

NTP 614: Radiaciones ionizantes: normas de protección

Rayonnements ionisants: normes de protection
Ionising radiations: protection regulations

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

Redactores:

Adoración Pascual Benés
Ingeniero Técnico Químico

Enrique Gadea Carrera
Licenciado en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

Esta NTP sustituye a la NTP 304-1993 y complementa a la NTP 589-2001. En ella se hace referencia a la naturaleza de las radiaciones ionizantes, procedencia (fuentes naturales o artificiales), características más importantes y acción sobre los seres vivos, así como a las medidas y normas de protección frente a las mismas, de acuerdo con el Reglamento de protección sanitaria contra radiaciones ionizantes (RD 783/2001) que deroga el anterior Reglamento aprobado por el RD 53/1992, haciendo necesaria una actualización de las medidas de protección radiológica de acuerdo con el actual. Este reglamento tiene por objeto establecer las normas relativas a la protección de los trabajadores y de los miembros del público contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes de acuerdo con la Ley 251/1964 reguladora de la energía nuclear.

Introducción

La peligrosidad de las radiaciones ionizantes hace necesario el establecimiento de medidas que garanticen la protección de los trabajadores expuestos y el público en general contra los riesgos resultantes de la exposición a las mismas. Ya en 1997, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), indicó que las radiaciones ionizantes sólo deben ser empleadas si su utilización está justificada, considerando las ventajas que representa en relación con el detrimento de la salud que pudiera ocasionar.

En el ámbito de la Unión Europea, el tratado constitutivo de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM) establece que la Comunidad debe disponer de normas uniformes de protección sanitaria de los trabajadores y de la población en general contra los riesgos que resulten de las radiaciones ionizantes, así como de límites de dosis que sean compatibles con una seguridad adecuada, de niveles de contaminación máximos admisibles y de principios fundamentales de vigilancia sanitaria de los trabajadores.

En consecuencia, han emanado del Consejo sucesivas disposiciones de obligado cumplimiento para los Estados miembros, entre las que se encuentra la Directiva 96/29/EURATOM, que basándose en el considerable desarrollo de los conocimientos científicos relacionados con la protección radiológica y en los nuevos criterios recomendados en la publicación n° 60 del ICRP, establece las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población que resultan de las radiaciones ionizantes. Esta Directiva ha sido transpuesta al ordenamiento jurídico español, mediante el RD 783/2001 por el que se aprueba el Reglamento de protección sanitaria contra radiaciones ionizantes que es de aplicación a todas las prácticas que presenten un riesgo derivado de las mismas, tanto si su procedencia es de origen artificial como natural.

En el Reglamento se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes, adoptando criterios de estimación de dosis considerados razonables para proteger a las personas, independientemente de que se trate de una actividad laboral o de otras situaciones de exposición a radiaciones ionizantes. Entre las prácticas de aplicación del Reglamento se encuentran:

- Explotación de minerales radiactivos.
- Producción, tratamiento, manipulación, utilización, posesión, almacenamiento, transporte, importación, exportación y eliminación de sustancias radiactivas.
- Operación de todo equipo eléctrico que emita radiaciones ionizantes y que funcione con una diferencia de potencial superior a 5 kV.
- Comercialización de fuentes radiactivas y la asistencia técnica a equipos productores de radiaciones ionizantes.

También se incluyen:

- Actividades que desarrollan las empresas externas a las que se refiere el RD 413/1997 y cualquier otra práctica que la autoridad competente, por razón de la materia, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear, considere oportuno definir.
- Toda intervención en caso de emergencia radiológica o en caso de exposición perdurable.
- Toda actividad laboral que suponga la presencia de fuentes naturales de radiación y produzca un aumento significativo de la exposición de los trabajadores o los miembros del público que no pueda considerarse despreciable desde el punto de vista de la protección radiológica.

En cambio, no se aplica a la exposición al radón en las viviendas o a los niveles naturales de radiación, es decir, los radionucleidos contenidos en el cuerpo humano, los rayos cósmicos a nivel del suelo y los radionucleidos presentes en la corteza terrestre no alterada.

El cumplimiento de lo dispuesto en este Reglamento corresponde a la autoridad competente en cada caso, por razón de la materia, y al Consejo de Seguridad Nuclear, en el ámbito de sus funciones.

Radiaciones ionizantes

Se define una radiación como ionizante cuando al interaccionar con la materia produce la ionización de la misma, es decir, origina partículas con carga eléctrica (iones). El origen de estas radiaciones es siempre atómico, pudiéndose producir tanto en el núcleo del átomo como en los orbitales y pudiendo ser de naturaleza corpuscular (partículas subatómicas) o electromagnética (rayos X, rayos gamma (γ)).

Las radiaciones ionizantes de naturaleza electromagnética son similares en naturaleza física a cualquier otra radiación electromagnética pero con una energía fotónica muy elevada (altas frecuencias, bajas longitudes de onda) capaz de ionizar los átomos. Las radiaciones corpusculares están constituidas por partículas subatómicas que se mueven a velocidades próximas a la de la luz.

Existen varios tipos de radiaciones emitidas por los átomos, siendo las más frecuentes: la desintegración, la desintegración " β ", la emisión " γ " y la emisión de rayos X y neutrones. Las características de cada radiación varían de un tipo a otro, siendo importante considerar su capacidad de ionización y su capacidad de penetración, que en gran parte son consecuencia de su naturaleza. En la figura 1 se representan esquemáticamente estas radiaciones.

