen su origen en las transiciones entre niveles de la corteza electrónica de los átomos. Artificialmente, se generan en un tubo de rayos catódicos, en el que se aplica una tensión muy elevada entre el ánodo y el cátodo.

El rango de energías asociadas a los Rayos gamma es muy amplio y en todo caso los valores suelen ser superiores a las energías de los Rayos X utilizados más comúnmente.

Dentro de la representación del espectro electromagnético, los Rayos gamma (γ) figuran en la parte correspondiente a las energías más altas, asociadas a frecuencias muy elevadas, por encima de $3 \cdot 10^{16}$Hz.

1.2.2. Radiación formada por partículas subatómicas

Las partículas que constituyen dicha radiación tienen unas propiedades determinadas de masa y carga eléctrica.

El origen de estas radiaciones está en el núcleo de átomos radiactivos inestables, que se desintegran emitiendo algunas de las siguientes partículas:

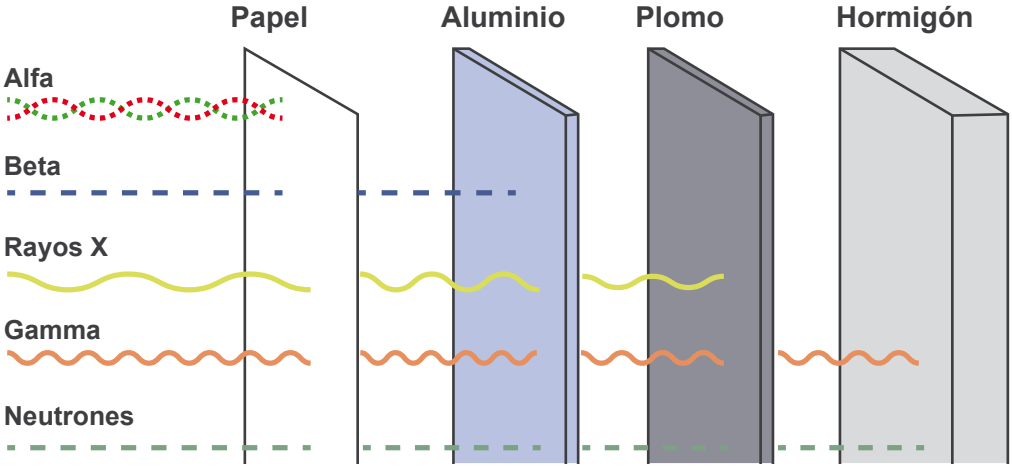
- **Radiación β:** Está compuesta por electrones (carga negativa), o positrones (electrones con carga positiva).
- **Radiación α:** Está compuesta por núcleos de Helio, es decir dos protones y dos

neutrones. Es por tanto una partícula mucho más pesada que las descritas en puntos anteriores.

- **Radiación de neutrones:** Se caracteriza por la emisión de neutrones altamente energéticos. Normalmente de origen artificial. Los neutrones no tienen carga eléctrica.

Un elemento químico viene definido por el número de protones en su núcleo. Así, cuando un núcleo radiactivo emite una de las anteriores partículas alterando su número de protones y por tanto su carga, pasa a ser un elemento químico distinto. Mientras en una muestra estén presentes átomos con el núcleo inestable, éstos se irán transformando hasta que no quede ninguno. El tiempo que tarda en desintegrarse una muestra de material radiactivo es una característica de cada tipo de núcleo, y puede ir desde una fracción de segundo hasta millones de años.

1.3. INTERACCIÓN DE LAS RADIACIONES CON LA MATERIA.



La característica fundamental de las radiaciones ionizantes es que su energía asociada es tal que, en la colisión entre éstas y el átomo, son capaces de arrancar electrones de la corteza de éste y romper los enlaces moleculares, con lo que el medio que es atravesado por las radiaciones ionizantes presenta una elevada concentración de iones. Incluso las grandes moléculas características de los tejidos orgánicos (ADN, proteínas, etc.) pueden ser fragmentadas o rotas, a veces de forma irreversible.

Esta interacción se interpreta como un choque de las partículas incidentes que constituyen la radiación contra las moléculas o átomos del medio sobre el cual inciden. La velocidad inicial que llevan las partículas antes del impacto está directamente asociada a la energía de la radiación. El tipo de radiación de que se trata y su energía asociada definirán la capacidad de penetración de un haz de radiación al atravesar un medio material.

Cuando un haz de radiación incide en un medio siempre va a sufrir un proceso de atenuación, a causa de los múltiples impactos que sufren los fotones o las partículas incidentes contra los átomos del medio.

Este concepto de atenuación es muy importante pues uno de los agentes de protección contra las radiaciones consiste en interponer un grosor suficiente de material adecuado, entre la fuente de radiación y la persona o personas a las que se quiere proteger.

Así, los principales factores que habrá que tener en cuenta a la hora de protegernos de un haz de radiación, serán:

1. El tipo de radiación. Cada tipo de radiación tiene un comportamiento característico al interaccionar con la materia.
2. La energía inicial del haz. A mayor energía del haz, mayor poder de penetración.
3. El material que se interponga. Debe ser el adecuado al tipo de radiación incidente.
4. El grosor del material interpuesto. Debe ser suficiente para atenuar el haz hasta los niveles deseados de seguridad.

1.3.1. Atenuación para las distintas radiaciones

- **Radiación α:** A causa de estar constituida por partículas cargadas, con una masa muy elevada y de un tamaño relativamente grande, tendrá una alta probabilidad de interacción con la materia, por lo que se atenúa rápidamente al atravesar barreras de muy pequeño grosor. Unos pocos centímetros de aire o una hoja de papel es suficiente para anular todo el haz de una radiación de esta naturaleza.
- **Radiación β:** Con un poder de penetración unas mil veces superior que las partículas α, son suficientes unos pocos mm de lámina metálica o unos pocos metros de aire interpuestos al haz de radiación, para reducir éste a niveles insignificantes.
- **Neutrones:** Estas partículas no tienen carga y por tanto no interaccionan eléctricamente con el medio, pero si colisionan efectivamente con partículas de masa similar. Por esto se utilizan materiales ricos en protones para termalizarlos (disminuir su energía cinética) como agua o parafina. En sus colisiones pueden producir radiación gamma. Como resultado la mejor atenuación para la radiación neutrónica se produce con una combinación de materiales (p. ej. parafina y plomo).
- **Radiación electromagnética:**
  - **Radiación γ:** En este caso, debido a que las partículas asociadas a esta radiación (fotones) no tienen masa ni carga eléctrica, su capacidad de penetración es muy elevada. Por ello, pueden ser necesarios grosores muy importantes de hormigón o plomo para atenuarla suficientemente.
  - **Rayos X:** La menor energía que en general está asociada a los Rayos X respecto a los Rayos gamma, hace que éstos no sean capaces de atravesar grosores muy elevados de un material de elevada densidad. Placas más o menos delgadas de plomo pueden ser suficientes.

2. FUENTES DE RADIACIONES IONIZANTES

Se puede realizar una clasificación de las radiaciones ionizantes según su origen. Así, por un lado tenemos fuentes que generan exposiciones como consecuencia de una determinada actividad profesional, entre las que podemos incluir las debidas a exámenes o tratamientos médicos, y por otro lado las fuentes de origen natural.

En los siguientes apartados se enumeran los diferentes orígenes de exposición a radiaciones ionizantes.

2.1. EXPOSICIÓN A FUENTES NATURALES

La vida en la tierra implica inevitablemente una exposición a fuentes naturales de radiaciones ionizantes y la mayor parte de exposición que recibimos proviene de dichas fuentes. Se pueden diferenciar varios orígenes de radiaciones de carácter natural:

- **Radiaciones Cósmicas:** Radiaciones procedentes del espacio externo. La exposición aumenta al aumentar la altura respecto al nivel del mar. La exposición puede presentar incrementos significativos por la utilización frecuente de aeronaves.
- **Radiación terrestre (suelo y edificios):** Los materiales que constituyen los suelos contienen pequeñas proporciones de isótopos radiactivos (isótopos de un mismo elemento químico significa elementos con igual número de protones y distinto de neutrones, que presentan propiedades diferentes). Los materiales de construcción de los edificios, hechos a partir de materia extraída

del propio suelo, pueden incrementar la emisión de gases radiactivos, como por ejemplo el radón.

- **Aire:** El aire es naturalmente radiactivo por la presencia de gases como el Radón o el Torón, formados a partir de la desintegración del Uranio y el Torio distribuidos de forma natural por la corteza terrestre.
- **Comida y bebida:** Los materiales radiactivos presentes en el suelo en muy pequeña proporción son absorbidos por plantas y animales que acaban formando parte de nuestra alimentación.

