

Tercer ejercicio.

B. Protección Radiológica

Tema 30

Protección radiológica en situaciones de exposición existente. Aplicación de los principios de protección. Niveles de referencia.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente tema introduce los preceptos generales y la reglamentación nacional e internacional relacionadas con las denominadas situaciones de exposición existente.

El primer apartado consta de una introducción general en la que se presentan las situaciones de exposición existente en el marco de la protección radiológica, un sub-apartado en el que se desarrollan los conceptos de niveles de referencia y niveles de acción aplicables a este tipo de situaciones, y un listado de cuatro tipos de situaciones de exposición existente a los que aplica la normativa a nivel nacional. Estos cuatro tipos son los siguientes:

- La exposición a la contaminación residual que haya podido producirse como consecuencia de una emergencia nuclear o radiológica o de una actividad humana pasada.
- La exposición de los miembros de la tripulación de aeronaves y vehículos espaciales.
- La exposición de trabajadores o de miembros del público al radón en recintos cerrados.
- La exposición externa en recintos cerrados a la radiación gamma procedente de los materiales de construcción.

Los apartados 2 a 5 del presente tema desarrollan en profundidad los objetivos y principios fundamentales de protección radiológica para cada uno de estos cuatro tipos de situaciones de exposición existente, a través de la exposición de su marco legal, de sus bases científico-técnicas y de su aplicación práctica.

Índice

1. Introducción.....	3
1.1. <i>Conceptos: situaciones de exposición existente, niveles de referencia y niveles de acción.</i>	3
1.2. <i>Tipos de situaciones existentes</i>	5
2. Exposición a la contaminación residual consecuencia de una emergencia o actividad humana pasada.	5
2.1. <i>Marco legal</i>	5
2.2. <i>Legacy sites en el marco nacional español.....</i>	7
2.2.1. <i>Palomares.....</i>	9
2.2.2. <i>CRI-9</i>	9
3. Exposición de los miembros de la tripulación de aeronaves.	10
3.1. <i>Marco legal</i>	10
3.2. <i>Fuente y vías de exposición.</i>	11
3.3. <i>Dosis individuales y colectiva.</i>	13
3.4. <i>Programa de Protección Radiológica.</i>	14
4. Exposición de trabajadores o de miembros del público al radón.....	16
4.1. <i>Marco legal</i>	16
4.2. <i>El gas radón.....</i>	16
4.3. <i>Protección radiológica del público contra el radón.....</i>	18
4.4. <i>Protección radiológica de los trabajadores contra el radón.</i>	20
5. Exposición a la radiación gamma procedente de los materiales de construcción.....	23
5.1. <i>Marco legal</i>	23
5.2. <i>Protección radiológica frente a los materiales de construcción.....</i>	24
6. Bibliografía.....	26

1. Introducción.

La protección radiológica es una disciplina científico-técnica que tiene como objetivo fundamental la protección de los trabajadores, público y medio ambiente contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes.

El actual sistema de protección radiológica fue establecido en 1977 en la publicación de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) número 26 (ICRP-26), posteriormente refrendada y actualizada en las publicaciones ICRP-60 (1990) e ICRP-103 (2007), y sus objetivos y principios básicos han sido incorporados a la reglamentación de la mayor parte de los países.

El sistema de protección radiológica implantado por la ICRP-103 comprende 3 principios básicos (justificación, optimización y limitación), en cuya aplicación práctica se consideran los distintos tipos de exposición (ocupacional, médica y del público) y los distintos tipos de situaciones (planificadas, existentes y de emergencia).

Las situaciones de exposición existente se definen en el Reglamento de Protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a la radiación ionizante, aprobado por Real Decreto 1029/2022 (en adelante, RPSI), como “situaciones de exposición que ya existen cuando debe tomarse una decisión sobre su control y que no requieren, o ya no requieren, la adopción de medidas urgentes, o bien situaciones de exposición creadas por una fuente de radiación cuya ubicuidad o magnitud hace injustificado su control de acuerdo con los mismos criterios aplicables a una situación de exposición planificada. Incluyen las situaciones de exposición prolongada después de una emergencia nuclear o radiológica”.

El título VII del RPSI, incorpora los preceptos fundamentales de protección radiológica en situaciones de exposición existente a través de: su capítulo I, sobre optimización de la protección radiológica, en el que se definen los niveles de referencia para exposición al radón y para la radiación gamma procedente de los materiales de construcción; su capítulo II, sobre los principios de intervención en zonas contaminadas; su capítulo III sobre exposición al radón; su capítulo IV, sobre radiación gamma emitida por los materiales de construcción; y su capítulo V, sobre tripulación de aeronaves.

1.1. *Conceptos: situaciones de exposición existente, niveles de referencia y niveles de acción.*

Dentro del marco regulador y legislativo en el ámbito de la protección radiológica, y de acuerdo la ICRP-103 (2007), las situaciones de exposición existente incluyen aquellas

exposiciones que ocurren naturalmente, así como exposiciones debidas a sucesos o accidentes del pasado y a prácticas llevadas a cabo fuera de las recomendaciones de la ICRP. Por lo tanto, las situaciones existentes se refieren a escenarios concretos en los que se produce exposición a la radiación y están contempladas en las regulaciones para garantizar que se tomen las medidas adecuadas de protección radiológica.

También hay situaciones de exposición existente para las cuales no está justificada una acción para reducir las exposiciones. La decisión respecto a qué componente de la exposición existente es o no es razonable controlar requiere una estimación por parte del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), que es la autoridad reguladora. Esta decisión dependerá de la fuente o la exposición y también de las circunstancias económicas, sociales y culturales que predominan.

Aunque las situaciones de exposición existente y las emergencias están sujetas al mismo marco conceptual y siguen los mismos principios de justificación y optimización que el resto de situaciones contempladas en el sistema de protección radiológica, interpretar rigurosamente una restricción como una forma de límite puede distorsionar seriamente y de forma adversa el resultado de un proceso de protección al público y al medio ambiente y a las estrategias y medidas de protección implementadas. Por esta razón, en las situaciones de exposición existente o de emergencia, la ICRP propone usar el término nivel de referencia.

El nivel de referencia es aquel nivel de dosis efectiva, o de dosis equivalente, o de actividad por unidad de masa o de volumen en una situación de exposición de emergencia o existente, por encima del cual se considera inapropiado permitir que se produzcan exposiciones, aun cuando no se trate de un límite que no pueda rebasarse, sino de una herramienta para la optimización de la protección radiológica.

El valor escogido para un nivel de referencia dependerá de las circunstancias inherentes a la exposición en consideración. Sin embargo, la existencia de diferentes terminologías no implica una diferencia fundamental en la aplicación del sistema de protección radiológica.

Por último, se entiende por nivel de acción aquel nivel de exposición a la radiación a partir del cual se deben tomar medidas específicas para proteger a las personas. Por lo general, este nivel se establece en función de estándares y regulaciones específicas, y cuando se alcanza o supera este nivel, se activan protocolos de seguridad para minimizar la exposición a la radiación.

1.2. Tipos de situaciones existentes

El artículo 2 c del RPSI “Ámbito de aplicación”, indica que dicho Reglamento es de aplicación a “Todas las situaciones de exposición existente”, citando las siguientes:

1. La exposición a la contaminación residual que haya podido producirse como consecuencia de una emergencia nuclear o radiológica o de una actividad humana pasada.
2. La exposición de los miembros de la tripulación de aeronaves y vehículos espaciales.¹
3. La exposición de trabajadores o de miembros del público al radón en recintos cerrados.
4. La exposición externa en recintos cerrados a la radiación gamma procedente de los materiales de construcción.

Adicionalmente, el anexo V del RPSI (RD 1029/2022) define con mayor detalle algunos de los tipos de situaciones de exposición existente.