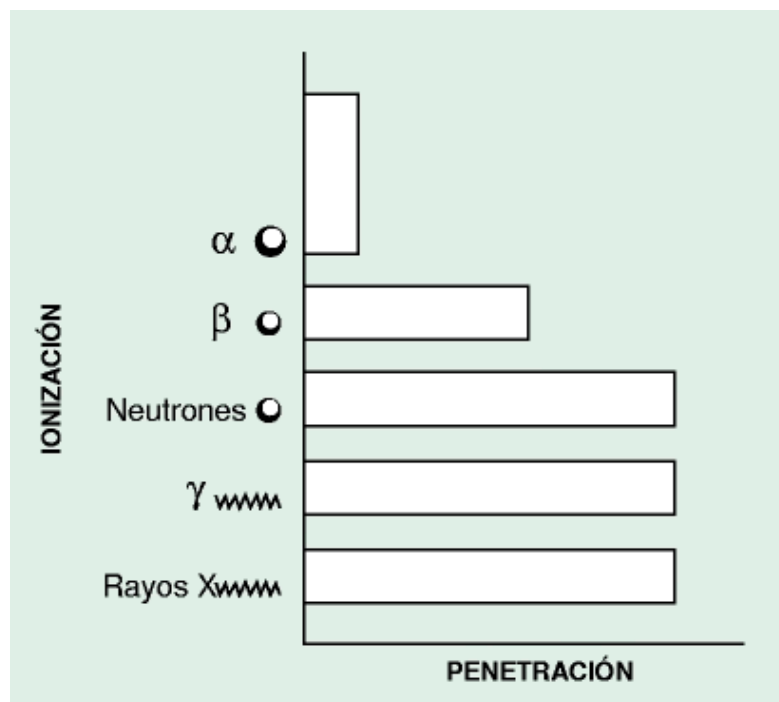


Figura 1.

Radiación α

Son núcleos de helio cargados positivamente; tienen una energía muy elevada y muy baja capacidad de penetración y las detiene una hoja de papel.

Radiación β^-

Son electrones emitidos desde el núcleo del átomo como consecuencia de la transformación de un neutrón en un protón y un electrón.

Radiación β^+

Es la emisión de un positrón, partícula de masa igual al electrón y carga positiva, como resultado de la transformación de un protón en

un neutrón y un positrón. Las radiaciones β tienen un nivel de energía menor que las α y una capacidad de penetración mayor y son absorbidas por una lámina de metal.

Radiación de neutrones

Es la emisión de partículas sin carga, de alta energía y gran capacidad de penetración. Los neutrones se generan en los reactores nucleares y en los aceleradores de partículas, no existiendo fuentes naturales de radiación de neutrones.

Radiación γ

Son radiaciones electromagnéticas procedentes del núcleo del átomo, tienen menor nivel de energía que las radiaciones α y β y mayor capacidad de penetración, lo que dificulta su absorción por los apantallamientos.

Rayos X

También son de naturaleza electromagnética pero se originan en los orbitales de los átomos como consecuencia de la acción de los electrones rápidos sobre la corteza del átomo. Son de menor energía pero presentan una gran capacidad de penetración y son absorbidos por apantallamientos especiales de grosor elevado.

Interacción con el organismo. Efectos biológicos

Desde el descubrimiento de los rayos X y los elementos radiactivos, el estudio de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes ha recibido un impulso permanente como consecuencia de su uso cada vez mayor en medicina, ciencia e industria, así como de las aplicaciones pacíficas y militares de la energía atómica. Como consecuencia, los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes se han investigado más a fondo que los de prácticamente, cualquier otro agente ambiental.

La energía depositada por las radiaciones ionizantes al atravesar las células vivas da lugar a iones y radicales libres que rompen los enlaces químicos y provocan cambios moleculares que dañan las células afectadas (fig. 2). En principio, cualquier parte de la célula puede ser alterada por la radiación ionizante, pero el ADN es el blanco biológico más crítico debido a la información genética que contiene. Una dosis absorbida lo bastante elevada para matar una célula tipo en división (2 Grays ver la definición más adelante), sería suficiente para originar centenares de lesiones reparables en sus moléculas de ADN. Las lesiones producidas por la radiación ionizante de naturaleza corpuscular (protones o partículas alfa) son, en general, menos reparables que las generadas por una radiación ionizante fotónica (rayos X o rayos gamma). El daño en las moléculas de ADN que queda sin reparar o es mal reparado puede manifestarse en forma de mutaciones cuya frecuencia está en relación con la dosis recibida.

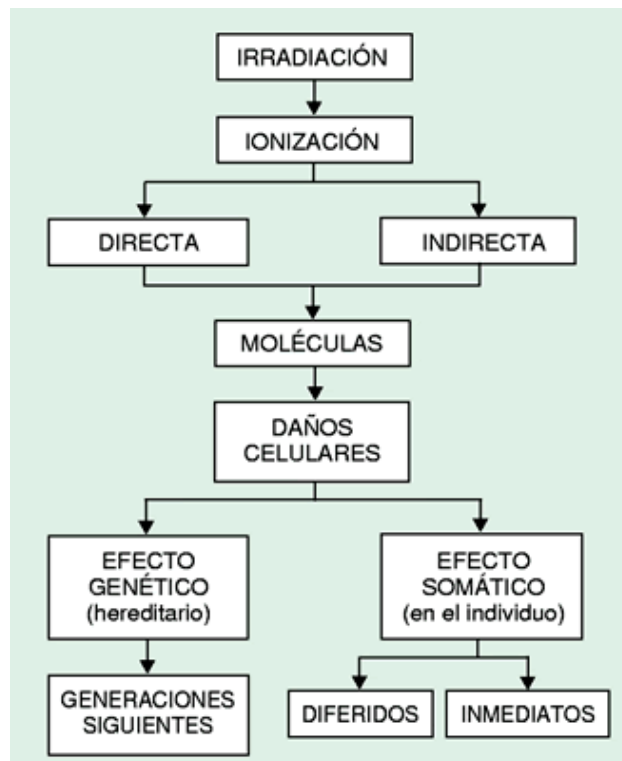


Figura 2.

Las lesiones del aparato genético producidas por irradiación pueden causar también cambios en el número y la estructura de los cromosomas, modificaciones cuya frecuencia, de acuerdo con lo observado en supervivientes de la bomba atómica y en otras poblaciones expuestas a radiaciones ionizantes, aumenta con la dosis.