Se ha de destacar que casi el 90% de la dosis total recibida por la población, proviene de fuentes naturales. Estos valores pueden variar notablemente dependiendo de las zonas geográficas que se estudien.

2.2. EXPOSICIÓN A FUENTES ARTIFICIALES

Una de las clasificaciones más utilizada es la siguiente:

- **Usos médicos:** De los más de 100.000 trabajadores controlados dosimétricamente en España, cerca del 80% realizan su trabajo en instalaciones médicas.

  Radiodiagnóstico: En el campo del diagóstico, los Rayos X inciden sobre un sistema de imagen, analógico o digital, tras atravesar el cuerpo, produciendo una imagen diagnóstica de los órganos internos. Destacan las instalaciones de radiología básica, para la realización de las radiografías más comunes, centros de radiología especializada propia de los grandes hospitales que pueden contar con equipos de radiología intervencionista, mamografías, TAC, equipos radiográficos portátiles en los servicios de urgencia, centros odontológicos que utilizan pequeños equipos, etc.

  Radioterapia: Tratamiento de enfermedades mediante la utilización de la capacidad destructiva de las radiaciones sobre las células tumorales, aprovechando la mayor radiosensibilidad de éstas, administrándola en dosis adecuadas para destruirlas.

  Medicina Nuclear: Utiliza radiotrazadores o radiofármacos, que se aplican dentro del organismo humano por diversas vías (la más utilizada es la vía intravenosa). Una vez que el radiofármaco está dentro del organismo, se distribuye por diversos órganos dependiendo del tipo empleado. La distribución de éste es localizado por un aparato detector de radiación llamado gammacámara y almacenado digitalmente. Luego se procesa la información obteniendo imágenes de todo el cuerpo o del órgano en estudio. Estas imágenes, a diferencia de la mayoría de las obtenidas en radiología, son imágenes funcionales y moleculares, es decir,

muestran como están funcionando los órganos y tejidos explorados o revelan alteraciones de los mismos a un nivel molecular.

- **Usos industriales.** Especialmente el uso de radiaciones ionizantes en el sector industrial está relacionado con el control de procesos, medidas de espesores, control de fugas, medidas de compactación y humedad del suelo, así como en algunos casos para la esterilización y conservación.

  La operación de plantas nucleares de generación de energía eléctrica o de plantas de extracción, almacenamiento y procesamiento del combustible utilizado en los reactores también implica actividades que suponen un aumento en la exposición a radiaciones ionizantes para el personal de dichas instalaciones. En funcionamiento normal, la contribución de estas prácticas a la dosis que recibe la población en general es mínima.

- **Investigación.** Las actividades de investigación que puedan utilizar isótopos radiactivos como marcadores, control de procesos, Rayos X, etc., generalmente implican a personas en formación o estudiantes que deben ser protegidos convenientemente.

Conviene diferenciar claramente las exposiciones derivadas de **irradiaciones externas** de las derivadas de **contaminación radiactiva**. En el primer caso, el individuo está sometido a un campo de radiación originado por fuentes exteriores a él con las que no tiene contacto directo. La irradiación externa cesa cuando el individuo expuesto se retira del campo de radiación. En el segundo caso, el individuo entra en contacto con la propia fuente radiactiva, pudiendo ésta quedar adherida de forma superficial al cuerpo en forma de partícula radiactiva o penetrar en el organismo por inhalación (respiración en ambiente contaminado), ingestión de alimentos u otros objetos, o a través de la piel/heridas. La exposición no cesa hasta que se haya eliminado la fuente contaminante del cuerpo.

3. EFECTOS BIOLÓGICOS

Como ya se ha visto en los anteriores puntos, la capacidad de estas radiaciones para ionizar los átomos o moléculas origina cambios físico-químicos en el material biológico. Pueden perturbar el funcionamiento de células, tejidos y órganos e incluso del organismo entero, provocando lesiones y enfermedades que pueden manifestarse de forma inmediata o con un cierto periodo de latencia (horas, días, meses o años).

En este nivel se pueden distinguir dos tipos de acción:

- La **acción directa**, en la que la radiación incidente provoca la rotura de un enlace, dañando o rompiendo una molécula. Cabe destacar que dicha molécula puede ser el ADN del núcleo de una célula.
- La **acción indirecta** en la que la radiación provoca roturas en las moléculas de agua, tan común en nuestro organismo, creando radicales libres altamente reactivos y con capacidad para oxidar y reducir otras moléculas creando nuevas sustancias que pueden ser tóxicas para la célula. Por ejemplo en caso de reaccionar con oxígeno producirá peróxido, altamente tóxico.

Efecto determinista de la radiación

Hay que destacar que nuestro organismo dispone de una importante capacidad de reparación de las estructuras dañadas por la radiación a nivel molecular, aunque esta capacidad no es ilimitada y dependerá de la importancia del daño causado por dicha radiación. También hay que considerar que en ocasiones el daño puede persistir pero afectar a células o tejidos cuya función puede ser realizada por otras células o tejidos del mismo tipo. Del número y tipo de células que expresen un daño celular dependerá que en el tejido se ponga de manifiesto la lesión radioinducida.

Existen tres tipos de respuesta de las células afectadas por una exposición a radiaciones ionizantes:

Muerte de la célula, mutación o parada del ciclo celular en el que queda limitado el número de divisiones que se realizan a partir de una célula o retraso en la división durante determinado periodo de tiempo.

También existen diferencias en la sensibilidad de los diferentes tipos de células a la radiación. Por ejemplo las más radiosensibles son las células indiferenciadas o , inmaduras o con ciclos de reproducción más largos: germinales de la médula ósea, de la mucosa intestinal, las espermatogonias... Las más radioresistentes son las células más diferenciadas como: las musculares, las de los tejidos conectivos, cartílagos, neuronas, glóbulos rojos, etc.

3.1. TIPOS DE EFECTOS BIOLÓGICOS

3.1.2. Efectos deterministas

Son aquellos que aparecen como consecuencia de elevadas exposiciones a radiación y que resultan en daños a un número importante de células. Existe una dosis umbral por debajo de la cual no se producirán dichos efectos.

Los efectos deterministas son siempre somáticos, esto es, se manifiestan en el individuo que ha recibido la radiación.

DOSIS Y EFECTOS BIOLÓGICOS AGUDOS DE LA IRRADIACIÓN

Se mencionan las dosis elevadas recibidas de una sola vez y los efectos biológicos que producirían, además de dosis habituales a efectos de comparación.

- Dosis equivalente de **0,1 mSv** se reciben por una radiografía torácica.
- Dosis de **0,4 mSv** se reciben durante un año a nivel del mar de radiación cósmica.
- Dosis de **0,25 Sv** originan alteraciones hematológicas.
- Dosis de **1 Sv** originan náuseas, vómitos, diarrea con posterior fiebre, úlceras en garganta y boca, pérdida de cabello y hemorragias.
- Dosis de **3 Sv** originan náuseas, vómitos y fatiga el primer día, con un 20% de muertes aproximadamente en el primer mes, recuperándose el resto en un plazo de tres meses.
- Dosis de **6 a 10 Sv**. Edema cerebral y muerte en uno o dos días. Si se sobrevive, la recuperación es muy lenta.

3.1.2. Efectos probabilísticos o estocásticos

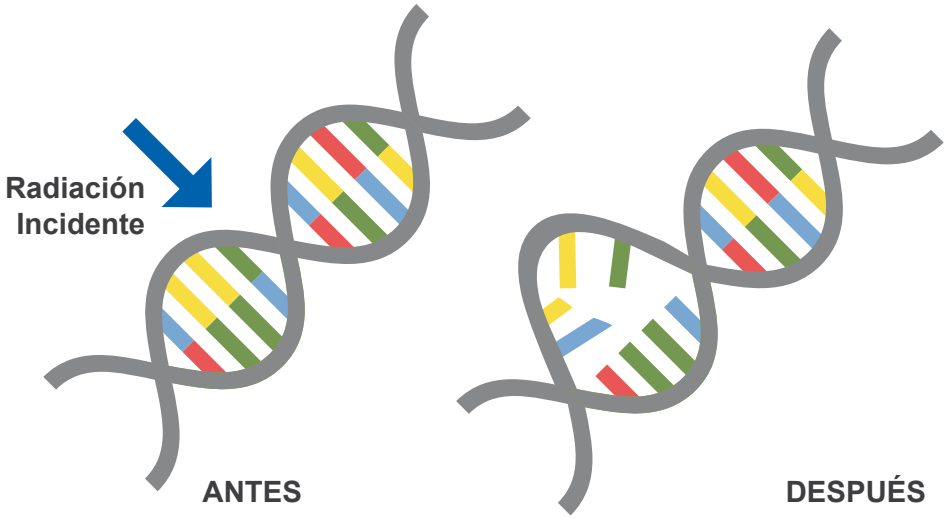
Son aquellos que se caracterizan por el hecho de que la probabilidad de que ocurra un determinado efecto depende de la dosis de radiación. A mayor dosis, mayor probabilidad del efecto, pero dosis bajas no garantizan que dicho efecto no vaya a ocurrir. Caso de que ocurra el efecto indeseado, la gravedad del mismo no depende de la dosis recibida, sino de otros aspectos tales como el tipo de radiación, la localización de células y las características del individuo expuesto.