A continuación, se desarrollan en profundidad las situaciones de exposición existente citadas.

2. Exposición a la contaminación residual consecuencia de una emergencia o actividad humana pasada.

2.1. Marco legal

El artículo 73 sobre «Zonas contaminadas» de la Directiva 2013/59/Euratom, establece que las estrategias de protección optimizadas para gestionar zonas radiológicamente contaminadas incluirán, si procede, lo siguiente:

- a) Objetivos, inclusive aquellos a largo plazo perseguidos por la estrategia, con los niveles de referencia correspondientes;
- b) Una delimitación de las zonas afectadas e identificación de los miembros de la población afectados;
- c) La consideración de la necesidad y del ámbito de las medidas de protección que vayan a aplicarse a las zonas y los miembros de la población afectados;

¹ El preámbulo del RPSI indica que la exposición del personal de tripulación de aeronaves y vehículos espaciales a la radiación cósmica se considera una situación de exposición existente que se gestiona como situación de exposición planificada

- d) La consideración de la necesidad de prevenir o controlar el acceso a las zonas afectadas, o de imponer restricciones a las condiciones de vida en estas zonas;
- e) La evaluación de la exposición de diferentes grupos de la población y evaluación de los medios disponibles para que las personas controlen su propia exposición.

Además, en el mismo artículo 73 también se establece que, para zonas con contaminación residual de larga duración, se podrá permitir la habitabilidad y la reanudación de las actividades sociales y económicas, siempre y cuando exista un control sobre la dosis recibida por la población. Para ello, se deberán tomar las medidas necesarias de control de la exposición con el fin de establecer condiciones de vida que puedan considerarse normales, incluidos:

- a) El establecimiento de niveles de referencia adecuados;
- b) El establecimiento de una infraestructura que permita mantener medidas de autoprotección en las zonas afectadas, tales como: comunicación de información, asesoramiento y vigilancia;
- c) Si procede, medidas de rehabilitación;
- d) Si procede, zonas delimitadas.

Estas normas fueron transpuestas al marco reglamentario nacional en el artículo 74 del RPSI, donde se indica que,

1. En las situaciones de exposición existente por las zonas contaminadas citadas en el anexo V.1, y en función de los riesgos que entrañe la exposición, el responsable de la intervención, de acuerdo con la normativa aplicable, previo informe favorable del Consejo de Seguridad Nuclear, deberá:
 - a) Delimitar la zona afectada e identificar a los miembros del público afectados.
 - b) Considerar la necesidad y el alcance de las medidas de protección que deban aplicarse a las zonas y los miembros del público afectados.
 - c) Aplicar un sistema de vigilancia de las exposiciones y evaluar la exposición de diferentes grupos de miembros del público.
 - d) Realizar las intervenciones oportunas teniendo en cuenta las características de la situación.
 - e) Regular el acceso y el uso de los terrenos o edificios situados dentro de la zona delimitada.
 - f) Llevar a cabo un estudio radiológico con el fin de caracterizar el estado del terreno tras la finalización de las actuaciones que comprenda la intervención.
2. Una vez finalizada la intervención, el Consejo de Seguridad Nuclear:

- a) Evaluará el estudio radiológico requerido en el apartado 1.f) y, en su caso, inspeccionará la zona para verificar los resultados obtenidos en éste.
- b) Emitirá un dictamen, en su caso, en el que se determinará si proceden las limitaciones de uso correspondientes de aquellos terrenos o recursos afectados, dando traslado de éste al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a fin de que garantice su cumplimiento.

Adicionalmente, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) ha publicado diversos documentos para ayudar en las tareas de remediación y restauración de emplazamientos en situaciones de exposición existente debidas a contaminación de zonas por material radiactivo residual, como:

- Cleanup of Areas Contaminated by Past Activities and Accidents. Safety Requirements No. WS-R-3. IAEA, Vienna (2003).
- Remediation Process for Areas Affected by Past Activities and Accidents. Safety Guide No WS-G-3.1. IAEA, Vienna (2007).

2.2. Legacy sites en el marco nacional español

Algunas de las zonas contaminadas, descritas tanto en el anexo XVII de la Directiva 2013/59/Euratom, como en el RPSI, se conocen en inglés como «legacy sites».

Siguiendo lo establecido en el artículo 73 de la Directiva 2013/59/Euratom, el objetivo de las estrategias optimizadas para gestionar zonas contaminadas será (re)establecer condiciones aceptables, desde el punto de vista radiológico, para las comunidades afectadas. Las estrategias de remediación y recuperación no deben tener como objetivo la vuelta a la situación anterior, ya que en la mayoría de los casos sería inviable y/o demasiado costoso. En las situaciones de exposición existente debidas a contaminación de zonas por material radiactivo residual, la toma de decisiones y evaluación de la situación inicial en función del riesgo dependerá de diversos factores que variarán entre las diferentes situaciones de exposición existente posibles, por lo que las estrategias de protección se adaptarán a las circunstancias iniciales y a la evolución de las circunstancias de cada momento del proceso de remediación y restauración de emplazamientos, siendo esto lo que se conoce como aproximación gradual.

La decisión respecto a qué componente de la exposición existente es o no es razonable controlar requiere una estimación por parte del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), como autoridad reguladora. Esta decisión dependerá de varios factores, como el tipo de fuente de exposición y las circunstancias económicas, sociales y culturales que predominan en la zona contaminada. Además, será responsabilidad del CSN, como autoridad reguladora, decidir sobre el nivel de referencia que se implementa para controlar una situación determinada.

Retrospectivamente, cuando se han implementado las acciones protectoras, también pueden usarse los niveles de referencia como patrones para evaluar la eficacia de las estrategias de protección.

La toma de decisiones respecto a qué componentes de la situación existente son sometidos a control y respecto a los niveles de referencia se tomará en base a los siguientes factores:

- Caracterización y evaluación del impacto radiológico.
- Zonificación de las áreas afectadas.
- Viabilidad y eficacia de las opciones de remediación y restauración.
- Consecuencias sobre la salud a corto y a largo plazo.
- Aspectos socioeconómicos y financieros.
- Calidad de la vida futura en el territorio.
- Confianza social.
- Monitorización fiable del proceso a corto y a largo plazo.

Estos factores, se pueden clasificar dependiendo de a qué aspectos de la toma de decisiones afecten:

- **Factores técnicos:** caracterización radiológica y la evaluación del impacto, viabilidad y eficacia de las opciones de remediación y restauración, la zonificación de áreas afectadas. Para ponderar correctamente estos factores en la toma de decisiones es necesario tener el mayor número de datos posibles y de la mayor precisión posible.
- **Factores organizativos:** referidos a las modalidades de organización y los acuerdos de gobernanza, a la variedad de las partes interesadas y a sus diferentes funciones y responsabilidades.
- **Factores sociales:** referidos a la calidad de vida futura en el territorio afectado, el ámbito de confianza social, la evolución de la situación a lo largo del tiempo, la percepción del riesgo, la comunicación y el compromiso de las partes interesadas.
- **Factores económicos:** relacionado con los aspectos socioeconómicos y financieros del proceso de recuperación, y también con el futuro de la economía del territorio afectado.

Dentro del territorio español existen dos situaciones de exposición existente relevantes debidas a contaminación de zonas por material radiactivo residual. Una es la zona de Palomares en Almería y la otra es el Centro de Recuperación de Inertes (CRI-9) en Palos de la Frontera (Huelva). El CSN ha determinado las medidas y estrategias a implementar a en estas zonas para asegurar la protección del público y el medio ambiente y ha establecido unos niveles de referencia en base al riesgo radiológico, a través de la estimación de la dosis y considerando factores económicos, sociales y culturales de las zonas afectadas (por

ejemplo, diferentes instituciones y población afectadas, juicio de expertos, asociaciones vecinales y ecologistas, usos del terreno, hábitos alimenticios, etc.)