En consecuencia, el daño biológico puede producirse en el propio individuo (efecto somático) o en generaciones posteriores (efecto genético), y en función de la dosis recibida los efectos pueden ser inmediatos o diferidos en el tiempo, con largos periodos de latencia.

También es importante considerar la diferencia entre efectos "estocásticos" y "no estocásticos", según que la relación dosis respuesta tenga carácter probabilístico, o bien el efecto se manifieste a partir de un determinado nivel de dosis (0,25 Sv), llamada dosis umbral. En ambos casos la probabilidad de efecto o el efecto aumenta con la dosis.

Irradiación y contaminación radiactiva. Exposición

Se denomina **irradiación** a la transferencia de energía la de un material radiactivo a otro material, sin que sea necesario un contacto físico entre ambos, y contaminación radiactiva a la presencia de materiales radiactivos en cualquier superficie, materia o medio, incluyendo las personas. Es evidente que toda contaminación da origen a una irradiación (fig. 3).

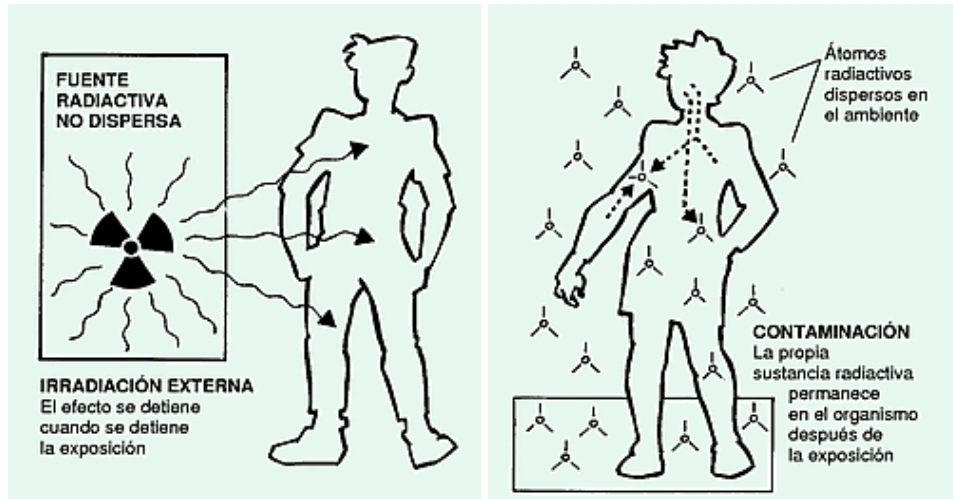


Figura 3.

Irradiación externa

Se dice que hay riesgo de irradiación externa cuando, por la naturaleza de la radiación y el tipo de práctica, la persona sólo está expuesta mientras la fuente de radiación está activa y no puede existir contacto directo con un material radiactivo. Es el caso de los generadores de rayos X, los aceleradores de partículas y la utilización o manipulación de fuentes encapsuladas.

Contaminación radiactiva

Cuando puede haber contacto con la sustancia radiactiva y ésta puede penetrar en el organismo por cualquier vía (respiratoria, dérmica, digestiva o parenteral) se habla de riesgo por contaminación radiactiva. Esta situación es mucho más grave que la simple irradiación, ya que la persona sigue estando expuesta a la radiación hasta que se eliminen los radionucleidos por metabolismo o decaiga la actividad radiactiva de los mismos.

Exposición

Se llama exposición al hecho de que una persona esté sometida a la acción y los efectos de las radiaciones ionizantes. Puede ser:

- **Externa:** exposición del organismo a fuentes exteriores a él.
- **Interna:** exposición del organismo a fuentes interiores a él.
- **Total:** suma de las exposiciones externa e interna.
- **Continua:** exposición externa prolongada, o exposición interna por incorporación permanente de radionucleidos, cuyo nivel puede variar con el tiempo.
- **Única:** exposición externa de corta duración o exposición interna por incorporación de radionucleidos en un corto periodo de tiempo.
- **Global:** exposición considerada como homogénea en el cuerpo entero.
- **Parcial:** exposición sobre uno o varios órganos o tejidos, sobre una parte del organismo o sobre el cuerpo entero, considerada como no homogénea.

En caso de contaminación radiactiva del organismo humano, según que los radionucleidos estén depositados en la piel, los cabellos o las ropas, o bien hayan penetrado en el interior del organismo, se considera contaminación externa o contaminación interna respectivamente. La gravedad del daño producido está en función de la actividad y el tipo de radiaciones emitidas por los radionucleidos.

Medida de las radiaciones ionizantes

Los aparatos de detección y medida de las radiaciones ionizantes se basan en los fenómenos de interacción de la radiación con la materia. Teniendo en cuenta su funcionalidad, los instrumentos de medida se pueden clasificar como detectores de radiación o dosímetros.

Detectores de radiación

Son instrumentos de lectura directa, generalmente portátiles, que indican la tasa de radiación, es decir, la dosis por unidad de tiempo. Estos instrumentos son útiles para la medida de radiactividad ambiental o de contaminación radiactiva. La mayoría de estos medidores de radiación ionizante se basan en alguno de estos fenómenos: ionización de gases, excitación por luminiscencia o detectores semiconductores.

Dosímetros

Son medidores de radiación diseñados para medir dosis de radiación acumulada durante un periodo de tiempo y normalmente se utilizan para medir la dosis a que está expuesto el personal que trabaja, o que permanece en zonas en las que existe riesgo de irradiación. De acuerdo con el principio de funcionamiento pueden ser: de cámara de ionización, de película fotográfica o de termoluminiscencia. Estos últimos son los más utilizados, ya que permiten leer la dosis recibida y acumulada en un período largo de tiempo, normalmente de un mes.

Magnitudes y unidades de medida

Actividad

La actividad (A) de un radionucleido se define como el número de transformaciones nucleares espontáneas que se suceden en el mismo en la unidad de tiempo, siendo su unidad de medida en el sistema internacional (SI) el Becquerelio (Bq), que corresponde a una desintegración por segundo. La unidad en el sistema Cegesimal es el Curio (Ci) que equivale a $3,7 \times 10^{10}$ Bq.