Asimismo, los efectos biológicos estocásticos pueden ser somáticos o hereditarios. El efecto radiobiológico estocástico más comúnmente estudiado en seres humanos es la aparición de tumores y cánceres.

Cualquier tipo de cáncer puede estar asociado a la radiación, y éste es indistinguible de los que pueden aparecer de forma espontánea o causados por otros agentes. El periodo de latencia, tiempo que transcurre desde la exposición a la radiación y la aparición del tumor, siempre será largo y variable (de varios años).

En el caso de producirse efectos biológicos hereditarios, las radiaciones ionizantes producen un daño genético que, la descendencia del individuo irradiado, puede heredar en forma de mutaciones.

En general, para niveles bajos de dosis, es muy difícil extraer resultados concluyentes de los estudios de efectos no deterministas de las radiaciones ionizantes para establecer niveles seguros. Con este fin, se acostumbra a realizar extrapolaciones de los datos obtenidos en estudios de elevadas exposiciones a radiación. Por ejemplo, la gran mayoría de estudios se han realizado a partir de las consecuencias de la explosión de bombas atómicas en Japón durante la 2ª Guerra Mundial, experimentos con armas nucleares y catástrofes como la explosión de la central nuclear de Chernobil (Ucrania).



4. DETECCIÓN Y MEDIDA DE LAS RADIACIONES

4.1. MAGNITUDES ASOCIADAS A LA MEDIDA DE LAS RADIACIONES:

4.1.1. Magnitudes de Protección

Actividad

Es una magnitud que caracteriza las fuentes origen de radiación ionizante. La actividad de determinada muestra será el número de desintegraciones por segundo que se producen en dicha muestra. Por lo tanto esta magnitud está directamente relacionada con el número de partículas que son emitidas.

$$A = \frac{dN}{dt}$$

La unidad es el Becquerel (Bq)

$$1\ Bq = 1s^{-1}$$

Otra unidad de actividad, utilizada con frecuencia para caracterizar fuentes radiactivas, es el Curie (Ci)

$$\mathbf{1\ Ci} = 3{,}7 \cdot 10^{10} \mathrm{Bq}$$

La actividad de una muestra radiactiva es un parámetro determinante de su grado de peligrosidad. La clasificación de residuos, fuentes, etc. viene establecida fundamentalmente por su actividad, además de por la naturaleza del isótopo que contiene.

- **Dosis absorbida** Esta magnitud se utiliza para valorar la energía absorbida por un material de masa m, a causa de la radiación ionizante.

  Se define como el cociente entre la energía media (dE) impartida por la radiación en un material con una determinada masa (dm).

$$\mathbf{D} = \frac{dE}{dm}$$

  La unidad de medida en el sistema internacional es el Gray (Gy)

$$\mathbf{1Gy} = 1 \mathrm{J/kg}$$

- **Dosis equivalente:** Se ha comprobado que el efecto biológico de la radiación sobre un tejido orgánico no viene solamente determinado por la dosis absorbida, además intervienen otros factores tales como la naturaleza de la radiación

  La magnitud que tiene en cuenta los anteriores conceptos se denomina dosis equivalente y se define como:

$$\mathbf{H} = w_R D$$

  Dónde H es la dosis equivalente, D es la dosis absorbida y w_R es el factor de calidad, una constante adimensional que pondera cualquier dosis absorbida de acuerdo a la efectividad biológica que produce la radiación. La tabla siguiente muestra los valores internacionalmente acordados.

TIPO DE RADIACIÓN		FACTOR DE PONDERACIÓN W_R
Fotones		1
Electrones y positrones (radiación beta)		1
Neutrones	E<10 keV	5
	10<E<100 keV	10
	0,1<E<2 MeV	20
	2<E<20 MeV	10
	E>20 Mev	5
Protones		5
Partículas alfa, fragmentos de fisión		20

La unidad de medida de la dosis equivalente en el sistema internacional es el Sievert (Sv). Frecuentemente se utiliza un submúltiplo de dicha unidad, el mSv. Otra unidad utilizada antiguamente en Europa y que todavía persiste en EE.UU. es el rem.

1 Sv = 1000mSv = 100 rems

- **Dosis efectiva** Debido a que cada órgano presenta una susceptibilidad característica a las radiaciones ionizantes, se realiza una suma ponderada de las dosis equivalentes en todos los tejidos u órganos del cuerpo. El factor de ponderación (w_T)para cada órgano da cuenta de la radiosensibilidad de éste.

$$E = \sum_{T} w_T H$$

La unidad de medida de la dosis efectiva en el sistema internacional es el Sievert (Sv). Frecuentemente se utiliza un submúltiplo de dicha unidad, el mSv.

Los factores de ponderación de los tejidos, w_T, internacionalmente acordados, son:

TEJIDO U ÓRGANO	FACTOR DE PONDERACIÓN:
Gónadas	0,20
Médula ósea (roja)	0,12
Colon	0,12
Pulmón	0,12
Estómago	0,12
Vejiga	0,05
Mama	0,05
Hígado	0,05
Esófago	0,05
Tiroides	0,05
Piel	0,01
Superficie de los huesos	0,01
Resto del organismo	0,05

Valores en base a lo indicado en el actual Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (Real Decreto 783/2001), pero que resultarán parcialmente modificados con la trasposición de la Directiva EURATON 59/2013

Esta magnitud de protección permite establecer límites a la exposición de las personas, pero dado que en la práctica no se puede evaluar experimentalmente, se introducen las denominadas magnitudes operacionales.

4.1.2. Magnitudes operacionales

- **Dosis equivalente profunda Hp(10):** Dosis equivalente en tejido blando a una profundidad de 10 mm. Se puede relacionar con la dosis efectiva en el caso de considerar una exposición uniforme y homogénea de todo el cuerpo.

- **Dosis equivalente superficial Hp(0,07):** Dosis equivalente en tejido blando a una profundidad de 0,07 mm. Se puede relacionar con la dosis equivalente en la piel.

La importancia de estas magnitudes radica en que se pueden evaluar experimentalmente. Así pues, a partir de los valores que se obtienen de dosis equivalente profunda y dosis equivalente superficial, y que figuran por ejemplo en los informes de dosimetría que recibe el personal expuesto a radiaciones, se pueden obtener valores de dosis efectivas y dosis equivalentes (magnitudes de protección).

Gracias a la relación que existe entre estas magnitudes operacionales y las de protección, para las que como se ha dicho están establecidos los límites de exposición, se puede realizar el necesario control radiológico del personal expuesto a radiaciones. Dicho control se fundamenta en la estimación de las dosis efectiva y equivalente que el personal recibe y la comparación de los valores obtenidos con los límites de seguridad establecidos legalmente, por consenso internacional.

- **Dosis colectiva:** Está definida como la suma de las dosis individuales de un colectivo determinado. Es uno de los parámetros que se trata de minimizar cuando se optimizan los procedimientos y medios de protección radiológica.

4.2. DISPOSITIVOS PARA LA MEDIDA DE RADIACIÓN IONIZANTE

En este apartado se hace una relación no exhaustiva de los dispositivos más comúnmente utilizados para detectar y medir radiaciones ionizantes o posibles contaminaciones, superficiales o incorporadas por el organismo.

- **Detectores de ionización gaseosa:**

Los equipos basados en detectores de ionización gaseosa son los utilizados más frecuentemente para la detección y medida de radiaciones ionizantes.

Están basados en un recinto que confina un volumen ocupado por un gas, en el que están dispuestos dos electrodos conductores entre los que se crea una diferencia de potencial

En presencia de radiación existirá una ionización en el gas del recinto y las cargas generadas se moverán a los electrodos polarizados, dando lugar a una corriente eléctrica que es detectada por el circuito electrónico asociado a la cámara de ionización.

En función de la presión y tipo de gas, de la configuración geométrica, el material con que esté hecha la pared de la cámara y de la tensión de polarización entre los electrodos, se adapta el dispositivo a las necesidades de medición (tipo de radiación, energía, magnitud). Como resultado tenemos distintos equipos de medición: cámara de ionización, contador proporcional, contador Geiger, (según la tensión aplicada), o de contaminación con distintos tipos y tamaños de ventana, entre otros.

- **Detectores de semiconductor:**
  El material detector que interacciona con la radiación es un semiconductor sólido, por ejemplo un cristal de silicio.

  Algunos de los dosímetros electrónicos cuentan con detectores semiconductores. Dichos dosímetros permiten visualizar en todo momento, a través de una pantalla, la lectura de la dosis que se está recibiendo, al tiempo que va acumulando la lectura de la dosis total acumulada.

  Los detectores semiconductores se utilizan también en sistema de espectrometría tanto gamma como alfa

- **Detectores de centelleo:**

La energía cedida en un medio por la radiación es absorbida por un material específico, que cede a su vez esta energía que ha absorbido en forma de luz (radiación electromagnética), en otra longitud de onda.

La luz que es emitida por el material de centelleo es amplificada por el tubo fotomultiplicador y transformada en una señal eléctrica. Dicha señal, que se mide mediante los dispositivos electrónicos más adecuados, estará relacionada con la cantidad de radiación incidente.

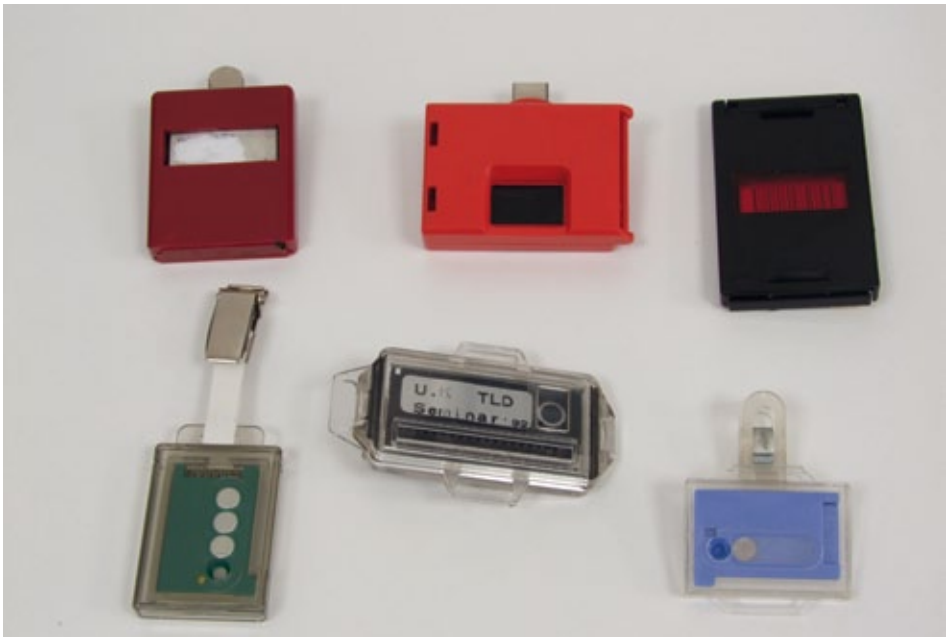
En función del tipo y la calidad de la radiación que se quiera valorar se seleccionarán los materiales de centelleo, los recubrimientos del sistema óptico y los parámetros eléctricos del dispositivo más adecuados.

- **Detectores de termoluminiscencia:**

En esta propiedad están basados la gran mayoría de los dosímetros utilizados por los trabajadores expuestos a radiaciones.

Se basa en un fenómeno característico de ciertas sustancias que, conteniendo dopajes adecuados y por la acción de radiaciones ionizantes, producen una excitación en los electrones del medio, manteniéndose estos en ese estado hasta que externamente se provoca una desexcitación, que implica la emisión de luz visible. Dicha desexcitación se provoca calentando el material termoluminiscente. La cantidad de luz emitida por un material termoluminiscente está directamente relacionada con la cantidad de radiación absorbida por dicho material.

En los dosímetros termoluminiscentes se suelen colocar entre dos y cuatro elementos de material termoluminiscente, además de disponer del necesario encapsulamiento y carcasa de protección. También acostumbran a incorporar unos filtros para discernir la naturaleza y energía de la radiación recibida.



Se utilizan normalmente durante periodos de un mes, transcurrido el cual son enviados a un servicio de dosimetría autorizado para que, tras la lectura del dosímetro, se obtengan los datos de dosis relativos a éste. Posteriormente, los resultados son enviados a sus respectivos usuarios.

Se pueden encontrar otros tipos de dosímetros personales, dispositivos basados en películas fotográficas o pequeñas cámaras de ionización.

5. NORMATIVA RELATIVA A LAS RADIACIONES IONIZANTES

5.1. ASPECTOS GENÉRICOS DE LA LEGISLACIÓN EN MATERIA PREVENTIVA

La finalidad de la legislación en materia de Prevención de Riesgos Laborales es proporcionar a los trabajadores una protección adecuada frente a los peligros que puedan amenazar su salud y su seguridad en los puestos de trabajo.

La **Ley 31/1995**, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, constituye actualmente un texto de obligada referencia. De su exposición de motivos destacamos que:

- Se propone fomentar una auténtica cultura promoviendo la mejora de la educación.
- Se configura como referencia legal mínima en el desarrollo reglamentario y en la negociación colectiva.

La regulación de las distintas materias tratadas para garantizar la Seguridad y Salud de los trabajadores es desarrollada a través de las diferentes Normas Reglamentarias.

El **R.D. 39/1997**, de 17 de enero, por el que aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención regula los procedimientos de evaluación de los riesgos para la salud de los trabajadores, las modalidades de organización, el funcionamiento y control de los servicios de prevención, así como las capacidades y aptitudes que han de reunir dichos servicios y los trabajadores designados para desarrollar la actividad preventiva.

Entre la normativa de ámbito general relacionada con las radiaciones ionizantes, cabe citar la **Ley 25/64,**de 29 de abril, sobre Energía Nuclear, la Ley **15/1980**, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear y la Ley **14/1999**, de 4 de mayo, de Tasas y Precios Públicos por servicios prestados por el Consejo de Seguridad Nuclear. Este organismo tiene todas las competencias en España en materia de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica, entre las cuales cabe destacar:

- Proponer al gobierno reglamentación en materia de protección radiológica.
- Emitir informes, previos a la concesión por parte de las autoridades, de autorizaciones para las instalaciones radiactivas, transportes de sustancias radiactivas, fabricación y homologación de equipos que incorporen fuentes radiactivas, empresas de asistencia técnica y venta de equipos e instalaciones de Rayos X.
- Inspeccionar las instalaciones radiactivas durante su funcionamiento, proponiendo la apertura de expedientes sancionadores en caso que se considere procedente.
- Controlar las medidas de protección radiológica de los trabajadores expuestos, del público y del medio ambiente.
- Conceder autorización a entidades que prestan su servicio en el campo de la protección radiológica, UTPR, SPR, Servicios de dosimetría.
- Conceder y renovar licencias para el personal de supervisión y operación de las instalaciones radiactivas.

- Asesorar y promover investigaciones y comunicaciones al público en general, sobre las materias de su competencia.
- Comparecer ante las Cortes para presentar los correspondientes informes sobre su actuación.

En algunas comunidades autónomas existen organismos que, con la encomienda del CSN, realizan alguna de las funciones de éste. Sería el caso del '**Servei de Coordinació d'Activitats Radioactives'** en Catalunya o del **'Servicio de Instalaciones Radiactivas en el País Vasco'**, por ejemplo.

5.2. LEGISLACIÓN RELACIONADA CON LAS INSTALACIONES RADIACTIVAS

El **Real Decreto 1836/1999**, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, donde se establece con carácter general cuáles deben ser los requisitos exigibles a las instalaciones radiactivas (y las nucleares), así como las que quedan exentas de dicha calificación. Las citadas exenciones siguen los siguientes condicionantes:

- Diferencia de potencial máxima del tubo productor de Rayos X menor de 5 kV.
- Tubos de rayos catódicos destinados a proporcionar imágenes visuales que pueda funcionar con una diferencia de potencial no superior a 30 kV, siempre que no presente una tasa de dosis superior a 1 μSv/h a 10 cm de la superficie accesible del aparato.
- Por la actividad de la fuente radiactiva utilizada, estableciendo unos valores límites de actividad para cada radioisótopo según lo indicado en la Tabla A del Anexo I del citado Real Decreto.
- Existen equipos o instalaciones que superan las anteriores limitaciones pero que, sin embargo, quedan exceptuados previa petición del fabricante/proveedor y posterior resolución de la Dirección General de Energía de acuerdo con lo previsto en el Anexo II del citado Real Decreto.

Toda instalación radiactiva debe presentar a la Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital o al organismo de la Comunidad Autónoma con competencias transferidas, una solicitud de autorización de funcionamiento, junto con la correspondiente documentación acreditativa. Dicho Ministerio concederá la autorización (si lo considera conveniente) previo informe preceptivo del CSN, y la puesta en marcha efectiva no se podrá realizar hasta recibir la mencionada autorización del Ministerio. Toda instalación queda inscrita en el "Registro de instalaciones radiactivas". En la autorización figura la siguiente información:

- Titular de la práctica: Persona física o jurídica que tiene la responsabilidad y la autoridad sobre el ejercicio de prácticas o actividades laborales con riesgo por radiaciones ionizantes.
- Actividades que faculta a realizar la autorización concedida.
- Localización de la instalación, características constructivas y de emplazamiento. Justificación de las fuentes empleadas
- Estudio de seguridad. Evaluación y análisis de los riesgos que la instalación pueda comportar, durante el normal funcionamiento o por las circunstancias accidentales que pudieran producirse.
- Verificación de la instalación. Procedimientos que se deberán llevar a cabo para confirmar el normal funcionamiento o detectar anomalías. La periodicidad de las distintas actuaciones de control quedará concretada en este apartado, ya que la legislación no impone para estas instalaciones una periodicidad única y obligatoria.
- Procedimientos de trabajo y reglas de operación.
- Forma en que se realizará la gestión de los residuos radiactivos que se puedan generar. En general será ENRESA, la empresa que gestione los residuos, o la empresa que suministra las fuentes radiactivas la que se lleve las que se encuentren fuera de uso.
- Supervisores y operadores necesarios en la instalación para el correcto funcionamiento de ésta.
- Plan de emergencia interior. El plan de emergencia global puede detallar las medidas previstas para hacer frente a accidentes en la instalación radiactiva, o las actuaciones a realizar en caso que éstas se produzcan.
- Se requiere también de una declaración con las previsiones para la clausura. Se indicará el procedimiento que se seguirá cuando cese la actividad en dicha instalación (informe técnico de la clausura) y la previsión sobre la repercusión económica (informe económico).

Además, las instalaciones radiactivas de 1ª categoría deberán contar con un seguro para la cobertura de riesgos. En el Reglamento se establece un criterio de clasificación de instalaciones radiactivas: 1ª, 2ª, y 3ª categoría (ordenadas de mayor a menor riesgo potencial). Las dos últimas son las más frecuentes.

Las instalaciones radiactivas deben mantener un diario de operaciones como documento básico para el registro de todas las incidencias relativas a la instalación: Entradas y salidas de material radiactivo, de material móvil, cambios en los procedimientos de trabajo, cambios de personal, revisiones y verificaciones de los equipos, licencias del personal, vigilancia de la salud.

La figura básica con responsabilidades en lo que concierne a la seguridad y buen funcionamiento de las instalaciones/actividades productoras de radiación ionizante, es la del **supervisor de instalaciones radiactivas**.

La licencia de supervisor autoriza a dirigir el funcionamiento de instalaciones radiactivas, siendo éste el responsable directo de la seguridad durante su funcionamiento. La licencia de operador de instalaciones radiactivas es necesaria para operar y manipular en la instalación los equipos o fuentes productoras de radiaciones ionizantes.

Las Unidades Técnicas de Protección Radiológica (UTPR) son las entidades expresamente autorizadas por el CSN para desempeñar las funciones y actividades técnicas establecidas en los Reglamentos. Las certificaciones, verificación y control de la radiación emitida por los equipos en sus respectivas instalaciones y propuestas de corrección y mejora (cuando las haya) serán normalmente realizados por una UTPR. En el caso de instalaciones importantes, el Consejo de Seguridad Nuclear podrá requerir que se constituya un Servicio de Protección Radiológico (SPR) propio, para desempeñar estas mismas funciones.

Las instalaciones de Rayos X con fines de diagnóstico médico, cuentan con una reglamentación específica aprobada por el **Real Decreto 1085/2009**, de 3 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalación y utilización de aparatos de Rayos X con fines de diagnóstico médico. Éstas están exentas de la mayoría de los puntos señalados anteriormente para instalaciones radiactivas. En este caso bastará con una declaración

y registro de los equipos e instalaciones, sin ser necesario un pronunciamiento positivo por parte del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. Para realizar dicho registro deben contar con:

- Declaración sobre las previsiones de uso.
- Certificado de conformidad de los equipos para su registro, emitido por una empresa de Venta y Asistencia Técnica (EVAT).
- Certificado expedido por una UTPR o el SPR, asegurando la conformidad del proyecto con las especificaciones técnicas aplicables.

Las instalaciones de Rayos X de diagnóstico médico serán dirigidas por un médico, odontólogo o veterinario. Para realizar dicha función se deberán acreditar conocimientos en materia de protección radiológica mediante la realización del curso homologado por el CSN específicamente para este colectivo.

Será competencia del SPR o de una UTPR, en el ámbito de las instalaciones de Rayos X, llevar a cabo las siguientes actuaciones:

- La realización de medidas de niveles de radiación y controles de calidad de la instalación, con la emisión de los correspondientes informes y certificados.
- La propuesta de clasificación de zonas basadas en las medidas de los niveles de radiación de las diferentes zonas del recinto .
- Indicar las características adecuadas del blindaje del recinto que alberga el equipo emisor.
- La implantación del programa de garantía de calidad en radiodiagnóstico establecido por el R.D. 1976/1999 (establece criterios y controles necesarios para garantizar la mínima irradiación de pacientes y personal en las instalaciones).
- La investigación de posibles accidentes en coordinación con la autoridad inspectora.

Cabe añadir que el **R.D. 1085/2009**, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico médico, indica que anualmente, y siempre que se modifiquen las condiciones habituales de trabajo, se realizará la vigilancia de los niveles de radiación.

El **Real Decreto 413/1997**, de 21 de marzo, sobre protección operacional de los trabajadores externos con riesgo de exposición a radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada rige la actividad de las llamadas Empresas Externas que se pueden definir como personas físicas o jurídicas distintas del titular de la instalación que hayan de efectuar actividades de cualquier tipo en una zona controlada de una instalación

nuclear o radiactiva. Las empresas externas estarán inscritas en el Registro de Empresas Externas que mantiene el CSN.

El personal de plantilla de una empresa externa, que realiza su actividad laboral en la zona controlada de una o varias instalaciones de forma temporal, deberá haber recibido formación, utilizar un dosímetro y mantener un carné radiológico actualizado con los resultados de las lecturas dosimétricas obtenidas en cada instalación en la que haya estado, de acuerdo a la instrucción del CSN de 31 de mayo nº IS-01.

5.3. LEGISLACIÓN RELACIONADA CON LA RADIOPROTECCIÓN

5.3.1. Aspectos generales

La radioprotección se ocupa de la protección de los individuos que trabajan con radiaciones, del público en general y del medio contra los riesgos derivados de las radiaciones ionizantes y la energía nuclear. El actual marco legal sobre el que se sustenta es el **Real Decreto 783/2001**, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes y recoge las Recomendaciones de 1990 de la ICRP (Comisión Internacional de Protección Radiológica) en su publicación ICRP-60 de 1990.

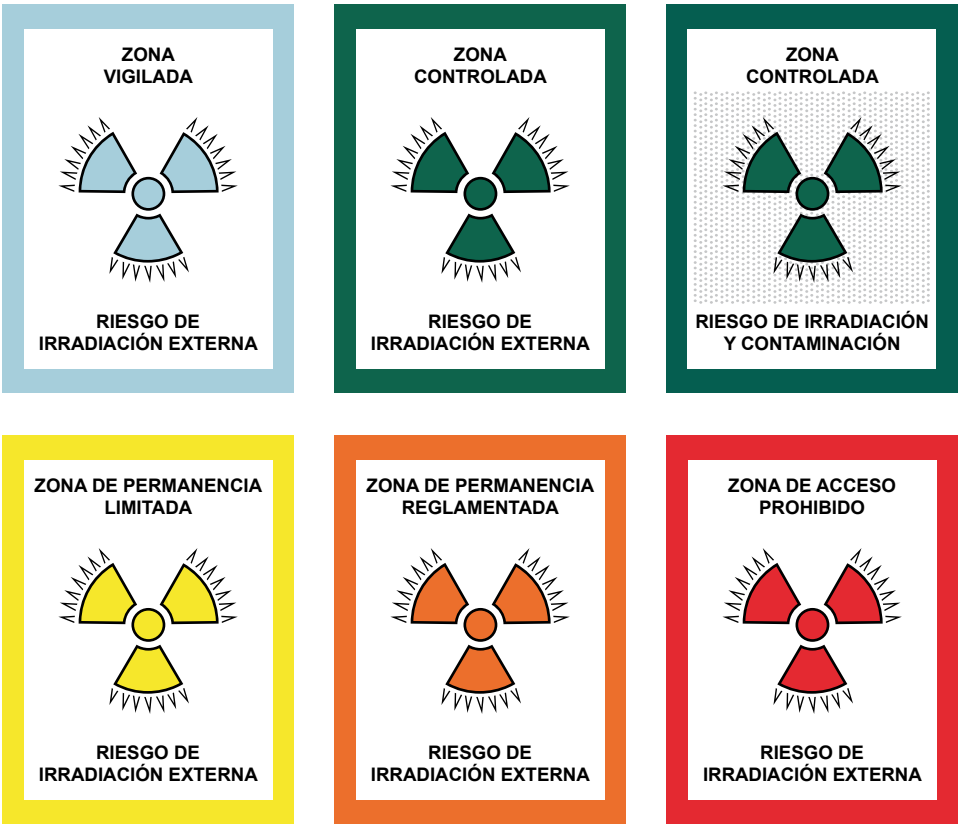
Se distinguen dos tipos de actividades relacionadas con las radiaciones ionizantes:

- **Prácticas:** Se definen como aquellas actividades humanas que aumentan la exposición total de las personas a la radiación. Por tanto en este grupo están ubicadas la casi totalidad de las actividades de los trabajadores expuestos a radiaciones.
- **Intervenciones:** Aquellas actividades realizadas para disminuir la exposición a causa de accidentes, mal funcionamiento de las instalaciones o actividades de mantenimiento.

No se realizarán prácticas o usos de las radiaciones ionizantes cuando el beneficio que se obtenga de la irradiación no compense el detrimento para la salud que cause la radiación. Además, para que el uso de radiaciones ionizantes esté justificado, no habrá de existir otra alternativa o cuando existiendo, ésta implique más inconvenientes que el que aporta el uso de radiaciones.

5.3.2. Clasificación de zonas y señalización

La clasificación de zonas y la correspondiente señalización es una responsabilidad del titular de la práctica, que se realiza teniendo en cuenta el informe realizado por el SPR o UTPR, de acuerdo a los niveles de radiación medidos en cada una de las zonas en las que se pueda superar la dosis de 1 mSv anual. Para realizar dicha clasificación se deben tener en cuenta potenciales exposiciones.



Señales utilizadas en las zonas donde los trabajadores pueden recibir dosis superiores a los valores límite establecidos para el público.

5.3.3. Clasificación del personal

También es responsabilidad del titular de la práctica la clasificación del personal profesionalmente expuesto a radiaciones en dos categoría A y B, de acuerdo a las condiciones en que desarrolla su trabajo y a las dosis que pueden recibir con ocasión de éste. Se realiza de forma análoga a la de clasificación de zonas.

Para los trabajadores de categoría A con riesgo de exposición externa será obligatorio el uso de dosímetro personal durante la jornada laboral, con el fin de estimar la dosis recibida por motivo de su trabajo.

Para los trabajadores de categoría B no es obligatorio el uso de dosímetro personal, siempre que se realice una estimación de la dosis recibida a partir de la vigilancia efectuada en el ambiente de trabajo, ya sea mediante una medición continua de los niveles de radiación ambiental o bien por medio de medidas puntuales y su correspondiente extrapolación a la totalidad del periodo a controlar. Dicho control se suele realizar mediante la denominada dosimetría de área, utilizando un dosímetro termoluminiscente u otro monitor de radiación. En cualquier caso la ubicación del dispositivo siempre será adecuadamente representativa de las ubicaciones de los trabajadores para estimar correctamente la dosis que reciben.

En general, el personal que trabaja en una instalación de radiodiagnóstico y que opera el equipo desde un puesto aislado y protegido respecto a la sala donde está instalado éste, podría ser clasificado de categoría B si la carga de trabajo así lo justifica. No obstante, el control de dosis se suele realizar mediante dosímetro personal al alcanzar mejor representatividad en las dosis asignadas a cada usuario y cubrir las eventuales prácticas intervencionistas del personal.

Las dosis que reciben los trabajadores expuestos se determinan con periodicidad mensual. La interpretación de dichos resultados desde el punto de vista sanitario corresponde al Servicio de Prevención que desarrolle la función de vigilancia de la salud. De acuerdo a lo indicado por el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, toda persona que vaya a ser clasificada de categoría A, debe ser sometida un examen de salud previo a fin de decidir su aptitud para el trabajo, además de exámenes de salud periódicos que se realizarán al menos cada 12 meses.

5.3.4. Límites de dosis

TABLA DE LÍMITES DE DOSIS			
	Dosis Efectiva anual (mSv)	**Dosis Equivalente anual en cristalino (mSv)**	**Dosis Equivalente anual en piel y extremidades (mSv)**
Trabajador Expuesto	100 en 5 años(*) 50 máximo anual	150	500
Miembros del público	1	15	50
Estudiante / persona en formación de 16 a 18 años	6	50	150
Estudiante / persona en formación mayor de 18 años	100 en 5 años	150	500

(*) Equivale a un límite operacional de 20 mSv/año, pero se permite que pueda llegar a 50 mSv un año siempre que acabe promediando los 100 mSv en 5 años.

El control de la exposición de los individuos se realiza de forma que se pueda garantizar que ni ellos ni su descendencia se vean afectados por un riesgo inaceptable. Esta garantía se consigue imponiendo unos límites para las dosis máximas que puedan recibir. Todos los sistemas de protección estarán diseñados para que dichos límites no puedan ser rebasados. Los límites publicados por ICRP-60 son la referencia internacional utilizada en el actual Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (antes de Febrero del 2018 dicho Reglamento habrá sido modificado parcialmente, en base a la trasposición de la Directiva EURATOM 2013/59, con la modificación parcial de los límites establecidos en la ICRP-103)

CLASIFICACIÓN DE TRABAJADORES EXPUESTOS			
Trabajador Expuesto	**Dosis Efectiva anual (mSv)**	**Dosis Equivalente anual en cristalino (mSv)**	**Dosis Equivalente anual en piel y extremidades (mSv)**
Categoría A	> 6 mSv	> 45	> 150
Categoría B	< 6 mSv	< 45	< 150

CLASIFICACIÓN DE ZONAS CON RIESGO RADIOLÓGICO		
Clasificación	**Dosis anual**	**Señalización**
Zona Vigilada	Límites público < *Dosis anual* < 6 mSv/año y < 3/10 de los límites del TE para cristalino, piel y extremidades	Trébol Gris azulado
Zona Controlada	6 mSv/año y < 3/10 de los límites del TE para cristalino, piel y extremidades < *Dosis anual* < Límites del TE	Trébol verde
Zona de Permanencia Limitada	> Límites del TE trabajando en la zona todo el año	Trébol amarillo
Zona de Permanencia Reglamentada	> Límites del TE en unas cuantas entradas a la zona	Trébol naranja
Zona de Acceso Prohibido	> Límites del TE con una única entrada en la zona	Trébol rojo

Las desigualdades deben interpretarse como probabilidades de llegar (<) o superar (>) los valores que les siguen.

En el caso de intervenciones no existen límites específicos de dosis para los trabajadores expuestos, si bien se tratará de que sean lo más bajas posible y se justifiquen por evitar males mayores. Un ejemplo claro sería el caso de la intervención en el accidente de una central nuclear, con objeto de evitar elevadas irradiaciones a colectivos numerosos.

Los registros de dosis de los trabajadores expuestos serán guardados por el titular de la instalación hasta que los trabajadores hayan alcanzado la edad de 75 años y nunca por un periodo inferior a 30 años.

Existen actividades como la tripulación de aeronaves, mineras, establecimientos termales etc. en las que fuentes naturales de radiación pueden incrementar significativamente la exposición. En estos casos puede ser necesaria la realización de un estudio para la valoración de dicho riesgo, de acuerdo con lo indicado en el artículo 62 del RD 783/2001.

5.3.5. Formación del personal

Los trabajadores expuestos deben recibir formación e información sobre:

- Riesgos radiológicos asociados e importancia del cumplimiento de los requisitos técnicos, médicos y administrativos.
- Normas y procedimientos de protección radiológica.
- Importancia de que un embarazo o lactancia sean lo antes posible declaradas al titular, con el fin de tomar las medidas de protección necesarias. En embarazos, es importante actuar con rapidez sobre todo teniendo en cuenta que el feto es más sensible durante los primeros meses de la gestación. El feto tendrá la consideración de público no expuesto, y por tanto la dosis que reciba no puede ser superior a 1 mSv. Durante el periodo de lactancia, la mujer no debe realizar actividades que entrañen riesgo de contaminación.

6. PROTECCIÓN Y CONTROL FRENTE A LAS RADIACIONES IONIZANTES

Como regla general, las autoridades competentes y las empresas deben asegurar que el público y los trabajadores no sean sometidos a dosis de radiación que rebasen los límites establecidos en la legislación, con el fin de asegurar que no se produzcan daños de tipo determinista, y reducir el riesgo de sufrir algún daño de tipo estocástico hasta niveles similares al riesgo existente en la actividad industrial considerada más segura.

También, con carácter general, las exposiciones a las radiaciones ionizantes se regirán por el **Criterio ALARA**. Este principio se suele denominar por el acrónimo inglés "*As Low As Reasonably Achievable*" que se puede traducir como: Tan bajo como sea razonablemente posible.

Es el principio de la optimización de la protección por el que se establece que el valor de las dosis individuales y colectivas serán lo más bajas que sea factible conseguir. En relación a un uso particular de las fuentes de radiación ionizante, se establece que el valor de las dosis individuales, el número de las personas expuestas y la probabilidad de que ocurran exposiciones potenciales será lo más bajo que sea razonablemente posible, teniendo en cuenta todos los factores técnicos, económicos y sociales y sin caer en indeseadas situaciones de sobreprotección.

Por lo que se refiere a criterios y medidas de seguridad concretas en la protección frente a las radiaciones ionizantes, es conveniente actuar preventivamente en los siguientes aspectos:

- Diseño, fabricación y correcto funcionamiento de los equipos que incorporen fuentes radiactivas o generadores de radiación..
- Adecuada distribución de equipos emisores en las instalaciones, señalizando las zonas a proteger y colocando los blindajes que sean necesarios para reducir las exposiciones. En caso de que la actividad implique la producción de residuos con actividad radiactiva, el tratamiento de éstos se debe hacer de acuerdo a los procedimientos de eliminación determinados.

Se debe controlar el acceso a las zonas clasificadas, así como indicar con una señal luminosa bien visible que un equipo emisor está activado. Estas zonas nunca deben ser un lugar de tránsito o acceso a otras dependencias. Se debe controlar de forma especial la ubicación e idoneidad de cualquier pared o equipo que pueda recibir el haz directo de radiación. Dicho haz no debe incidir directamente sobre puertas, ventanas o las salas de control.

- Durante el funcionamiento: utilización de los procedimientos de trabajo adecuados con el fin de garantizar la protección de todo el personal, utilización adecuada de los equipos y disponer de las verificaciones periódicas tanto de los propios equipos productores como de las instalaciones en su conjunto y su funcionamiento.

Es necesario que el personal expuesto haga un correcto uso del dosímetro para que los resultados dosimétricos sean representativos de la dosis real recibida. Para ello, es importante el correcto posicionamiento del dosímetro (a la altura del pecho) y realizar los cambios puntualmente una vez transcurrido el periodo establecido de utilización (generalmente mensual). Así mismo, no deben exponerse los dosímetros a condiciones ambientales que puedan producir deterioro o alteración de la señal dosimétrica (básicamente, altas temperaturas, humedad, radiaciones sin estar en uso o agentes químicos).

En el caso que se prevea que la exposición de una parte del cuerpo pueda ser superior a la general, se utilizarán dosímetros adicionales para controlar dichas exposiciones. Los más habituales son dosímetros de anillo y/o muñeca en intervencionismo o de abdomen para el caso de mujeres gestantes.

Si se desarrollan más en profundidad los tres aspectos mencionados anteriormente, podemos concretar las actuaciones protectoras en algunos entornos de trabajo significativos en el campo de las radiaciones ionizantes:

La operación en **salas de radiodiagnóstico** supone tener presente los siguientes puntos:

- Antes de proceder a efectuar la exploración asegurarse que las condiciones físicas son las adecuadas (puertas cerradas, señalización luminosa, etc.) y que no se encuentren personas ajenas a la actuación diagnóstica en las inmediaciones.
- El personal de operación permanecerá en la zona protegida mientras se efectúa la exploración.
- Se debe colimar el campo de exploración al mínimo necesario y suficiente para el diagnóstico con el fin de minimizar la región expuesta a la radiación.
- La inmovilización de los pacientes se realizará siempre que sea posible utilizando sujeciones mecánicas. Cuando sea imprescindible sujetar a un paciente, el personal que intervenga portará las protecciones adecuadas, no se expondrá al haz directo de radiación y no intervendrán menores de 18 años ni mujeres gestantes.
- En el caso de exploraciones radiográficas con equipos móviles, normalmente utilizados en servicios de urgencias, unidades de cuidados intensivos, etc. el personal permanecerá durante el disparo lo más alejado posible del paciente, y siempre que sea posible, a una distancia no inferior a 2 metros y provisto de delantal plomado.

Las **instalaciones industriales y de investigación** presentan características muy diversas dada la variedad de funciones y usos que se hace de las radiaciones ionizantes. De forma general se debe insistir en la importancia de operar los equipos de acuerdo a los procedimientos establecidos, la formación del personal y asegurando el correcto mantenimiento de los equipos.

Especial mención merecen los equipos portátiles por cuanto las condiciones de funcionamiento se establecen siempre en entornos variables, a menudo de acceso difícil, que implican un mayor rigor si cabe en la adecuación de las condiciones de trabajo, ya que se operará en muchos casos en espacios abiertos y con limitadas condiciones de blindaje. En estos casos se deben seguir escrupulosamente las indicaciones dadas por el supervisor de la instalación, responsable de todos los aspectos de radioprotección.

Los entornos de obras y construcciones en los que tiene lugar la operación de equipos de medida de densidad y humedad del suelo, o de gammagrafía industrial, se deberá prestar especial atención a mantener bien visible la señalización de la ubicación del equipo, teniendo en cuenta además que en muchos casos existe tránsito de vehículos en las inmediaciones de estas localizaciones. También se debe ser especialmente cuidadoso durante el transporte de los equipos para que no queden fuera de control en ningún instante.

En general los equipos utilizados en la gran mayoría de los procesos, incorporan fuentes radiactivas convenientemente encapsuladas, de acuerdo al uso que de ellas se vaya a hacer. Las operaciones más delicadas serán aquellas que tengan que ver con el manipulado de dichas fuentes que, como regla general, se producirán especialmente en el mantenimiento y verificación del correcto estado de dichas fuentes. Se debe asegurar el buen estado del encapsulado y correcto confinamiento de los isótopos radiactivos.

Por último y a modo de resumen, se enumeran aquellos aspectos que, de forma general, se deben verificar en las instalaciones con relación a la seguridad en su funcionamiento:

- Se realizan medidas periódicas de los niveles de radiación en la instalación por parte de una entidad autorizada (UTPR, SPR o Supervisor según corresponda).
- Se llevan a cabo actuaciones de mantenimiento de los equipos emisores por parte del fabricante o empresa subcontratada, según lo indicado en el expediente de autorización. Referido a las instalaciones de radiodiagnóstico, comprobar que se dispone del programa de garantía de calidad. Se verificará su implantación, tanto en lo referido a los controles periódicos de los niveles de radiación como también en los correspondientes controles de calidad del equipamiento de radiodiagnóstico.
- Verificar que las indicaciones para la mejora de la seguridad en la instalación, incluidas en actas de inspección (si las hay) o informes de UTPRs, se han llevado a cabo. En el caso que aún esté pendiente, deberá figurar en el plan de actuaciones previstas la mejora indicada.
- Se realiza el control dosimétrico y se mantendrá actualizado el historial dosimétrico de los trabajadores expuestos.
- El supervisor y operadores poseen las licencias de personal acreditado.
- El personal que desarrolla su trabajo en esta instalación ha recibido la información y formación al iniciar su actividad y que ésta se actualiza. Es conveniente que esta información esté por escrito.
- Las personas susceptibles de riesgos especiales (embarazos, menores de edad), conocen su obligación de comunicar esta circunstancia al titular.

- Se realiza la vigilancia de la salud de acuerdo al Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes (registro de los certificados médicos de aptitud).
- La señalización de zonas pertinente está colocada en lugar adecuado y visible.
- Los sistemas de enclavamiento, bloqueo y luces de acceso a zona controlada funcionan correctamente. El control de acceso a zona controlada debe ser eficaz.
- Existe y se cumplimenta el Diario de Operaciones (para el caso de las instalaciones radiactivas. No aplicable al caso de las instalaciones de radiodiagnóstico).
- Existen medios de protección personal adecuados a las operaciones a realizar: delantales, guantes, etc.
- Se dispone de plan de emergencia específico relativo a las instalaciones radiactivas.
- Se redacta una memoria anual para el caso de las instalaciones radiactivas y el informe periódico para el caso de las instalaciones de radiodiagnóstico.

7. PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN LAS INDUSTRIAS NORM

Se denominan **Materiales Radiactivos de Origen Natural** (**NORM** por sus siglas en inglés de *Naturally Occurring Radioactive Materials*) a aquellos materiales radiactivos de procedencia natural sobre los que por causa de la actividad tecnológica humana se haya incrementado su potencial de exposición radiológica sobre los trabajadores o población en general.

El RD 783/2001, en su artículo 62, establece que deben realizarse los estudios necesarios en aquellas actividades humanas referidas en el párrafo anterior, a fin de determinar si existe un incremento significativo de la exposición de los trabajadores o de los miembros del público que no pueda considerarse despreciable desde el punto de vista de la protección radiológica. Las actividades requeridas a estudio son:

- Actividades laborales en que los trabajadores y, en su caso, los miembros del público estén expuestos a la inhalación de descendientes de torón o de radón o a la radiación gamma o a cualquier otra exposición en lugares de trabajo tales como establecimientos termales, cuevas, minas, lugares de trabajo subterráneos o no subterráneos en áreas identificadas.
- Actividades laborales que impliquen el almacenamiento o la manipulación de materiales que habitualmente no se consideran radiactivos pero que contengan radionucleidos naturales que provoquen un incremento significativo de la exposición de los trabajadores y, en su caso, de miembros del público.

- Actividades laborales que generen residuos que habitualmente no se consideran radiactivos pero que contengan radionucleidos naturales que provoquen un incremento significativo en la exposición de los miembros del público y, en su caso, de los trabajadores.
- Actividades laborales que impliquen exposición a la radiación cósmica durante la operación de aeronaves.

En 2011 el CSN publica la Instrucción IS-33 donde establece los criterios radiológicos acerca de los valores de dosis efectiva a los trabajadores y las concentraciones de radón en los lugares de trabajo cuya superación requeriría la adopción de medidas correctoras o dispositivos de vigilancia. La Instrucción establece también las medidas a adoptar y los datos a incluir en la declaración de actividades que deben hacer los titulares de las actividades afectadas.

En la misma Instrucción se expone un listado más concreto de las actividades laborales cuyos titulares deberían realizar los estudios requeridos por el RD 783/2001. Estas actividades son las que se llevan a cabo en los lugares de trabajo siguientes:

1. Lugares de trabajo subterráneos (cuevas, galerías y minas distintas de las del uranio).
2. Establecimientos termales.
3. Instalaciones donde se almacenen y traten aguas de origen subterráneo.
4. Lugares de trabajo, subterráneos o no subterráneos, en áreas identificadas por sus valores elevados de radón.
5. Extracción de tierras raras.
6. Producción y utilización del torio y sus compuestos.
7. Producción de niobio y ferro-niobio.
8. Producción de gas y petróleo.
9. Producción de cemento, mantenimiento de hornos de «clinker».
10. Fabricación de pigmentos de dióxido de titanio.
11. Industria del fosfato (producción de ácido fosfórico y de fertilizantes fosfatados).
12. Industria del zirconio.
13. Producción de estaño, cobre, aluminio, hierro, acero, cinc y plomo.
14. Centrales térmicas de carbón.

Puede observarse que los lugares de trabajo listados con la numeración de 1 a 4 son aquellos en los que es probable que los valores medios anuales de la concentración de radón superen los niveles de referencia. El resto de lugares de trabajo, tienen asociadas actividades laborales que implican el almacenamiento, la manipulación de materiales o la generación de residuos que habitualmente no se consideran radiactivos pero que contienen radionucleidos naturales que podrían provocar un incremento significativo de la exposición de los trabajadores y, en su caso, de los miembros del público.

A partir de estos estudios el CSN identificará aquellas actividades laborales que deban ser objeto de especial atención y estar sujetas a control o vigilancia. En este sentido, se establecen unos niveles de referencia que determinarán la necesidad o no de aplicar un nivel de control y el grado de éste.

Los criterios radiológicos, en términos de dosis efectiva a los trabajadores debida a su actividad laboral, que tienen por objeto servir como umbral de referencia para decidir las actuaciones a tomar son:

- **< 1mSv/a:** no es necesario control.
- **1-6 mSv/a:** se debe aplicar un nivel bajo de control.
- **>6- mSv/a:** se debe aplicar un nivel alto de control.

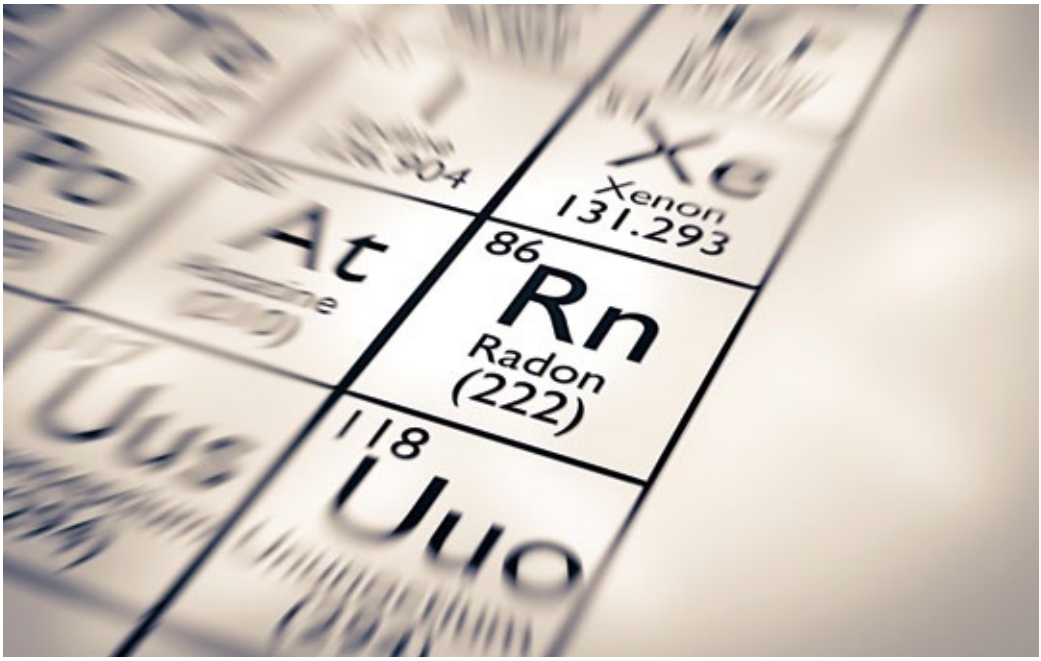
Y respecto a las concentraciones de radón en los lugares de trabajo:

- **< 600 Bq/m^3:** no es necesario control.
- **600-1000 Bq/m^3:** se debe aplicar un nivel bajo de control.
- **> 1000 Bq/m^3:** se debe aplicar un nivel alto de control.

A un nivel bajo de control se debe proceder la vigilancia radiológica del ambiente de trabajo y a estimar las dosis efectivas anuales de los trabajadores. Además, el titular de la instalación deberá informar a los trabajadores de los riesgos radiológicos existentes y sobre las precauciones que deben adoptar en el desarrollo de su trabajo.

A un nivel alto de control el titular de la actividad viene obligado a aplicar con carácter general los principios de protección radiológica operacional establecidos en el Titulo IV del RD 783/2001. Esto es, a groso modo, a clasificar zonas de trabajo y trabajadores, a realizar un seguimiento médico y dosimétrico de los trabajadores, puede ser requerido a contratar los servicios de una UTPR, debe proporcionar la información adecuada a los trabajadores y se obliga al mantenimiento de los correspondientes archivos en materia de protección radiológica.

7.1. EL CASO DEL RADÓN



El radón, merece mención aparte porque resulta ser el principal agente causante de exposición natural a la población. Se trata de un gas noble de origen natural incoloro, inodoro y sin sabor y se incorpora al organismo principalmente por inhalación. Forma parte de la cadena de desintegración natural del Uranio-238 y se desintegra emitiendo partículas alfa muy energéticas. La radiación asociada a su desintegración no reviste peligrosidad a nivel de exposición externa, pero implica una elevada radiotoxicidad si es incorporado en el organismo.

El radón puede encontrarse en cualquier espacio cerrado, tanto en viviendas particulares como en lugares de trabajo. Puede encontrarse en concentraciones elevadas especialmente en cuevas, minas y lugares subterráneos en general, así como en balnearios y spas.

NOTAS

NOTAS

NOTAS

ASEPEYO

www.asepeyo.es

Plan general
de actividades
preventivas de la
Seguridad Social 2015

MINISTERIO
DE EMPLEO
Y SEGURIDAD SOCIAL

SECRETARÍA DE ESTADO
DE LA SEGURIDAD SOCIAL

DIRECCIÓN GENERAL
DE ORDENACIÓN DE
LA SEGURIDAD SOCIAL

Síguenos en:

© Asepeyo. Mutua Colaboradora con la Seguridad Social nº 151