2.2.1. Palomares

Desde el accidente militar aéreo, ocurrido en 1966, que dio lugar a la dispersión de plutonio metálico procedente de artefactos nucleares en el área de Palomares (Almería), se viene desarrollando en esta zona un programa de vigilancia radiológica.

El Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat) ha mantenido la responsabilidad de ejecución de este programa, que incluye la vigilancia de la posible contaminación interna de las personas y la medida de los niveles de contaminación en la zona. Los resultados muestran que el accidente no ha tenido incidencia sobre la salud de los habitantes de la zona de Palomares, si bien existe contaminación residual en el entorno.

Desde 2001, ante la perspectiva de la reactivación agrícola y urbanística de la zona, el CSN y el Ciemat realizaron de manera conjunta diversas actividades que han dado como resultado la expropiación de algunos terrenos y el establecimiento de restricciones de uso en ciertas áreas afectadas. En 2004 se aprobó la realización de un plan de investigación energética y medioambiental en materia de vigilancia radiológica. Desde entonces se ha realizado la expropiación forzosa de los diversos terrenos previsiblemente afectados y la restricción de uso de otros terrenos donde hubiese indicios de contaminación.

La contaminación en profundidad de Palomares tiene distribuciones y niveles muy variables según las zonas, en función del uso y alteraciones producidas en éstas, y confirma que los terrenos contaminados se limitan a los identificados con las caracterizaciones superficiales.

Por su parte, el CSN solicitó al Ciemat la elaboración de un plan específico para la restauración de las zonas afectadas, incluyendo los objetivos finales de descontaminación. El Ciemat presentó en 2010 un plan preliminar de rehabilitación al CSN, que lo apreció favorablemente. Asimismo, el Ciemat ha mantenido con el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) una comunicación continua desde el accidente que, entre otras cuestiones, se ha materializado la cofinanciación de parte de las actividades.

Desde el año 2012 y a solicitud del CSN, el Ciemat viene realizando un Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA), que se ha ido ampliando con los años, tomando muestras de partículas de polvo en la atmósfera, aguas (de lluvia, de riego, potable, superficial y marina), cultivos, suelos, sedimentos y organismos indicadores.

2.2.2. CRI-9

Como consecuencia de la fusión accidental de una fuente de Cs-137 en uno de los hornos de la planta de producción de acero inoxidable de ACERINOX en los Barrios (Cádiz) ocurrida

en mayo de 1998, el CRI-9 quedo contaminado por el traslado de polvos provenientes de esta acería.

En 1998 ENRESA llevó a cabo dos intervenciones de retirada de material contaminado en los frentes de vertido de productos inertizados del CRI-9. Posteriormente, el titular del emplazamiento, la entonces denominada Empresa de Gestión Medioambiental S.A. (EGMASA) presentó al CSN un estudio de alternativas para la normalización de los trabajos en los frentes de vertido afectados. En 2001 se emitió la Resolución de la Dirección General de Política Energética y Minas autorizando la propuesta en la que el material radiactivo permanecía en la zona, previa extensión de una capa de arcilla sobre los frentes de vertido contaminados; y estableciendo entre sus requisitos la ejecución de un Plan de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA).

Posteriormente, en los años 2010 y 2011 se realizaron obras para el “Proyecto constructivo de dos barreras reactivas permeables para retener el cesio”

El PVRA inicialmente establecido se limitaba al control de las aguas superficiales y subterráneas y al Cs-137, así como a las proximidades de la zona afectada, pero desde junio de 2004 ha sufrido diversas ampliaciones a petición del CSN y actualmente cubre, además de las aguas citadas, entre otras, muestras de sedimentos y de flora de la zona.

3. Exposición de los miembros de la tripulación de aeronaves.

3.1. Marco legal

La normativa sobre protección radiológica de las tripulaciones aéreas está establecida en el RPSI, que transpone al marco legislativo nacional la Directiva 2013/59/Euratom, incluyendo las siguientes disposiciones reglamentarias:

- Considera este tipo de exposición como una situación de exposición existente que se gestiona como situación de exposición planificada.
- Clarifica que el citado reglamento solo es de aplicación a las tripulaciones de aeronaves, no a los miembros de público, o trabajadores que no formen parte de la tripulación de aeronaves.
- En el artículo 81 del citado real decreto se establecen las obligaciones de las compañías aéreas, que son las siguientes:
 - Las compañías aéreas establecerán un programa de protección radiológica cuando las exposiciones a la radiación cósmica del personal de tripulación de aeronaves puedan resultar en una dosis superior a 1 mSv por año oficial. Este programa contemplará, en particular:
 - a) Evaluación de la exposición del personal implicado mediante la utilización de códigos apropiados que permitan modelizar el campo de radiación cósmica.

b) Organización de los planes de trabajo a fin de reducir la exposición en el caso del personal de tripulación más expuesto.

3.2. Fuente y vías de exposición.

Para conocer las fuentes y vías de exposición a las que están sometidas las tripulaciones aéreas, en primer lugar, hay que distinguir entre la radiación cósmica *per se*, que es continua, y la radiación cósmica esporádica originada por las tormentas o llamaradas solares.

Por una parte, la radiación cósmica continua se compone de radiación cósmica primaria, formada por el conjunto de partículas primarias procedentes del Sol y de otras estrellas de la galaxia que alcanzan la atmósfera terrestre; y por radiación cósmica secundaria, formada por el conjunto de partículas secundarias producidos por las reacciones que tienen lugar entre las partículas primarias y los átomos de la alta atmósfera. La radiación cósmica primaria representa la mayor contribución a dosis de la radiación cósmica.

La radiación cósmica primaria se compone de una componente directamente ionizante, formada por partículas cargadas (fundamentalmente protones de alta energía y partículas α); y por una componente indirectamente ionizante, formada por partículas neutras (fundamentalmente neutrones y muones).

La intensidad de la radiación cósmica primaria depende directamente de la latitud y la altitud:

- La variación con la latitud se debe a la protección proporcionada por el campo geomagnético, que origina que se reciban mayores dosis en los polos que en el ecuador (ver Figura 3). Esta variación es más significativa en la componente indirectamente ionizante.

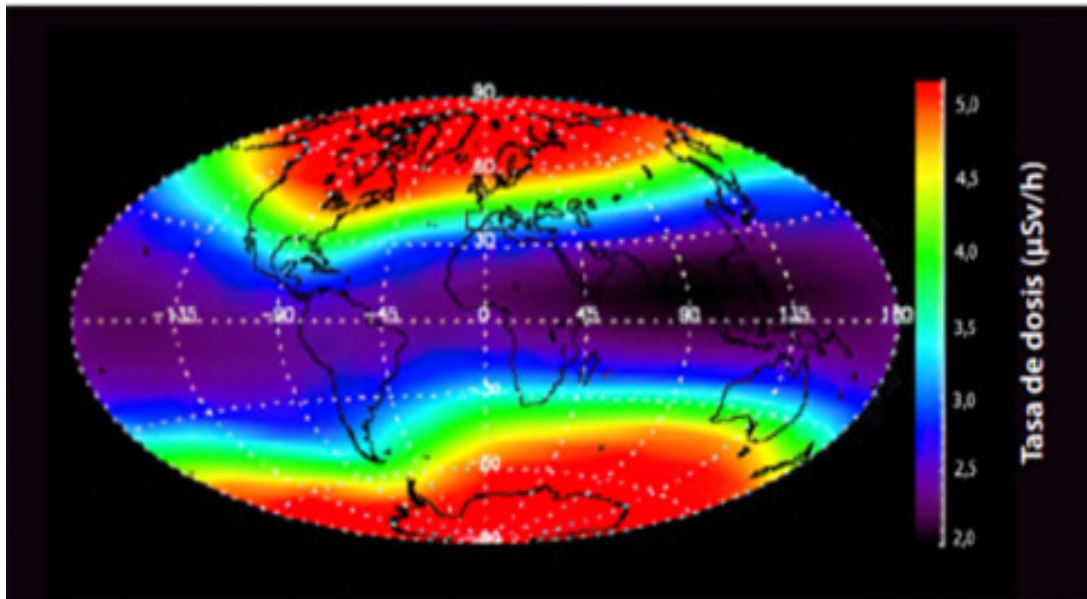


Figura 1. Fondo de tasa de dosis de radiación típico. Fuente: ALFA nº 58.