Periodo de semidesintegración

Es el tiempo necesario (T) para que la actividad de un radionucleido se reduzca a la mitad. Esta magnitud es muy variable de unos radionucleidos a otros: el Radio²²⁶ (²²⁶Ra), por ejemplo, tiene un periodo de semidesintegración de $1,6 \times 10^3$ años, mientras que el Yodo¹³² (¹³²I) lo tiene de 2,3 horas.

Nivel de energía

El nivel de energía de una radiación ionizante se mide en electronvoltios (eV), con sus múltiplos, kiloelectronvoltios (keV, 10^3 eV) o megaelectronvoltios (MeV, 10^3 keV). El electronvoltio corresponde a la energía que adquiere un electrón cuando se aplica, en el vacío, una diferencia de potencial de 1 voltio y equivale a $1,6 \times 10^{-19}$ Julios.

Dosis absorbida

Es la cantidad de energía (D) cedida por la radiación a la materia irradiada por unidad de masa. La unidad de medida en el sistema internacional es el Gray (Gy) que equivale a 100 rads en el sistema Cegesimal.

Dosis equivalente

Es también una magnitud que considera la energía cedida por unidad de masa, pero considerando el daño biológico. Es el producto de la dosis absorbida (D) por un factor de ponderación de la radiación W_R (ver tabla 1). La unidad de medida es el Sievert (Sv) que equivale a 100 rems en el sistema Cegesimal. El Sievert es una unidad muy grande para su utilización en protección radiológica y por esto se utilizan sus submúltiplos, el milisievert (mSv, 10^{-3} Sv) y el microsievert (μ Sv, 10^{-6} Sv).

TABLA 1. Valores del factor de ponderación de la radiación W_R

TIPO Y RANGO DE ENERGÍA		W_R
Fotones, todas las energías		1
Electrones y muones, todas las energías		1
Neutrones, de energía	<10 KeV	5
	>10 KeV a 100 KeV	10
	> 100 KeV a 2 MeV	20
	> 2MeV a 20 MeV	10
	> 20 MeV	5
Protones, salvo los de retroceso, de energía > 2 MeV		5
Partículas alfa, fragmentos de fisión, núcleos pesados		20

Medidas de protección contra las radiaciones ionizantes

Las medidas de protección radiológica contra las radiaciones ionizantes están recogidas en su mayor parte en el RD 783/2001 y se basan en el principio de que la utilización de las mismas debe estar plenamente justificada con relación a los beneficios que aporta y ha de efectuarse de forma que el nivel de exposición y el número de personas expuestas sea lo más bajo posible, procurando no sobrepasar los límites de dosis establecidos para los trabajadores expuestos, las personas en formación, los estudiantes y los miembros del público. Estas medidas consideran los siguientes aspectos:

- Evaluación previa de las condiciones laborales para determinar la naturaleza y magnitud del riesgo radiológico y asegurar la aplicación del principio de optimización.
- Clasificación de los lugares de trabajo en diferentes zonas, considerando la evaluación de las dosis anuales previstas, el riesgo de dispersión de la contaminación y la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales.
- Clasificación de los trabajadores expuestos en diferentes categorías según sus condiciones de trabajo.
- Aplicación de las normas y medidas de vigilancia y control relativas a las diferentes zonas y las distintas categorías de trabajadores expuestos, incluida, si es necesaria, la vigilancia individual.
- Vigilancia sanitaria.

Limitación de dosis

La observación de los límites anuales de dosis constituye una medida fundamental en la protección frente a las radiaciones ionizantes. Los límites de dosis son valores que nunca deben ser sobrepasados y que pueden ser rebajados de acuerdo con los estudios de optimización adecuados y se aplican a la suma de las dosis recibidas por exposición externa e interna en el periodo considerado. Los límites de dosis actualmente en vigor, están referidos a un periodo de tiempo de un año oficial y diferencian entre trabajadores expuestos, personas en formación o estudiantes y miembros del público. También están establecidos límites y medidas de protección especial para determinados casos, como mujeres embarazadas y en período de lactancia y exposiciones especialmente autorizadas. (Ver tabla 2).

TABLA 2. Límites de dosis (RD 783/2001)

DOSIS EFECTIVA ⁽¹⁾	Personas profesionalmente expuestas	Trabajadores	100 mSv/5 años oficiales consecutivos (máximo: 50 mSv/ cualquier año oficial) ⁽²⁾
		Aprendices y estudiantes (entre 16 y 18 años) ⁽³⁾	6 mSv/año oficial
	Personas profesionalmente no expuestas	Público, aprendices y estudiantes (menores de 16 años) ⁽⁴⁾	1 mSv/año oficial
DOSIS EQUIVALENTE	Personas profesionalmente expuestas	Trabajadores	
		Cristalino	150 mSv/año oficial
		Piel ⁽⁵⁾	500 mSv/año oficial
		Manos, antebrazos, pies y tobillos	500 mSv/año oficial
		Aprendices y estudiantes (entre 16 y 18 años)	
		Cristalino	50 mSv/año oficial
		Piel ⁽⁵⁾	150 mSv/año oficial
		Manos, antebrazos, pies y tobillos	150 mSv/año oficial
		Público, aprendices y estudiantes (menores de 16 años)	
		Cristalino	15 mSv/año oficial
	Personas profesionalmente no expuestas	Piel ⁽⁵⁾	50 mSv/año oficial

CASOS ESPECIALES	Embarazadas (feto)	Debe ser improbable superar	1 mSv/embarazo
	Lactantes	No debe haber riesgo de contaminación radiactiva corporal	
EXPOSICIONES ESPECIALMENTE AUTORIZADAS	Sólo trabajadores profesionalmente expuestos de categoría A: en casos excepcionales las autoridades competentes pueden autorizar exposiciones individuales superiores a los límites establecidos, siempre que sea con limitación de tiempo y en zonas delimitadas.		