- La variación con la altitud se debe a la protección proporcionada por la atmósfera, que origina que se reciban mayores dosis al aumentar la altitud. En promedio, la dosis por radiación cósmica primaria se duplica cada 1.500 metros. Esta variación es significativa en ambas componentes.

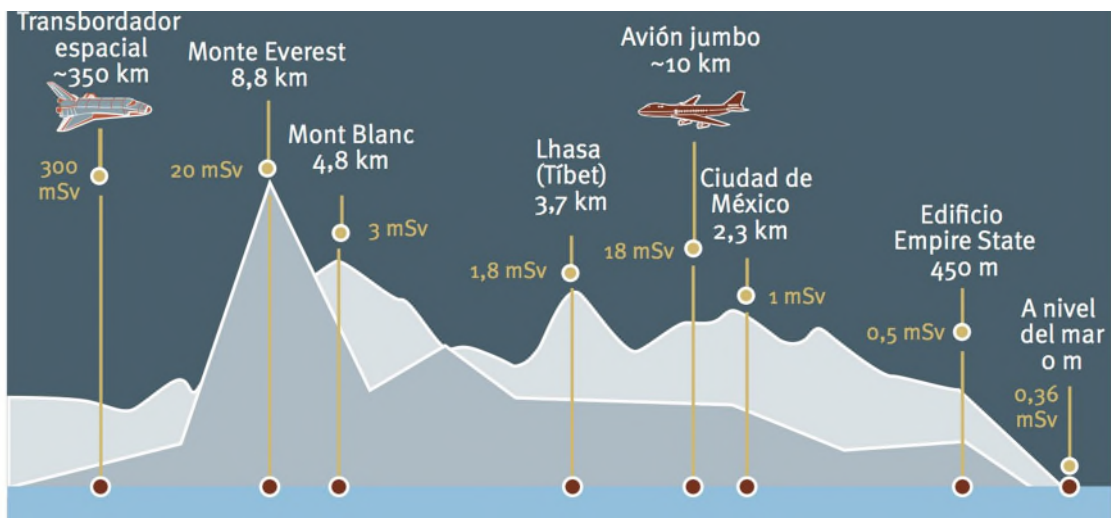


Figura 2. Dosis anuales por radiación cósmica en un año hipotético a diferentes altitudes. Fuente: @operadornuclear.

La intensidad de la radiación cósmica secundaria disminuye con la profundidad en la atmósfera desde las altas capas hasta el nivel del suelo de forma casi lineal, a razón de $-1,5 \mu\text{Sv/h}$ por cada kilómetro en descenso. Es por ello que tiene una contribución menos significativa en el cómputo de dosis anual respecto de la radiación cósmica primaria, que no por ello despreciable.

Por otra parte, existen episodios de tormentas o llamaradas solares en las que el Sol expulsa una masa de su corona emitiendo una gran cantidad de partículas al espacio y acelera los protones que proceden del mismo, incrementando significativamente su energía y, como consecuencia, aumentando la dosis recibida. Sin embargo, su variabilidad y corta duración hace que no influya de forma significativa en el cómputo de dosis anual.

3.3. *Dosis individuales y colectiva.*

De acuerdo con el Comité Científico para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR), la dosis media mundial debida a la radiación cósmica es 0,39 mSv al año, de los 2,4 mSv al año que corresponden a la dosis media debida a todas las fuentes naturales de radiación.

Sin embargo, la dosis debida a la radiación cósmica de las tripulaciones aéreas dependerá, además, del origen y destino del vuelo (latitud), la ruta y patrón de vuelo (altitud), y la actividad solar (intensidad), ya que las tripulaciones aéreas experimentan una exposición intensificada respecto a la media debido a que no solo vuelan a gran altitud si no que la duración de la exposición es prolongada como consecuencia de su jornada de trabajo.

Actualmente, los vuelos comerciales alcanzan una altitud superior a los 10.000 metros, donde se alcanzan dosis de $7\mu\text{Sv/h}$, es decir, más de 150 veces la dosis a nivel del mar. No obstante, en la práctica, la exposición a radiación cósmica por debajo de una altitud de 8.000 metros se considera tan baja que el criterio del CSN, en línea con lo establecido por otros organismos reguladores homólogos del ámbito internacional, se centra en no requerir medidas especiales destinadas a investigar o limitar la exposición a radiación de las tripulaciones aéreas en estos casos.

De acuerdo con el UNSCEAR, la dosis efectiva de las tripulaciones aéreas oscila entre los 1,2 y 5 mSv/año, dependiendo principalmente de tiempo de vuelo que, en los países europeos, es de 600 horas/año. Como consecuencia, dependiendo del tamaño de las compañías aéreas y del tiempo de vuelo establecido en cada país, la exposición de las tripulaciones aéreas puede representar la principal contribución a la exposición ocupacional colectiva en algunos países. De acuerdo con el UNSCEAR, la dosis efectiva colectiva anual total de las tripulaciones aéreas a nivel mundial es del orden de 800 Sv por persona, es decir, el 70-80% de todas las dosis ocupacionales registradas.

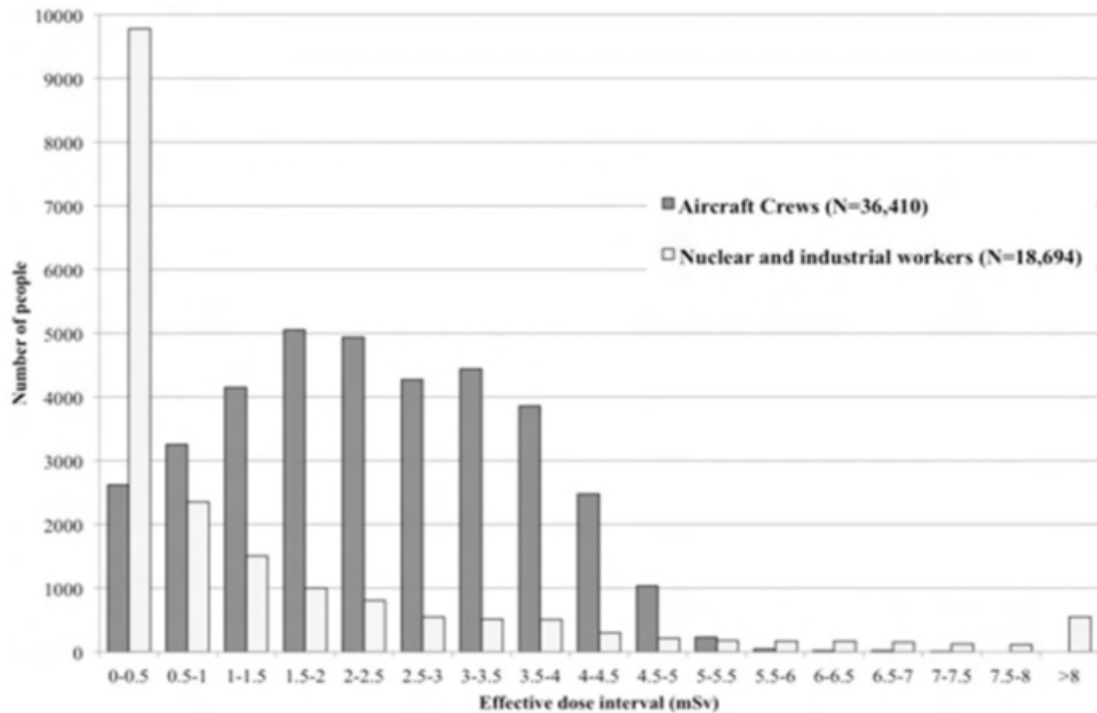


Figura 3. Distribución por intervalos de frecuencias de dosis anuales para tripulaciones aéreas comparada con trabajadores de la industria nuclear y convencional en Alemania (2009). Fuente: ICRP-231.

Las dosis de radiación cósmica recibidas por los pasajeros, tanto frecuentes como ocasionales, son lo suficientemente bajas como para que no haya necesidad de justificar la introducción de medidas de protección. No obstante, la ICRP recomienda que todos los pasajeros dispongan de información general sobre la radiación cósmica asociada a la aviación.

3.4. Programa de Protección Radiológica.

La exposición de las tripulaciones aéreas se considera una situación de exposición existente que se gestiona como situación de exposición planificada, utilizando niveles de referencia para orientar la optimización. El valor de referencia seleccionado no es un límite de dosis, sino que representa el nivel de dosis por debajo del cual la exposición debe mantenerse y reducirse tan bajo como sea razonablemente posible (principio ALARA), teniendo en cuenta factores económicos y sociales.

En la práctica, la implantación del principio de optimización se basa en el Programa De Protección Radiológica Operacional (PPRO) en el cual se definen todas las medidas necesarias para garantizar que las dosis individuales se mantienen en niveles ALARA y, en cualquier caso, por debajo de los límites de dosis establecidos.

El *Real Decreto 1029/2022, de 20 de diciembre por el que se aprueba el Reglamento sobre protección contra la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes* establece en su disposición adicional séptima (apartado 4), que las actividades laborales que impliquen exposición a la radiación cósmica durante la operación de aeronaves no requieren la declaración de la actividad² puesto que esta se considera realizada en el momento en que una compañía aérea solicita autorización a la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA), que en este ámbito es la autoridad competente, adjudicando a la misma el deber de mantener informado al CSN del censo de las compañías aéreas autorizadas para desarrollar actividades comerciales en España.

Sin embargo, el *Real Decreto 1029/2022* dispone en su artículo 81 la obligación por parte de las compañías aéreas de establecer un PPRO cuando las exposiciones a la radiación cósmica del personal de tripulación de aeronaves puedan resultar en una dosis superior a 1 mSv por año oficial. Este programa contemplará, en particular:

- a) Evaluación de la exposición del personal de las tripulaciones de aeronaves en el desarrollo de su actividad laboral mediante la utilización de códigos apropiados (internacionalmente aceptados) que permitan modelizar el campo de radiación cósmica.
- b) Organización de los planes de trabajo a fin de reducir las dosis de radiación, sobre todo en el caso de personal de tripulación de aeronaves que presenten exposiciones significativas. Las medidas más efectivas se basan en restricciones en el tiempo de vuelo y la selección de la ruta.
- c) Información a los trabajadores implicados sobre los riesgos radiológicos asociados a su trabajo.
- d) Atención especial a los aspectos relacionados con la protección radiológica de las trabajadoras gestantes o en periodo de lactancia de las tripulaciones de aeronaves, cuyo límite se equipará al de los miembros del público.

Para ello, el CSN envió a las compañías aéreas incluidas en el censo elaborado por AESA la *Circular N°1/24 sobre los programas de protección radiológica a implantar por las compañías aéreas en relación con la exposición a la radiación cósmica del personal de*

² El apartado 1 de la disposición adicional séptima del RD 1029/2022 establece las actividades laborales que deberán declarar su actividad ante los órganos competentes de las comunidades autónomas en cuyo territorio se realice la actividad, y llevar a cabo los estudios necesarios para determinar si ésta puede dar lugar a un riesgo radiológico significativo para los trabajadores o para los miembros del público, así como establecer, sobre la base de estos estudios, las medidas y controles de protección radiológica que se especifican en el citado reglamento.

tripulación de aeronaves con el objetivo de comunicar los criterios utilizados por el propio CSN para evaluar el cumplimiento de lo requerido en el *Real Decreto 1029/2022*.

4. Exposición de trabajadores o de miembros del público al radón.

4.1. Marco legal

El marco legal en lo relativo a la protección radiológica contra la exposición al radón se encuentra recogido, fundamentalmente, en el RPSI y en el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo (en adelante, CTE). El RPSI y el CTE transponen parcialmente la Directiva 2013/59/Euratom del Consejo, de 5 de diciembre de 2013.

4.2. El gas radón

El radón es un gas noble incoloro, inodoro y moderadamente soluble en el agua y otros líquidos que está presente en las rocas de la corteza terrestre. En la naturaleza existen tres isótopos del gas radón: (i) el Rn-222 ($t_{1/2} = 3,82$ días) de la cadena de desintegración del uranio (U-238) y al que se denomina específicamente radón, (ii) el Rn-220 ($t_{1/2} = 54,5$ s) de la cadena de desintegración del torio (Th-232) y al que se denomina torón y (iii) Rn-219 ($t_{1/2} = 3,92$ s) de la cadena de desintegración del actinio (U-235) y al que se denomina actinón. Por un lado, el actinon existe en cantidades inapreciables en el medioambiente debido a las bajas concentraciones de U-235 y, por otro lado, debido a la corta vida media del torón, este sólo se encuentra a unos pocos decímetros del suelo o de los materiales de construcción. Así, el isótopo de mayor significancia radiológica es el radón (Rn-222).

El radón emana del suelo y exhala del terreno penetrando en las edificaciones fundamentalmente por advección, y por difusión, a través de poros, grietas y fisuras de las cimentaciones. También puede estar presente en el interior de las edificaciones procedente de los materiales de construcción o del agua corriente, si bien en menor medida. En términos generales, el radón se acumula en las plantas bajas y bajo rasante, aunque podría estar presente en pisos más elevados debido a los materiales de construcción, el agua y por efecto chimenea. La exhalación de radón depende de la concentración de Ra-226 existente en el terreno, la cual oscila considerablemente de unos suelos a otros, y se produce aproximadamente en los primeros diez metros bajo tierra. Además, la exhalación depende también de la permeabilidad de la tierra, que es función de la humedad del terreno y de las condiciones meteorológicas: la lluvia, la nieve, la congelación del terreno y el aumento de

presión atmosférica reducen la tasa de exhalación. Así, se suele observar una variación estacional con concentración en el aire a nivel del suelo mínimas en verano y máximas en invierno.

El gas radón se desintegra dando lugar a sus descendientes de vida corta (Po-218, Pb-214, Bi-214 y Po-214), que tienen periodos de semidesintegración entre los 16 μ s del Po-210 y los 27 minutos del Pb-214. Estos descendientes de vida corta tienden a adherirse a las partículas en suspensión en el aire y comprenden la principal contribución a dosis debida al radón. Estas partículas son inhaladas, fijándose en diferentes tramos del aparato respiratorio en función de su diámetro. La mayor contribución a la dosis se debe a las partículas alfa que impactan en las células del epitelio pulmonar, cuando producen alteraciones moleculares que podrían dar lugar al desarrollo de cáncer de pulmón.

El radón fue declarado carcinógeno humano tipo I por la Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC) y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA). La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que entre un 3 y un 14% de los casos de cáncer de pulmón a nivel mundial son atribuibles al radón residencial. De acuerdo con estos datos, el radón representa la segunda causa más importante de cáncer de pulmón, después del tabaco, y la primera en no fumadores.

A fin de conocer el riesgo a exposición por radón en España, el Consejo de Seguridad Nuclear (en adelante, CSN) ha desarrollado el [mapa de potencial de radón](#) (ver Figura 4). Para ello, se han utilizado más de 12.000 medidas de radón en viviendas, agrupadas por unidad litoestratigráfica y rango de exposición a la radiación gamma, obtenido a partir del mapa MARNA de radiación gamma natural.