(1) Dosis efectiva: suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo procedentes de irradiaciones internas y externas.

(2) 10 mSv = 1 rem

(3) Sólo en caso de aprendices y estudiantes que por sus estudios estén obligados a utilizar fuentes radiactivas. En ningún caso se podrán asignar tareas a los menores de 18 años, que pudieran convertirlos en trabajadores expuestos

(4) Excepcionalmente se podrá superar este valor, siempre que el promedio durante 5 años consecutivos no sobrepase 1 mSv por año.

(5) Calculando el promedio en cualquier superficie cutánea de 1 cm², independientemente de la superficie expuesta.

Información y formación

El titular o, en su caso, la empresa externa debe informar, antes de iniciar su actividad, a sus trabajadores expuestos, personas en formación y estudiantes sobre:

- Los riesgos radiológicos asociados.
- La importancia del cumplimiento de los requisitos técnicos, médicos y administrativos.
- Las normas y procedimientos de protección radiológica, tanto en lo que se refiere a la práctica en general como al destino o puesto de trabajo que se les pueda asignar.
- Necesidad de efectuar rápidamente la declaración de embarazo y notificación de lactancia.

Asimismo, también se debe proporcionar, antes de iniciar su actividad y de manera periódica, formación en materia de protección radiológica a un nivel adecuado a su responsabilidad y al riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes en su puesto de trabajo.

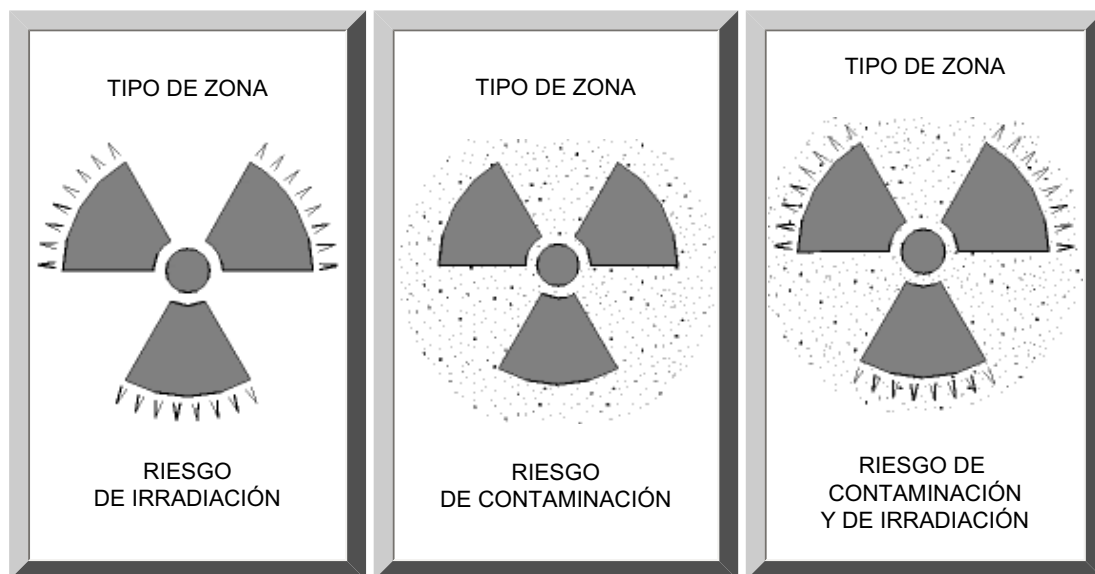
Clasificación y delimitación de zonas

El titular de la actividad debe clasificar los lugares de trabajo, considerando el riesgo de exposición y la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales, en las siguientes zonas (fig. 4):

- **Zona controlada.** Zona en la que exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv/año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalentes para cristalino, piel y extremidades. También tienen esta consideración las zonas en las que sea necesario seguir procedimientos de trabajo, ya sea para restringir la exposición, evitar la dispersión de contaminación radiactiva o prevenir o limitar la probabilidad y magnitud de accidentes radiológicos o sus consecuencias. Se señala con un trébol verde sobre fondo blanco.

Las zonas controladas se pueden subdividir en:

- **Zona de permanencia limitada.** Zona en la que existe el riesgo de recibir una dosis superior a los límites anuales de dosis. Se señala con un trébol amarillo sobre fondo blanco.
- **Zona de permanencia reglamentada.** Zona en la que existe el riesgo de recibir en cortos periodos de tiempo una dosis superior a los límites de dosis. Se señala con un trébol naranja sobre fondo blanco.
- **Zona de acceso prohibido.** Zona en la que hay riesgo de recibir, en una exposición única, dosis superiores a los límites anuales de dosis. Se señala con un trébol rojo sobre fondo blanco.
- **Zona vigilada.** Zona en la que, no siendo zona controlada, exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv/año oficial o una dosis equivalente superior a 1/10 de los límites de dosis equivalente para cristalino, piel y extremidades. Se señala con un trébol gris/azulado sobre fondo blanco.



TIPO DE ZONA	COLOR DE IDENTIFICACIÓN
ZONA VIGILADA	GRIS
ZONA CONTROLADA	VERDE
ZONA DE PERMANENCIA LIMITADA	AMARILLO
ZONA DE ACCESO PROHIBIDO	ROJO
ZONA DE PERMANENCIA REGLAMENTADA	NARANJA

EJEMPLOS:

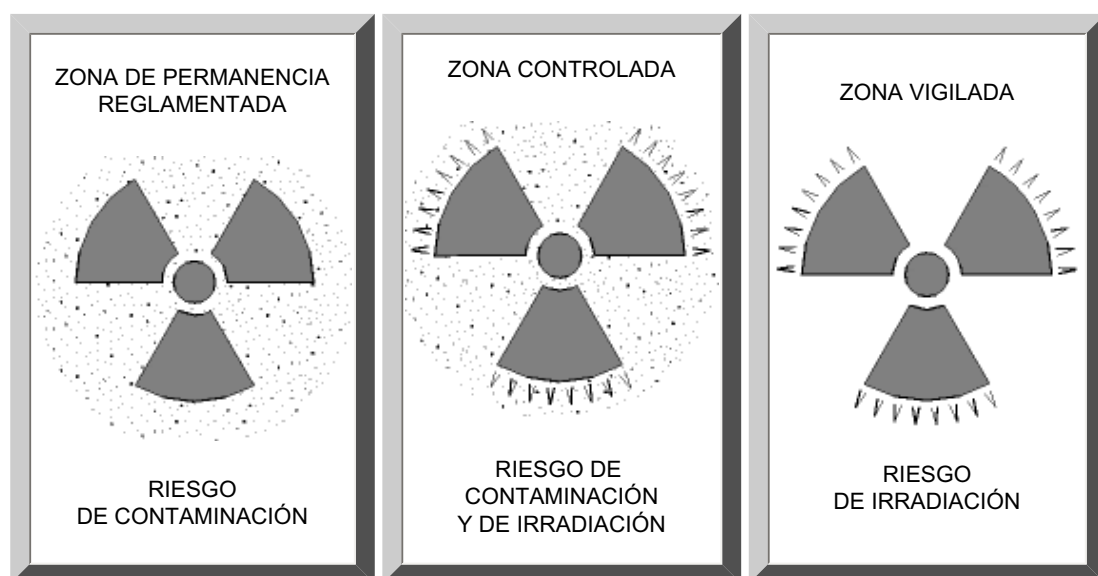


Figura 4.

En caso de que el riesgo fuera solamente de irradiación externa, el trébol va bordeado de puntas radiales y si fuera de contaminación radiactiva el trébol está bordeado por un campo punteado. Sí se presentan los dos riesgos conjuntamente el trébol está bordeado con puntas radiales sobre campo punteado.

Clasificación de los trabajadores expuestos

Los trabajadores se consideraran expuestos cuando puedan recibir dosis superiores a 1 mSv por año oficial y se clasificaran en dos categorías:

- **Categoría A:** personas que, por las condiciones en que se realiza su trabajo, pueden recibir una dosis superior a 6 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades.
- **Categoría B:** personas que, por las condiciones en que se realiza su trabajo, es muy improbable que reciban dosis superiores a 6 mSv por año oficial o 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades.

Vigilancia del ambiente de trabajo

Teniendo en cuenta la naturaleza y la importancia de los riesgos radiológicos, en las zonas vigiladas y controladas se debe realizar una vigilancia del ambiente de trabajo que comprende:

- La medición de las tasas de dosis externas, indicando la naturaleza y calidad de la radiación.
- La medición de las concentraciones de actividad en el aire y la contaminación superficial, especificando la naturaleza de las sustancias radiactivas contaminantes, así como su estado físico y químico.

Estas medidas pueden ser utilizadas para estimar las dosis individuales en aquellos casos en los que no sea posible o resulten inadecuadas las mediciones individuales.

Vigilancia individual

Está en función de la categoría del trabajador y de la zona.

- **Trabajadores expuestos de categoría A y en las zonas controladas.** Es obligatorio el uso de dosímetros individuales que midan la dosis externa, representativa de la dosis para la totalidad del organismo durante toda la jornada laboral. En caso de riesgo de exposición parcial o no homogénea deben utilizarse dosímetros adecuados en las partes potencialmente más afectadas. Si el riesgo es de contaminación interna, es obligatoria la realización de medidas o análisis pertinentes para evaluar las dosis correspondientes. Las dosis recibidas por los trabajadores expuestos deben determinarse cuando las condiciones de trabajo sean normales, con una periodicidad no superior a un mes para la dosimetría externa, y con la periodicidad que, en cada caso, se establezca para la dosimetría interna, para aquellos trabajadores expuestos al riesgo de incorporación de radionucleidos.
- **Trabajadores expuestos de categoría B.** Las dosis recibidas se pueden estimar a partir de los resultados de la vigilancia del ambiente de trabajo.

La vigilancia individual, tanto externa como interna, debe ser efectuada por Servicios de Dosimetría Personal expresamente autorizados por el Consejo de Seguridad Nuclear. El titular de la práctica o, en su caso, la empresa externa debe transmitir los resultados de los controles dosimétricos al Servicio de Prevención que desarrolle la función de vigilancia y control de salud de los trabajadores.

En caso de exposiciones accidentales y de emergencia se evalúan las dosis asociadas y su distribución en el cuerpo y se realiza una vigilancia individual o evaluaciones de las dosis individuales en función de las circunstancias. Cuando a consecuencia de una de estas exposiciones o de una exposición especialmente autorizada hayan podido superarse los límites de dosis, debe realizarse un estudio para evaluar, lo más rápidamente posible, las dosis recibidas en la totalidad del organismo o en las regiones u órganos afectados.

Evaluación y aplicación de las medidas de protección radiológica

El titular de la práctica es responsable de que el examen y control de los dispositivos y técnicas de protección, así como de los instrumentos de medición, se efectúen de acuerdo con los procedimientos establecidos. En concreto debe comprender:

- El examen crítico previo de los proyectos de la instalación desde el punto de vista de la protección radiológica.
- La autorización de puesta en servicio de fuentes nuevas o modificadas desde el punto de vista de la protección radiológica.
- La comprobación periódica de la eficacia de los dispositivos y técnicas de protección.
- La calibración, verificación y comprobación periódica del buen estado y funcionamiento de los instrumentos de medición.

Todo ello se realiza con la supervisión del Servicio de Protección Radiológica o la Unidad Técnica de Protección Radiológica, o en su caso, del Supervisor o persona que tenga encomendadas las funciones de protección radiológica. La obligatoriedad de disponer de una u otra figura lo decide, en cada caso, el Consejo de Seguridad Nuclear en función del riesgo radiológico existente y deben estar autorizados por el mismo.

Vigilancia sanitaria

La vigilancia sanitaria de los trabajadores expuestos se basa en los principios generales de la Medicina del Trabajo y en la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, sobre la Prevención de Riesgos Laborales, y Reglamentos que la desarrollan.