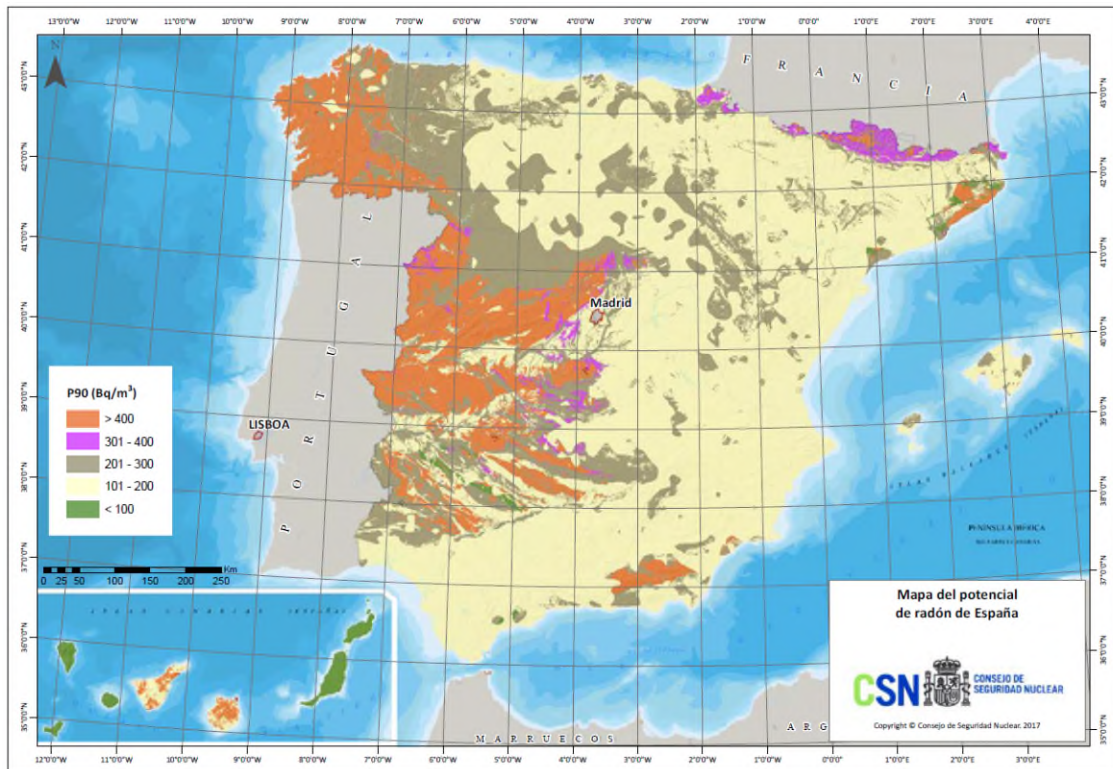


Figura 4. Mapa de potencial de radón en España desarrollado por el CSN. Fuente: Cartografía del potencial de radón en España. Colección de Informes Técnicos del CSN - 51.2019.

En la leyenda de la Figura 4 se pueden observar los percentiles 90 (Bq/m^3) de la distribución de niveles de radón de los edificios de esa zona. Por ejemplo, un P90 de 300 Bq/m^3 significa que el 90% de los edificios de esa zona tienen concentraciones inferiores a 300 Bq/m^3 y, por tanto, el 10% supera este nivel. Cabe recordar que el potencial de radón depende tanto de la capacidad del terreno para generar y transportar el radón como de las características constructivas del parque residencial.

A partir del mapa de potencial de radón se obtiene, directamente, el mapa de zonas de actuación prioritaria. En estas zonas, la población que reside en plantas bajas o primeras está expuesta, en promedio, a una concentración volumétrica de actividad de radón de unos 200 Bq/m^3 (casi tres veces más alta que el promedio para el resto de zonas), y más de un 10% de los edificios presenta niveles superiores a 300 Bq/m^3 . Las zonas de actuación prioritaria representan el 17% del territorio nacional.

4.3. Protección radiológica del público contra el radón.

Con el objetivo de garantizar la protección radiológica del público contra el radón, el CTE establece en su artículo 13.6 la exigencia básica HS 6 de protección frente a la exposición al radón: “los edificios dispondrán de medios adecuados para limitar el riesgo previsible de exposición inadecuada a radón procedente del terreno en los recintos cerrados”.

El documento básico HS 6 establece un nivel de referencia en términos de concentración volumétrica de concentración de actividad de radón en interior de edificios de 300 Bq/m³ de promedio anual e indica que su ámbito de aplicación comprende los locales habitables de los edificios situados en los términos municipales incluidos en el apéndice B del documento. Los términos municipales incluidos en el apéndice B se clasifican en dos categorías: municipios de zona I y municipios de zona II. Para verificar el cumplimiento del nivel de referencia, establece que en los municipios de zona I se dispondrá de una barrera de protección con determinadas características y, en el caso de los municipios de zona II, se dispondrá, además, de un espacio de contención ventilado o un sistema de despresurización del terreno. Se espera que en los municipios de zona II haya una mayor concentración de radón, de ahí que se considere necesaria esta doble protección. El documento básico HS 6 contiene las características técnicas que han de tener la barrera de protección, el espacio de contención ventilado y la despresurización del terreno. Además, describe las características exigibles a los productos de construcción, cómo se ha de ejecutar la construcción y las medidas de mantenimiento y conservación.

Por otro lado, el Plan Nacional contra el Radón (en adelante, Plan Nacional), aprobado por el Consejo de Ministros del 9 de enero de 2024, recoge las estrategias establecidas y las actividades a desarrollar por las diferentes administraciones públicas con el fin de reducir el riesgo para la salud de la población por exposición al radón. El Plan Nacional se encuentra establecido dentro del marco normativo del RPSI (artículos 77 a 79). El artículo 78 del RPSI establece la organización del Comité del Plan Nacional, que está adscrito al Ministerio de Sanidad y cuya vicepresidencia la ostenta un representante del CSN con rango de Director Técnico. Entre otras funciones del Comité está la de actualizar cada cinco años el Plan Nacional, de acuerdo con el conocimiento científico y con los avances obtenidos en las medidas incluidas en el mismo.

De los cinco ejes en los que se estructura el Plan, el CSN tiene actividades en tres de ellos: Conocimiento e infraestructura básica, Exposición ocupacional y Comunicación:

(1) Conocimiento e infraestructura básica:

- a. Estimar el número de cánceres atribuibles a la exposición a radón en España.
- b. Desarrollar y actualizar el mapa de potencial de radón y elaborar mapas de radón a escala regional o local.
- c. Organizar de manera periódica intercomparaciones de medida de la concentración de radón en el aire para sistemas de medida integradores (detectores pasivos) y monitores en continuo (detectores activos).

- d. Validar y mejorar las estrategias de muestreo temporal.
- e. Estudiar las contribuciones por radón en los materiales de construcción.
- f. Estudiar las contribuciones por radón del agua de consumo humano.

(2) Exposición ocupacional:

- a. Establecer mecanismos de coordinación y colaboración entre la Inspección de Trabajo y Seguridad Social y el CSN.
- b. Facilitar la aplicación de la Publicación 137 Parte 3 de la ICRP en lugares de trabajo con condiciones extremas.

(3) Comunicación: Percepción pública en España del riesgo asociado al radón.

Además, se habrá de realizar un informe anual en el que se incluya una valoración del avance de las actividades establecidas en el Plan Nacional, de acuerdo con los indicadores de ejecución asociados a cada actividad.

4.4. *Protección radiológica de los trabajadores contra el radón.*

La exposición al radón es definida como una exposición existente y como tal se regula en el capítulo III *Exposición al radón* (artículos 75 a 79) del título VII *Situaciones de exposición existente* del RPSI. Además, el artículo 72 establece que, para la exposición al radón en recintos cerrados, el nivel de referencia es de 300 Bq/m³, en términos de promedio anual de concentración de actividad de radón en aire, tanto para las viviendas o los edificios de acceso público como para los lugares de trabajo.

El artículo 75 establece que los titulares de las siguientes actividades: (i) lugares de trabajo subterráneos, tales como obras, túneles, minas o cuevas, (ii) lugares donde se procese, manipule o aproveche el agua de origen subterráneos, tales como actividades termales y balnearios y (iii) todos los lugares de trabajo situados en planta bajo rasante o planta baja de los términos municipales de actuación prioritaria, deberán estimar el promedio anual de concentración de radón en aire en todas las zonas del lugar de trabajo en las que los trabajadores deban permanecer o a las que puedan acceder por razón de su trabajo, excluidas las zonas al aire libre.

Si, tras esa evaluación, hay zonas con concentraciones de actividad de radón en aire que, en promedio anual, superen el nivel de referencia de 300 Bq/m³, el titular de la actividad deberá tomar medidas para reducir las concentraciones de radón y/o la exposición a radón, de acuerdo con el principio de optimización. Tras esas medidas, deberá reevaluar el promedio anual de concentración de radón en aire en el lugar de trabajo.

Si, a pesar de las medidas, en alguna de las zonas de trabajo continúa habiendo concentraciones de radón en aire con una concentración anual superior a 300 Bq/m³, el titular queda sujeto al cumplimiento del artículo 19 y demás artículos de aplicación del RPSI, esto es:

- Reevaluará las concentraciones de radón en aire con la frecuencia que en cada caso establezca el CSN.
- Estimaré las dosis efectivas anuales debidas al radón que puedan recibir los trabajadores con acceso a estas zonas, si bien estas dosis no se computarán ni para la clasificación de trabajadores expuestos (A o B) ni para la clasificación de zonas.
- Clasificará como “trabajadores expuestos al radón” a aquellos que puedan recibir una dosis efectiva por exposición al radón superior a 6 mSv por año oficial.
- Clasificará y señalizará como “zonas de radón” aquellas zonas en las que exista una concentración de actividad de radón en aire que pueda dar lugar a una dosis efectiva a los trabajadores superior a 6 mSv por año oficial. La señalización de las zonas de radón se hará de acuerdo con la norma UNE 73001:2023 (ver Figura 5).

En el caso de que algún trabajador pueda recibir una dosis superior a 6 mSv por año oficial, el titular de la actividad laboral deberá establecer las medidas de protección radiológica aplicables, cuyo alcance estará en función del riesgo aplicado. En particular, se habrá de tener en cuenta el cumplimiento del límite de dosis (20 mSv por año oficial), se deberá informar y formar a los trabajadores expuestos al radón, se deberán aplicar medidas de protección radiológica a los trabajadores expuestos al radón, se deberá llevar a cabo una vigilancia radiológica de los lugares de trabajo e individual, será obligatorio disponer de un historial dosimétrico y este se deberá archivar de acuerdo con lo establecido por el RPSI.



Figura 5. Señalización de zona de radón. Fuente: norma UNE 73100:2023.

A fecha de junio de 2024, el CSN está inmerso en la elaboración de una nueva Instrucción del Consejo: la Instrucción del Consejo de Seguridad Nuclear, por la que se relaciona el listado de municipios de actuación prioritaria contra el radón y se dan directrices sobre las

mediciones de radón en el aire interior de los centros de trabajo ubicados en ellos. Esta Instrucción tiene como objeto definir los municipios de actuación prioritaria, si bien este listado se revisará y podrá ampliarse progresivamente en función del avance y eficacia del Plan Nacional contra el Radón. Además, la Instrucción establece cómo deben planificarse y llevarse a cabo los estudios para caracterizar la concentración de radón en el aire interior del lugar de trabajo, la frecuencia con la que los estudios de radón deben revisarse y las pautas sobre la información y participación de los trabajadores. Adicionalmente, incluye el modelo de informe de resultados que debe estar a disposición de la Inspección del CSN y de la Inspección de Trabajo y Seguridad Social.

En cuanto a la planificación y elaboración de los estudios, establece que se deberán determinar las zonas de muestreo teniendo en cuenta la superficie útil del local, los posibles gradientes espaciales de la concentración de radón y la ubicación de los puestos de trabajo fijo. El número de detectores a instalar se ajustará a lo especificado en la Tabla 1. También establece que se garantizará que la exposición de los detectores tenga lugar bien durante un periodo mínimo de tres meses coincidiendo con el periodo de calefacción o bien a lo largo de un año completo, en periodos, al menos, trimestrales.

Tabla 1. Número de localizaciones de medida a tener en cuenta en los estudios de radón. Quedan exentos los espacios con una ocupación inferior a 50 horas anuales. Fuente: Instrucción del Consejo de Seguridad Nuclear, por la que se relaciona el listado de municipios de actuación prioritaria contra el radón y se dan directrices sobre las mediciones de radón en el aire interior de los centros de trabajo ubicados en ellos.

Características del lugar de trabajo	Número de detectores
Edificios compartimentados tradicionales	Un detector por despacho o habitación
Sótanos	Un detector por cada cuarto o sección
Área de hasta 1.000 m ²	Un detector por cada 200 m ²
Áreas de hasta 5.000 m ²	Un detector por cada 400 m ²
Áreas muy extensas	Un detector por cada 500 m ²

En cuanto a las frecuencias con las que los estudios de radón deben revisarse, establece que será de diez años en el caso de que no sea necesario mantener en funcionamiento sistemas activos para garantizar que los niveles de radón sean inferiores al nivel de referencia y que en ninguna de las mediciones realizadas se hayan detectado valores superiores a 300 Bq/m³. Para el resto de casos, será cada cinco años.

En cuanto a las pautas sobre la información y participación de los trabajadores, establece que los trabajadores adscritos al centro deberán ser informados del objetivo del estudio de radón y de su realización, así como de las precauciones a adoptar durante el periodo de exposición de los detectores. Durante la fase de diseño del estudio, los trabajadores serán

consultados sobre las zonas en las que permanecen por más tiempo durante su jornada laboral y, finalmente, los trabajadores deberán ser informados de los resultados obtenidos en el estudio y, en el caso de que en alguna de las mediciones se detecten concentraciones de radón superiores a 300 Bq/m³, deberán ser informados de las medidas de vigilancia y protección a adoptar en estas zonas. Además, el informe de resultados estará a disposición de los trabajadores y de sus representantes.

5. Exposición a la radiación gamma procedente de los materiales de construcción

Prácticamente todos los materiales de construcción utilizados en arquitectura o ingeniería contienen, en mayor o menor proporción, radionúclidos de las series del uranio (U-238) y el torio (Th-232), así como K-40.

En el documento “Radiation Protection 112” de la Comisión Europea, publicado en el año 1999, se proponían directrices claras para el control de la radiactividad en determinados materiales de construcción (como el granito, los hormigones o las pizarras), con el objetivo principal de minimizar la exposición a la radiación gamma externa que reciben los ocupantes de los edificios.

En particular, se propone un índice (I) como herramienta conservadora para evaluar la radiactividad en los materiales de construcción. Este índice se calcula utilizando las concentraciones de actividad de los radionucleidos naturales más relevantes:

$$I = \frac{A(Ra-226)}{300} + \frac{A(Th-232)}{200} + \frac{A(K-40)}{3000}$$

donde A es la concentración de actividad de los respectivos radionucleidos en Bq/kg.

Valores del índice inferiores a 1 garantizan que la dosis por radiación gamma para los ocupantes del edificio será inferior a 1 mSv/ sobre el nivel del fondo natural

Como ejemplo práctico, una persona que vive en un apartamento con estructura de hormigón, con una actividad media de 40 Bq/kg, 30 Bq/kg y 400 Bq/kg para el Ra-226, el Th-232 y el K-40, respectivamente, recibirá un incremento de dosis efectiva anual de aproximadamente 0,25 mSv respecto a la que se recibiría de manera natural al aire.

5.1. Marco legal

El marco europeo

En la directiva europea 2013/59, la Comisión Europea, introdujo obligaciones para los fabricantes o suministradores de determinados materiales de construcción en su artículo 75. En este artículo se establece un nivel de referencia de 1 mSv/año para la exposición externa en recintos cerrados a radiación gamma procedente de los materiales de construcción adicionalmente a la exposición externa al aire libre. El apéndice VIII introduce el uso del índice I del documento RP-112, aunque los Estados

miembros pueden aplicar otras herramientas más elaboradas que tengan en cuenta factores como la densidad o el espesor del material.

Como materiales más susceptibles de requerir control regulador se mencionan aquellos de origen ígneo y los materiales que incorporan residuos NORM.

Por último, debe tenerse en cuenta que la Directiva 2013/59/Euratom y el Reglamento (UE) 305/2011 están interrelacionados en cuanto a la seguridad y la comercialización de productos de construcción. Este Reglamento (de aplicación directa en los Estados miembros) establece condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción, asegurando que estos productos cumplan con los requisitos esenciales de seguridad y salud, incluyendo la protección contra la radiación.

El Reglamento (UE) 305/2011 también especifica que los productos de construcción deben llevar el marcado CE, lo que indica que cumplen con todas las normativas aplicables. Esto garantiza que los productos comercializados en el mercado europeo sean seguros y no representen un riesgo para la salud pública.

El grupo de trabajo 3 del CEN/TC 351 del Comité Europeo de Normalización (CEN) tiene como misión desarrollar métodos estandarizados para medir y caracterizar la radiactividad en los productos de construcción y estimar las dosis efectivas que pueden recibir los ocupantes de los edificios a efectos del marcado CE. Hasta el momento ha elaborado las siguientes normas:

- EN 17637:2022. Construction products: Assessment of release of dangerous substances - Dose assessment of emitted gamma radiation.
- CEN/TS 17216:2018. Construction products - Assessment of release of dangerous substances - Determination of activity concentrations of radium-226, thorium-232 and potassium-40 in construction products using semiconductor gamma-ray spectrometry

El marco español

En España, la normativa sobre protección radiológica frente a la exposición a los materiales de construcción en recintos cerrados se encuentra recogida, principalmente, en el título VII, anexo VI y anexo VII del RPSI.

5.2. Protección radiológica frente a los materiales de construcción

El artículo 72 b) del RPSI establece como nivel de referencia para la exposición externa en recintos cerrados a la radiación gamma procedente de los materiales de construcción, 1 mSv por año, adicionalmente a la exposición externa al aire libre. Este nivel de referencia, será de aplicación a los materiales de construcción que se encuentran recogidos en el anexo VI del RPSI. Estos son:

1. Materiales de construcción o aditivos naturales de origen ígneo o que puedan estar asociados a mineralizaciones de uranio, por ejemplo: granitoides (como el granito, la sienita y el ortogneis), pórfidos, toba, puzolana (ceniza puzolánica), lava o esquisto aluminoso.
2. Materiales de construcción que incorporen material radiactivo de origen natural, como cenizas volantes, fosfoyesos o lodos de fosfato, escorias de la producción de fósforo, estaño o cobre, lodos rojos, etc.

Por su parte, el artículo 80 del RPSI establece las obligaciones a que están sometidos los suministradores de estos materiales de construcción, indicando lo siguiente:

1. Los suministradores de los materiales de construcción incluidos en el anexo VI, antes de su comercialización, deberán determinar el contenido radiactivo de los mismos (Ra-226; Th-232 y K-40) a efectos de garantizar el cumplimiento del nivel de referencia establecido en el artículo 72.b). Las determinaciones se harán siguiendo las directrices que establezca el Consejo de Seguridad Nuclear, y sus resultados deberán estar a disposición de este organismo y de la autoridad competente en materia de comercialización de estos materiales.
2. Se considerará que se da cumplimiento al nivel de referencia establecido en el artículo 72.b) cuando el valor del índice IC sea inferior a 1 o, alternativamente, y en el caso de los materiales utilizados como recubrimiento o aislamiento, cuando el valor del índice ID sea inferior a 1. Estos índices se calculan de acuerdo con lo establecido en el anexo VII.
3. Para los materiales de construcción que no satisfagan los requisitos especificados en el apartado 2, exceptuando aquellos cuyo uso previsto sea exclusivamente como revestimiento exterior, podrán establecerse exigencias específicas y restricciones en su uso en edificación cuando puedan afectar a la dosis por radiación gamma externa recibida por los ocupantes del edificio, de manera que se garantice el cumplimiento del nivel de referencia. Estas restricciones se determinarán sobre la base de un cálculo de dosis detallado, según la norma UNE-CEN/TR 17113:2017, Productos de construcción. Evaluación de la liberación de sustancias peligrosas. Radiación emitida por los materiales de construcción. Evaluación de la dosis debida a la radiación gamma (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en enero de 2018), o revisión posterior.

Finalmente, en el anexo VII se recogen las fórmulas mediante las cuales se podrán calcular los índices de concentración de actividad para la radiación gamma emitida por los materiales de construcción.

6. Bibliografía

- DIRECTIVA 2013/59/Euratom, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan las Directivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom y 2003/122/Euratom.
- Real Decreto 1029/2022, de 20 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes. BOE-A-2022-21682.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE-A-2006-5515.
- Plan Nacional contra el Radón. Colección estudios, informes e investigación. Ministerio de Sanidad (2024). Aprobado por el Consejo de Ministros del 9 de enero de 2024.
- Mapa del potencial de radón en España. Consejo de Seguridad Nuclear. <https://www.csn.es/mapa-del-potencial-de-radon-en-espana>.
- Guía de Seguridad 11.1. Directrices sobre la competencia de los laboratorios y servicios de medida de radón en aire. Consejo de Seguridad Nuclear (2010).
- Guía de Seguridad 11.2. Control de la exposición a fuentes naturales de radiación. Consejo de Seguridad Nuclear (2012).
- Guía de Seguridad 11.4. Metodología para la evaluación de la exposición al radón en los lugares de trabajo. Consejo de Seguridad Nuclear (2012).
- Consejo de Seguridad Nuclear, (2015). *Protección radiológica frente a las fuentes naturales de radiación*. Madrid: Tema 3-B-11 (2015) Radiación natural.
- Calavia Giménez, I., & Villanueva Delgado, I. (2024). *Exposición a la radiación cósmica del personal de tripulación de aeronaves*. ALFA, (58), 8.
- Consejo de Seguridad Nuclear. (2010). *Dosis de radiación*. <https://www.csn.es/documents/10182/914805/Dosis%20de%20radiación#:~:text=Radiación%20cósmica&text=La%20dosis%20media%20es%200,0,3%20y%201%20mSv>.
- Consejo de Seguridad Nuclear, (2015). *Radiación natural. Fuentes artificiales de radiación, producción y usos*. Madrid: Tema 1-D-07 (2015) Radiación natural.
- [International](https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_45_1) Commission on Radiological Protection. (2016). *Radiological Protection from Cosmic Radiation in Aviation* (ICRP Publication 132). ICRP. https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_45_1

- R. Sala Escarrabill, A. Real Gallego, D. Pérez Sánchez , J. C. Mora Cañadas (2021).
Guía para la gestión de situaciones de exposición existentes NORM y post-accidente.
CIEMAT (NIPO: 832-21-011-X).