Toda persona que vaya a incorporarse a un trabajo que implique exposición a radiaciones ionizantes que suponga su clasificación como trabajador expuesto de categoría A debe someterse a un examen médico de salud previo, que permita conocer su estado de salud, su historial laboral y, en su caso, el historial dosimétrico que debe ser aportado por el trabajador y, en consecuencia, decidir su aptitud para el trabajo. A su vez, los trabajadores expuestos de categoría A están obligados a efectuar exámenes de salud periódicos que permitan comprobar que siguen siendo aptos para sus funciones. Estos exámenes se deben realizar cada doce meses y más frecuentemente, si lo hiciera necesario, a criterio médico, el estado de salud del trabajador, sus condiciones de trabajo o los incidentes que puedan ocurrir.

Registro y notificación de los resultados

El historial dosimétrico de los trabajadores expuestos, los documentos correspondientes a la evaluación de dosis y a las medidas de los equipos de vigilancia, así como los informes referentes a las circunstancias y medidas adoptadas en los casos de exposición accidental o de emergencia, deben ser archivados por el titular, hasta que el trabajador haya o hubiera alcanzado la edad 75 años, y nunca por un período inferior a 30 años, contados a partir de la fecha de cese del trabajador. El titular debe facilitar esta documentación al Consejo de Seguridad Nuclear y, en función de sus propias competencias, a las Administraciones Públicas, en los supuestos previstos en las Leyes, y a los Juzgados y Tribunales que lo soliciten. En el caso de cese del trabajador el titular debe facilitarle una copia certificada de su historial dosimétrico. A los trabajadores expuestos de categoría A se les abrirá un historial médico, que debe mantenerse actualizado durante todo el tiempo que el trabajador pertenezca a dicha categoría y que debe archiversse hasta que el trabajador alcance los 75 años y, nunca por un período inferior a 30 años desde el cese de la actividad, en los Servicios de Prevención que desarrollen las funciones de vigilancia y control de la salud de los trabajadores.

Posibilidad de exposición	1 mSv < Dosis anual ≤ 6 mSv	Dosis anual > 6 mSv
Clasificación de trabajadores	Clase B	Clase A
Clasificación de zonas	Vigilada	Controlada
Vigilancia del ambiente de trabajo	Sí Dosimetría de área	Sí Si hay riesgo de contaminación: EPI y detectores de radiación obligatorios
Vigilancia individual	No	Sí Dosimetría personal
Vigilancia específica de la salud	No	Sí Inicial y anual
Nota: Por debajo de una dosis anual de 1 mSv se considera que no hay exposición		

Figura 5. Protección radiológica de los trabajadores expuestos (RD 783/2001)

Medidas básicas de protección radiológica

Aparte de los aspectos comentados, en función del tipo de riesgo de exposición, ya sea de irradiación externa o de contaminación radiactiva, deben observarse las denominadas medidas básicas de protección radiológica.

Irradiación externa

En este caso, en el que no hay un contacto directo con la fuente, las medidas de protección consisten en:

- Limitar el tiempo de exposición.
- Aumentar la distancia a la fuente, ya que la dosis disminuye de manera inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.
- Apantallamiento de los equipos y la instalación.

Contaminación radiactiva

En este caso hay o puede haber contacto directo con la fuente, por lo que las medidas preventivas se orientan a evitarlo. Como norma general, el personal que trabaja con fuentes radiactivas no encapsuladas debe conocer de antemano el plan de trabajo, los procedimientos y las personas que van a efectuar las distintas operaciones. El plan de trabajo debe contener información sobre:

- Medidas preventivas que deben tomarse.
- Procedimientos de descontaminación.
- Gestión de residuos radiactivos.
- Actuación en caso de accidente o incidente.
- El plan de emergencia.

Las medidas específicas de protección contra la contaminación radiactiva dependen de la radiotoxicidad y actividad de los radionucleidos y se establecen actuando, tanto sobre las estructuras, instalaciones y zonas de trabajo, como sobre el personal, mediante la adopción de métodos de trabajo seguros y, si es necesario, el empleo de equipos de protección individual adecuados.

Radiación natural

En el Título VII "Fuentes naturales de radiación" del Reglamento, se hace referencia a la exposición de trabajadores y miembros del público a fuentes de radiación natural. En los casos que se relacionan se indica la necesidad de llevar a cabo estudios de evaluación

para determinar si existe exposición. En función del resultado de dichos estudios el Consejo de Seguridad Nuclear identificará aquellas actividades laborales que deban ser objeto de especial atención y estar sujetas a control y si es necesario establecerá la aplicación de medidas correctoras y de protección radiológica, exigiendo su aplicación por los titulares.

Fuentes de radiación natural a considerar

Son las siguientes:

- Los procesos industriales de materiales que contengan radionucleidos naturales.
- Aquellas en las que los trabajadores o los miembros del público, estén expuestos a la inhalación de los descendientes de torón o de radón o a la radiación gamma o cualquier otra exposición en lugares de trabajo como establecimientos termales, cuevas, minas, lugares de trabajo subterráneos o no subterráneos en áreas identificadas.
- Las actividades donde se manipulen o almacenen materiales radiactivos o que generen residuos radiactivos que contengan radionucleidos naturales que provoquen un incremento de la exposición de los trabajadores o de los miembros del público.
- También las actividades laborales que impliquen exposición a la radiación cósmica durante las operaciones con aeronaves.

Industrias a identificar, estudiar y clasificar

Las industrias que, en principio habría que identificar, estudiar y clasificar serían las siguientes:

- Procesamiento de fosfatos (ácido fosfórico y fertilizantes).
- Industrias de minería y procesamiento de minerales metálicos: estaño, niobio, aluminio, cobre, zinc, plomo y titanio.
- Industrias cerámicas y de materiales refractarios que utilizan arenas de circonio.
- Industrias de procesamiento de tierras raras.
- Centrales térmicas de carbón.
- Industrias de materiales de construcción, canteras y cementeras.
- Manufactura y utilización de compuestos de torio.
- Industrias de pigmentos de dióxido de titanio.
- Industrias de extracción de gas y petróleo.

Lugares de trabajo

Los lugares de trabajo que habría que estudiar respecto a la exposición a radón, torón y radiación Y serían los siguientes:

- Minas subterráneas y cuevas turísticas.
- Balnearios y piscinas cubiertas de aguas subterráneas.
- Túneles y galerías de diferentes tipos.
- Instalaciones donde se almacenen y traten aguas de origen subterráneo.
- Redes de metro de diferentes ciudades.
- Cualquier lugar subterráneo de trabajo localizado en las distintas ciudades.
- Lugares de trabajo no subterráneos localizados en zonas con elevados niveles de radón en viviendas.

Tripulaciones expuestas a radiación cósmica

Las compañías aéreas deben considerar un programa de protección radiológica cuando la exposición a la radiación cósmica del personal de tripulación de aviones pueda tener una dosis anual superior a 1 mSv por año oficial. Este programa debe contemplar:

- Evaluación de la exposición del personal implicado
- Organización de planes de trabajo para reducir la exposición del personal más expuesto.
- Información a los trabajadores sobre los riesgos radiológicos asociados a su trabajo.
- Aplicación de las medidas de protección especial durante el embarazo y la lactancia al personal femenino de tripulación aérea.

Exposición a radón en el interior de viviendas

En el Reglamento se excluye la exposición a radón en el interior de las viviendas, aunque en muchos países ya se valora el problema de manera global. A nivel de la U E, existe una Recomendación (90/143/EURATOM) en la que se dan indicaciones para la protección de los miembros del público contra la exposición a radón en interiores, que, aunque no tienen carácter obligatorio para los estados miembros, constituyen dentro de la UE el marco de referencia para la iniciación de planes de actuación en el ámbito del país.

Gestión de residuos

Se considera residuo radiactivo a cualquier material o producto de desecho, para el cual no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado con radionucleidos en concentraciones superiores a las establecidas por el Ministerio de Industria y Energía (MIE) previo informe del CSN (Ley 40/94, de Ordenación del Sistema Eléctrico Nacional).

La gestión de los residuos radiactivos debe basarse en el principio de responsabilidad del productor, que debe tomar las medidas necesarias para que la eliminación de los mismos no sea ningún peligro para las personas y el medio ambiente, entregándolos a un

gestor autorizado por el CSN. En España la única empresa autorizada para la gestión y tratamiento de residuos radiactivos es ENRESA.

Los residuos radiactivos deben tener una gestión diferenciada y específica, totalmente separada de los sistemas de almacenamiento, tratamiento y evacuación del resto de residuos, y que debe desarrollarse en función del estado físico, del tipo de radiación emitida, de la actividad y vida media, radiotoxicidad, volumen generado y periodicidad. Existen fundamentalmente dos vías para la gestión de residuos radiactivos:

Desclasificación y evacuación por la vía convencional. Gestión a través de una empresa autorizada (ENRESA).

Dentro de la primera vía debe distinguirse entre aquellos residuos que pueden evacuarse directamente por rutas convencionales y los que han de esperar un tiempo para su decaimiento.

En el caso de fuentes encapsuladas pertenecientes a equipos homologados por el MIE, es recomendable la devolución al suministrador, evitando la consideración de las mismas como residuos radiactivos.

En el Reglamento se indica que los residuos radiactivos deben almacenarse en recipientes cuyas características proporcionen una protección suficiente contra las radiaciones ionizantes, como son las condiciones del lugar de almacenamiento y la posible dispersión o fuga del material radiactivo. Estos deben estar convenientemente señalizados. Asimismo, también se indica que el titular debe llevar un registro por duplicado de cada recipiente en el que se consignarán los datos fisicoquímicos, la actividad, así como los valores máximos del nivel de exposición, en contacto y a un metro de distancia del recipiente, y la fecha de la última medición efectuada.

El Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas (RD 1836/1999), hace referencia a la eliminación y tratamiento de sustancias radiactivas procedentes de cualquier instalación nuclear o radiactiva, indicándose que está sujeta a la autorización por la Dirección General de la Energía, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear. No obstante la eliminación, el reciclado o la reutilización de dichas sustancias o materiales pueden ser liberados de este requisito anterior, siempre que contengan o estén contaminados con radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad iguales o inferiores a los establecidos por el Ministerio de Industria y Energía en relación con la definición de residuo radiactivo a que hace referencia la disposición adicional cuarta de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico.

Bibliografía

- (1) COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS.
Recomendación de la Comisión de 21-2-1990 relativa a la protección de la población contra los peligros de una exposición a radón en el interior de edificios,
(90/143/EURATOM). D.O.C.E. 1-80, 26-28.
- (2) GARZÓN, L.
Radón y sus riesgos.
Universidad de Oviedo. Servicio de Publicaciones, 1992
- (3) IARC (International Agency for Research on Cancer).
Man-made Mineral Fibres and Radon
IARC, Lyon, France, 1998, vol. 43, p. 173-241.
- (4) LEY 54/1997 de 27 de noviembre del sector eléctrico.
- (5) MINISTERIO DE SANIDAD Y CONSUMO.
Protección radiológica. Partes I, II, III y IV.
Madrid, Colección sanidad ambiental, 1988.
- (6) PHILLIPS, P.S., DENMAN, A.R.
Radon: a human carcinogen.
Sci Prog, vol. 80, p. 317-336, 1997.
- (7) REAL DECRETO 1836/1999 de 3.12 (M. Ind. Y Ener. , B.O.E. 31.12.1999), por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas.
- (8) REAL DECRETO 783/2001 de 6.7 (M. de la Presidencia, B.O.E. 26.7.2001), por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes.
- (9) REAL DECRETO 413/1997, DE 21.3 (M. Presid., B.O.E. 16.4.1997). Protección operacional de los trabajadores externos con riesgo de exposición a radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada.