

08-006

**ANALYSIS OF THE ASSESSMENT PROCESS FOR RADON EXPOSURE  
OCCURRING FROM NATURAL SOURCES IN THE OCCUPATIONAL  
ENVIRONMENT***Pérez Moreno, Cristina*<sup>(1)</sup>; *Brocal Fernández, Francisco*<sup>(2)</sup><sup>(1)</sup> Estudiante Universidad Alicante, <sup>(2)</sup> Universidad de Alicante

Radon (Rn-222) is a serious concern for international public health agencies, due to the population size that could be exposed to this gas, and its main property as a carcinogen. Directive 2013/59/EURATOM stands out. This directive foresees the reduction of the maximum levels of radon concentration in enclosed spaces, both in homes and in workplaces and the drafting of a National Preventive Plan. The main objective of this work is to develop an initial approach to carry out a risk assessment for occupational exposure to radon by using the reference levels established in Directive 2013/59/EURATOM as well as the information contained in the mapping of radon potential in Spain. As a main result, a qualitative approach has been proposed to pre-assess occupational risk due to exposure to radon by means of a check-list, that takes into account the working conditions and the structural conditions of the buildings or facilities where the workday takes place. The proposed qualitative approach should be considered as a first phase for the approach to occupational exposure to radon in buildings or facilities. Through future work, this proposal can be extended, calibrated and validated in order to develop a tool with sufficient scientific and technical reliability.

*Keywords: Radon; risk evaluation; occupational risk; ionizing radiation*

**ANÁLISIS DEL PROCESO DE LA EVALUACIÓN DE RIESGOS POR EXPOSICIÓN  
LABORAL A RADÓN PROCEDENTE DE FUENTES NATURALES**

La exposición al radón (Rn-222) constituye una preocupación grave para las agencias internacionales de salud pública, por la dimensión de la población potencialmente expuesta y su principal característica como cancerígeno. Dentro del marco reglamentario de aplicación, destaca la Directiva 2013/59/EURATOM. En dicha directiva se prevé la reducción de los niveles máximos de concentración de radón en espacios cerrados, tanto en viviendas como en los lugares de trabajo así como la redacción de un Plan Nacional preventivo. El objetivo principal de presente trabajo es desarrollar un enfoque inicial con el que llevar a cabo una evaluación de riesgos por exposición laboral al radón mediante el uso de los niveles de referencia establecidos en la Directiva 2013/59/EURATOM y en la cartografía del potencial de radón en España. Como principal resultado, se ha propuesto un enfoque cualitativo para pre-evaluar el riesgo laboral por exposición a radón mediante un check-list, en base a las condiciones de trabajo y las condiciones estructurales asociadas de edificaciones o instalaciones. Dicho enfoque debe considerarse una primera fase para la aproximación al riesgo por exposición laboral al radón. En el futuro, dicha propuesta podrá ampliarse, calibrarse y validarse con objeto de obtener una herramienta con suficiente fiabilidad científico-tecnológica.

*Palabras clave: Radón; evaluación de riesgos; riesgo laboral; radiación ionizante*

Correspondencia: Cristina Pérez Moreno [crisy73@gmail.com](mailto:crisy73@gmail.com)



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

El radón (Rn) es un gas radiactivo e inerte, con la peculiaridad de ser un gas incoloro, inodoro, insípido e invisible que procede de la desintegración natural del uranio produciendo radiación. Su origen es natural, ya que se encuentra en la corteza terrestre, presente en suelos, rocas e incluso disuelto en el agua; convirtiéndose en un potencial de riesgo para la salud de las personas ya sea en sus residencias y/o lugares de trabajo.

El radón es un gas noble que no interacciona con otros elementos químicos, pero tiene la característica de ser un gas extremadamente móvil, por lo que accede al interior de las edificaciones e instalaciones, fluyendo a través de fisuras y/o atravesando materiales plásticos o madera, empleando más o menos tiempo en ello (Quindós et al., 2019). El radón emana fácilmente del suelo y pasa al aire, donde se desintegra y emite partículas radiactivas, su vida media o periodo de semidesintegración es de 3.8 días y sus descendientes son metales. En este proceso de desintegración del radón, se emiten partículas radiactivas, que penetran en el organismo humano a través de la inhalación, heridas o ingerido, depositándose en las células que recubren principalmente las vías respiratorias, donde puede provocar cáncer de pulmón (OMS, 2015).

Tal y como explica Seisdedos (2016) la presencia de uranio en los terrenos donde se asientan las construcciones, produce el origen de su descendiente el  $Ra^{226}$  cuya cadena de desintegración pasar por el  $Rn^{222}$ . El radón, al tener su origen en la desintegración radiactiva de las trazas de uranio y torio, que se encuentran en la gran mayoría de suelos y rocas, siendo éstas principalmente las rocas ígneas, rocas metamórficas y las rocas sedimentarias.

En consecuencia, si las condiciones estructuras y del subsuelo son las adecuadas, debido a la existencia de porosidad en las rocas, fragmentación y/o permeabilidad, estas condiciones permitirán que el radón entre emanado de las rocas la interior de las construcciones, donde se encuentre los lugares de trabajo. Cabe destacar que la tasa de exhalación desde el suelo no es contante, depende de factores climáticos y ambientales, como pueden ser la temperatura, presión, viento y humedad relativa, favoreciendo la concentración en el interior de los lugares de trabajo.

La exposición al radón y sus descendientes, constituyen una preocupación grave para las agencias internacionales de salud pública, por la dimensión de la población que se puede ver expuesta a este gas. Según la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer IARC clasifica este elemento radiactivo como cancerígeno de grupo I, teniendo la evidencia probada que es un agente que se asocia al cáncer de pulmón, producido por la exposición continuada a elevadas concentraciones de radón y sus descendientes, sin perder de vista a las concentraciones medias y bajas de este gas silencioso (Barbosa-Lorenzo et al., 2014).

Según la Organización Mundial de la Salud OMS considera que la exposición a radón constituye la segunda causa de cáncer de pulmón tras el hábito del tabaquismo, por lo que representa el principal agente laboral conocido en relación con el cáncer de pulmón, una vez prohibido el humo procedente del tabaco en los espacios laborales de nuestro entorno laboral (Narocki et al., 2017).

Resaltar tal como indica López-Abente et al., (2017) la existencia de estudios donde se obtienen resultados que apuntan hacia la probable consecuencia de cáncer cerebral y de estómago; no obstante, son necesarios nuevos estudios para confirmarlo.

Entre los estudios y normas de aplicación, cabe destacar la Directiva 2013/59/Euratom del consejo 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.

En la actualidad, todos los estados miembros de la Comunidad Europea deben realizar de forma obligatoria la trasposición de dicha directiva a su propia legislación. La fecha límite que disponen los países miembros, es del 6 de febrero de 2018 (art. 106). Cabe destacar, que la Directiva 2013/59/Euratom prevé la reducción de los niveles máximo de concentración de radón en espacios cerrados, que pasaran de los 1.000 Bq/m<sup>3</sup> a 300 Bq/m<sup>3</sup>, tanto en viviendas como en los lugares de trabajo (art. 54) y la redacción de un Plan Nacional (art. 103) que incluya la prevención frente a la exposición de radiaciones ionizantes en los lugares de trabajo procedentes de fuentes naturales. En la actualidad, España no ha traspuesto dicha directiva, pero si ha realizado modificaciones en el Código Técnico de la Edificación, en el apartado Documento Básico DB-HS Salubridad.

Tras el estudio de las distintas normativas de aplicación, se detecta la inexistencia de una metodología para la evaluación de riesgos por exposición a la concentración de radón en los lugares de trabajo.

## **2. Objetivos**

El objetivo principal del presente trabajo es desarrollar un enfoque inicial con el que llevar a cabo una evaluación de riesgos por exposición laboral al radón mediante el uso de los niveles de referencia establecidos en la Directiva 2013/59/Euratom y la Cartografía del Potencial de Radón en España (García-Talavera y López, 2019).

Los objetivos específicos son analizar el estado actual legislativo, técnico y científico de los distintos órganos competentes en materia de radiación ionizante, para conocer los niveles de referencia y el estado de la norma.

## **3. Metodología**

Con el fin de abordar los objetivos propuesto, se ha llevado a cabo una revisión y análisis de la literatura especializada del estado actual del desarrollo científico, técnico y legislativo en materia de evaluación y gestión del riesgo por exposición a radón en los lugares de trabajo procedentes de fuentes naturales.

En primer lugar, se parte del artículo Exposición laboral a Radón Interiores en España. Estudio Piloto. Proyecto becado por la Fundación Prevent-IV Edición de las Becas I+D en PRL 2015 (Narocki et al., 2017), y de la asistencia al I Seminario On-line de Radón en España, impartido por el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, 2018.

Se procede a la búsqueda de literatura especializada, en las siguientes fuentes y bases de datos: Science Direct y en el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo INSST. Se ha incidido en aquellos artículos, documentos y guías que hablan de radón. Las palabras clave utilizadas para dicha búsqueda han sido: radón, guía, metodología, interiores, evaluación, medidas preventivas, radiación ionizante, cáncer, radon, risk.

Los operadores booleanos utilizados han sido: "AND", "OR", "NOT". Se han combinado las palabras clave utilizadas para la búsqueda con los conectores para poder encontrar artículos válidos para el objeto de estudio. Cabe destacar que la mayoría de los textos estudiados, se han encontrado utilizando el conector "AND" entre dos palabras para poder dar mayor especificidad a la búsqueda, el conector "OR" se ha utilizado junto con palabras que tiene un significado casi idéntico, como guía y metodología, escritas entre paréntesis. Se ha intentado no utilizar el conector "NOT", por ser un operador restrictivo.

Además, se ha realizado búsqueda de literatura gris en Google, es decir, documentos y guías para abordar la exposición a radón publicados por asociaciones y entidades especializadas tanto en España como en el contexto europeo e internacional, sobre

recomendaciones del nivel límite de exposición al gas radón. Esta búsqueda se realiza tanto en español como en inglés.

A continuación, en la tabla 1 se describe las ecuaciones de búsqueda que se han utilizado en cada una de las fuentes de datos utilizados.

**Tabla 1. Búsqueda bibliográfica en bases de datos y literatura gris.**

Bases de datos	Criterios de Inclusión
Google (literatura gris)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- "radón" AND "evaluación"</li> <li>- "radon" AND "risk"</li> <li>- "metodología" AND "radón"</li> <li>- "salud laboral" AND "radón"</li> <li>- "Guía" OR "metodología" AND "radón"</li> </ul>
Science Direct	<ul style="list-style-type: none"> <li>- "radón"</li> <li>- "radón" AND "cáncer"</li> </ul>
INSST	<ul style="list-style-type: none"> <li>- "radón"</li> <li>- "radiación ionizante" AND "radón"</li> <li>- "radón" AND "interiores"</li> </ul>

Se localizaron 53 estudios inicialmente, aunque se excluyeron 20 que no eran relevantes para el presente estudio. Finalmente se seleccionan 33 estudios, de los cuales 9 eran estudios originales (artículos científicos) y 24 procedentes de literatura gris (6 guías, 5 legislación nacional, 10 NTP y 3 artículos técnicos).

Los criterios de inclusión y exclusión que se han utilizado, se resumen en la siguiente tabla 2:

**Tabla 2. Criterios de Inclusión y exclusión en estudios originales y literatura gris.**

	Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
Estudios originales (artículos científicos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sin fecha límite de publicación.</li> <li>- Radiación ionizante de fuentes naturales.</li> <li>- Radón residencial y cáncer.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Radiación ionizante procedente de fuentes artificiales.</li> <li>- Estudios que no provienen de fuentes reconocidas de prestigio.</li> <li>- Artículos personales y blogs.</li> </ul>
Literatura Gris	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sin fecha límite de publicación.</li> <li>- Radiación ionizante de fuentes naturales</li> <li>- Legislación aplicable a lugares de trabajo y residencial.</li> <li>- Guías para la prevención frente a la exposición laboral a radón.</li> <li>- Protocolos de medición de radón</li> <li>- Metodología para la evaluación de la exposición al radón residencial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Artículos personales y blogs.</li> </ul>

#### 4.Resultados

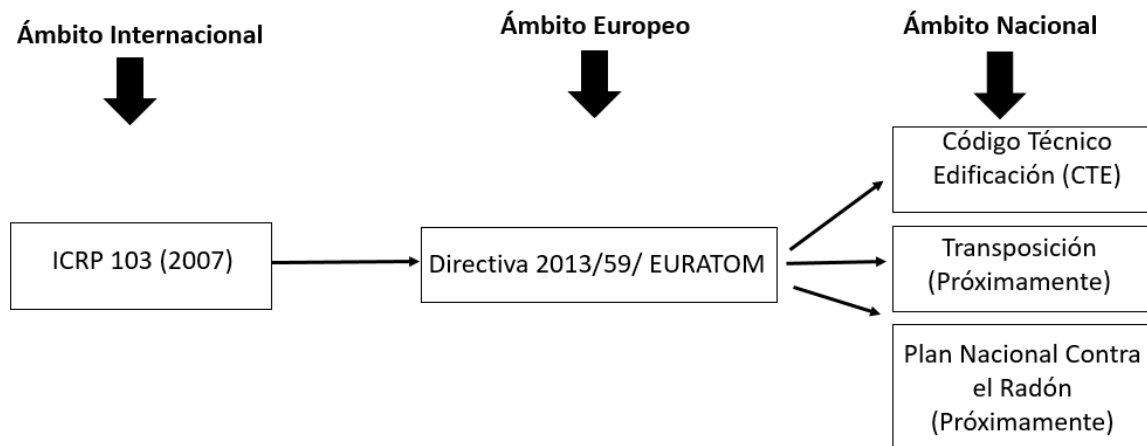
Tras el estudio de las distintas normativas y criterios técnicos, clasificados según el ámbito de aplicación y su aplicabilidad (residencial o lugares de trabajo), se presenta el primer resultado, siendo un diagrama relacional de la normativa y criterios técnicos tal como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Diagrama relacional normativa y criterios técnicos.

RADÓN	ÁMBITO INTERNACIONAL	EUROPEO	NACIONAL	CRITERIOS TÉCNICOS DE REFERENCIA
LUGARES DE TRABAJO	Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards (IAEA) Manual de la OMS sobre el Radón en Interiores Una expectativa de salud pública (ICRP) ICRP Publication 65 Protection Against Radon-222 at Home and at Work (ICRP)	Manual de la OMS sobre el Radón en Interiores Una expectativa de salud pública (EPA) Protección de los trabajadores frente a la radiación (OIT) Directiva 2013/59 Norma de seguridad básica para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes	RD 773/1997 Disp. mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. RD 665/1997 Prot. trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo. RD 783/2001 Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. Inexistencia transposición de la Directiva EU en España	Instrucción IS-33, Criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación natural(CSN) Estrategia Española de Seguridad y Salud en el Trabajo 2015-2020(INSHT) NTP 728: Exposición laboral a la radiación natural Guía de Seguridad 11.3 Metodología para la evaluación del impacto radiológico de las industrias(CSN)
	ICRP Publication 103 The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection(ICRP) Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation(IAEA) Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation(IAEA)		List of Agents Classified by the IARC Monograph. List of Classifications, volumes 1-123 (IARC)	Borrador Anejo II del DB HS 6 Protección frente a la exposición al radón RD 140/2003 Criterios sanitarios de la calidad del agua del consumo humano Preguntas frecuentes sobre radón en viviendas (CSN) NTP 440: Radón en ambientes interiores

Para entender en que se han basado cada una de las normas principales, se representa la síntesis del diagrama relacional en la figura 2.

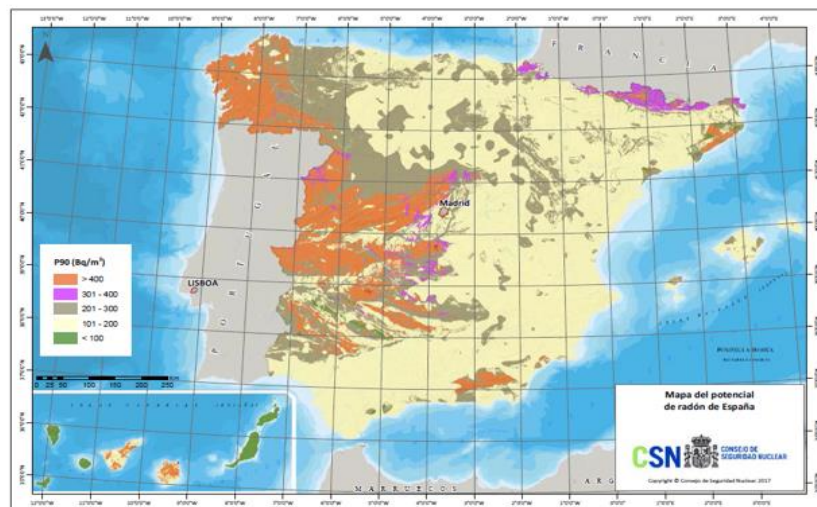
Figura 2. Esquema cronológico por ámbitos geográfico (adaptado de García, 2013).



Como segundo resultado, se obtiene el análisis del proceso de la evaluación del riesgo por exposición al radón. A continuación, se expone la metodología y criterios que se deben seguir, para realizar una evaluación cualitativa, sin realizar mediciones cuantitativas en los lugares de trabajo.

Los criterios que se han aplicado para la valoración del nivel de riesgos a la exposición a radón, parten del Mapa de Potencial de Radón de España (CSN, 2019) tal como se muestra en la figura 3, el cual determina a lo largo del territorio nacional, las zonas geográficas más expuestas a este gas, basado en un criterio homogéneo. La identificación se hace integrando las más de 12.000 medidas de radón en viviendas recopiladas por el Consejo de Seguridad Nuclear CSN con otras dos fuentes de información ambiental: el Mapa de Radiación Gamma Natural en España (MARN, 2000) y el Mapa litoestratigráfico de España (IGME, 2009), sustituyendo de esta forma el anterior Mapa Predictivo de Exposición al Radón publicado por el CSN en 2013, el cual estaba únicamente basado en el MARN,2000 (CSN, 2019).

**Figura 3. Cartografía Potencial de Radón de España (CSN, 2019).**



Estos mapas son generados para el cumplimiento de la Directiva 2013/59/Euratom, y el cumplimiento de disponer de una herramienta básica del Plan Nacional contra el Radón, sirviendo como política de prevención y protección contra el radón.

En este estudio se utilizan los niveles de regencia establecido por la Directiva 2013/59/Euratom, correspondiente a 300 Bq/m<sup>3</sup>, ya que, como punto de partida para la evaluación cualitativa, se partirá del Mapa del Potencial de Radón de España, editada por el CSN en el 2019.

Los criterios para la valoración del nivel de riesgo frente a la exposición a radón procedente de fuentes naturales, que se van a seguir para la presente evaluación son:

Nivel de riesgo bajo: < 150 Bq/m<sup>3</sup>

Nivel de riesgo medio: 150-300 Bq/m<sup>3</sup>

Nivel de riesgo alto: > 300 Bq/m<sup>3</sup>

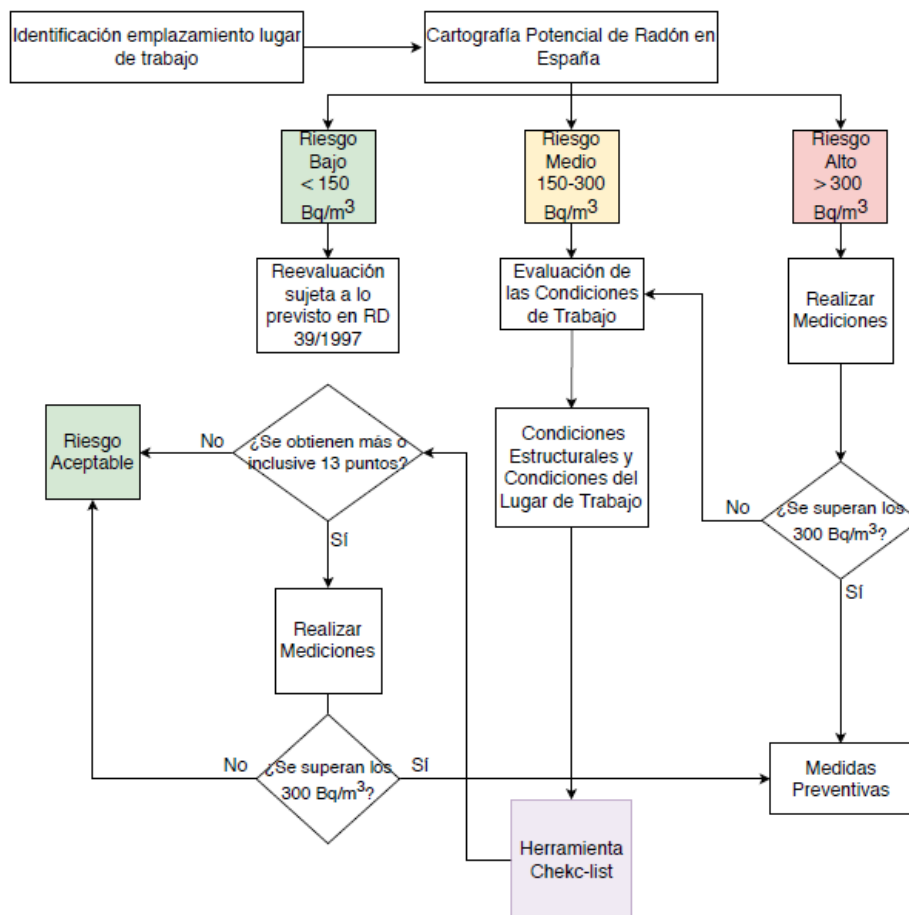
En la actualidad, se deberían utilizar los criterios establecidos en la Instrucción IS-33, siendo complementaria del RD 783/2001 del Reglamento sobre protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes RPSRI, correspondiente a 600 Bq/m<sup>3</sup> como nivel de alto riesgo. Pero dada la metodología que se presenta a continuación, y que los valores que España transponga tras la entrada en vigor de la Directiva 2013/59/Euratom, no podrán ser más elevados de los indicados en dicha Directiva, pero si podrán ser más restrictivos.

Cabe destacar que la presente metodología de evaluación de la exposición a radón en lugares de trabajo, podrá ser reacondicionada a los niveles de referencia que se estipulen en la transposición.

Los criterios de valoración que se presentan, son válidos para lugares de trabajos situados en área identificada, que a priori son aquellas indicada en la Cartografía del Potencial de radón de España (CSN, 2019). Quedando exentos de este criterio las industrias NORM (CSN, 2018).

El siguiente procedimiento, se propone como medida inicial previa para la evaluación de la presencia de gas radón y sus descendientes de vida media corta, sin realizar ningún tipo de medición, siendo de carácter cualitativo. Pero no por ello, se eliminará la realización de medidas de concentración, ya que esta propuesta no pretende eliminar la fase de medición, sino, aportar información desde el primer momento, para ver si es necesario realizar mediciones y aplicar medidas preventivas. Para ello se plantea el siguiente diagrama de decisiones, tal como se muestra en la figura 4.

**Figura 4. Diagrama del proceso del análisis del riesgo.**



Como se puede observar en la figura 4, diagrama de del proceso del análisis del riesgo, si se obtiene que el riesgo es bajo o alto, está clara la forma en que se debe actuar frente a dichos niveles de referencia. Si se obtiene que el nivel es bajo, se tendrá que realizar reevaluaciones cada año o si cambian las condiciones estructurales o de trabajo, tal como se indica en el RD 39/1997. Sin embargo, si el nivel es alto, directamente se tendrá que realizar mediciones, ya que se supera el nivel de referencia de 300 Bq/m<sup>3</sup> establecidos en la Directiva 2013/59/Euratom.



El inconveniente proviene cuando el resultado de utilizar el diagrama propuesto, se considera riesgo medio, ya que representa que la contracción de radón que puede existir en los lugares de trabajo oscila entre 150-300 Bq/m<sup>3</sup>, de ahí se extrae la necesidad de realizar el estudio de las condiciones estructurales y condiciones de trabajo, para obtener mayor información que nos indique si existe mayor probabilidad de estar en un riesgo elevado o en un riesgo bajo. Por ello, se desarrolla el siguiente check-list, siendo una propuesta inicial considerándose una pre-evaluación que permite analizar de forma cualitativa la presencia de gas radón en lugares de trabajo.

El check-list se ha creado para la obtención de una puntuación, que se clasificará según la probabilidad de concentración de gas radón y sus descendientes en los espacios de trabajo, tal como se muestra en la figura 5.

Posterior a este Check-list, se representa la leyenda de los valores que se pueden obtener en la figura 6, para conocer si el riesgo es inaceptable, tolerables o aceptables:

**Figura 5. Evaluación condiciones estructurales y laborales.**

<b>EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES ESTRUCTURALES Y CONDICIONES LABORALES</b>			
<b>Check List</b>			
	<b>Elemento a comprobar</b>	<b>Calificación de la probabilidad del riesgo de concentración de radón</b>	<b>Valor Obtenido</b>
<b>1</b>	<b>Situación en el edificio o instalación</b>		
1.1	Ubicación en Sótano	Clasificación 3	
1.2	Ubicación en Planta Baja	Clasificación 2	
1.3	Ubicación en 1º, 2º, etc. Plantas	Clasificación 1	
<b>2</b>	<b>Pendiente del Terreno</b>		
2.1	Edificio o Instalación enclavada en el terreno	Clasificación 3	
2.2	Edificio o Instalación semi-enclavada en el terreno	Clasificación 2	
2.3	Edificio o Instalación sobre el terreno	Clasificación 1	
<b>3</b>	<b>Materiales de Construcción</b>		
3.1	Materiales de origen granítico	Clasificación 3	
3.2	Materiales de origen arcilloso	Clasificación 2	
3.3	Materiales de origen arena y hormigón	Clasificación 1	
<b>4</b>	<b>Ventilación en el lugar de trabajo</b>		
4.1	No existe ni ventilación forzada ni natural	Clasificación 3	
4.2	Ventilación natural	Clasificación 2	
4.3	Ventilación forzada	Clasificación 1	
<b>5</b>	<b>Tiempo de exposición en el lugar de trabajo</b>		
5.1	Tiempo exposición igual o superior a 8 horas	Clasificación 3	
5.2	Tiempo exposición entre 4 y 6 horas	Clasificación 2	
5.3	Tiempo exposición inferior a 4 horas	Clasificación 1	
<b>6</b>	<b>Esfuerzo físico</b>		
6.1	Actividad física	Clasificación 3	
6.2	Actividad física y sedentario	Clasificación 2	
6.3	Sedentario	Clasificación 1	
<b>Total</b>		<b>Sumatorio de los valores de cada condición</b>	



**Figura 6. Leyenda clasificación probabilidad concentración Rn.**

Leyenda:	
<b>Clasificación probabilidad concentración Rn</b> Clasificación 1: nivel de riesgo Bajo Clasificación 2 : nivel de riesgo Medio Clasificación 3 : nivel de riesgo Alto	
<b>Probabilidad Sumatorio Condiciones</b>	
Inaceptable	13-18
Tolerable	7-12
Aceptable	0-6

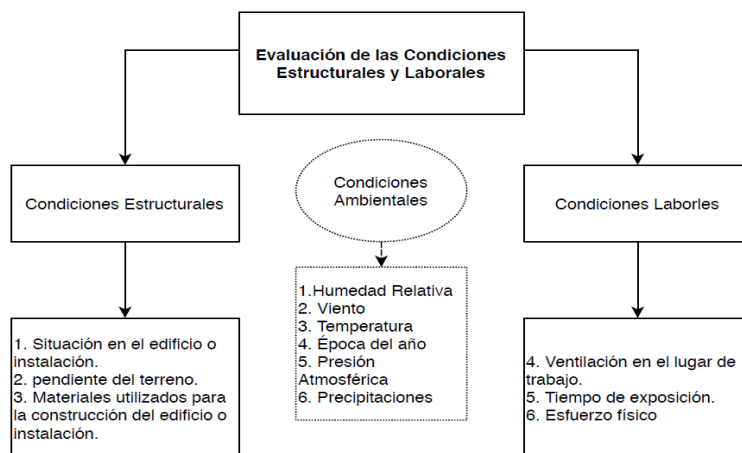
Los criterios en los que se base el Check-list, se ha clasificado en tres niveles:

- Nivel de riesgo bajo: puntuación 1. Ésta clasificación se evalúa con un punto, ya que se considera que el riesgo nunca puede ser nulo (INSHT, 1997), siempre existe una probabilidad de que en nuestro centro de trabajo se pueda albergar el radón, por consiguiente, se califica con 1 para transmitir que el riesgo aun siendo bajo, no es nulo.
- Nivel de riesgo medio: puntuación 2. Se establece para representar un valor medio entre los tres niveles establecidos.
- Nivel de riesgo alto: puntuación 3. El cual se valora con la mayor puntuación, ya que se considera que es la probabilidad más dañina a la que puede estar expuesta una persona.

El criterio para la obtención de la probabilidad de disponer de la concentración de gas radón en interiores, según el check-list, se basa en la estimación de las condiciones más desfavorables que pueden encontrarse en los lugares de trabajo. El presente estudio se basa en la calibración de matrices de riesgo para la seguridad en los procesos, tal como indica Baybutt (2015).

Prosiguiendo con el desarrollo de los criterios utilizados para la creación el Check-list, se han tenido en cuenta las siguientes condiciones, tal como se muestra en la figura 7.

**Figura 7. Diagrama condiciones a evaluar.**



Las condiciones estructurales y laborales se han tenido en cuenta ya que se pueden cuantificar de forma más o menos sencillas. Sin embargo, en el presente estudio no se han

plasmado las condiciones ambientales, debido a su variabilidad en el tiempo, tal como se muestra en la figura 8 con líneas discontinuas. Cabe destacar que, al no incluir las condiciones ambientales, existe incertidumbre asociada que puede ser relevante cuanto se tengan resultados que estén en la zona límite, es decir, cuando el nivel de riesgo sea medio (150-300 Bq/m<sup>3</sup>).

Las variables climáticas como pueden ser la humedad relativa, el viento, la temperatura, la lluvia, la época del año, la presión atmosférica y las precipitaciones pueden influir en las mediciones de radón. Las mayores concentraciones se suelen producir en las épocas del año más frías, es decir en invierno y otoño, ya que la ventilación en los interiores suele ser menos en esta época del año. Las infiltraciones de aire que se producen por el viento, modifican las concentraciones de radón. Sin embargo, las modificaciones de las presiones atmosféricas afectan de distinta manera al espacio intersticial de los poros del terreno, por lo que produce un cambio en el gradiente de presión que modifica el flujo convectivo, que se traduce en una mayor exhalación de radón en periodos de bajas presiones. Se concluye que para la evaluación cualitativa no se tendrán en cuenta, pero no por ello dejan de ser importantes.

## **5. Discusión y Conclusiones**

Mediante la revisión y análisis bibliográfico han sido identificadas las diferencias existentes entre los niveles de referencia establecidos en la Directiva 2013/59/Euratom de 300 Bq/m<sup>3</sup> frente a los 600 Bq/m<sup>3</sup> que marca en la actualidad el RD 783/2001.

En referencia al resultado obtenido al diagrama de la identificación de la exposición a radón en lugares de trabajo, cabe destacar que se base en la Cartografía del Potencial de Radón en España (CSN, 2019), el cual se basa en más de 12.000 mediciones de concentración de radón en viviendas, en el Mapa de Radiación Gamma Natural en España (MARN, 2000) y por último en el Mapa Litoestratigráfico de España (IGME, 2009), considerándose que la escala utilizada en el mapa litoestratigráfico 1:200.000 es muy elevada, ya que la identificación del terreno puede variar a escala más pequeñas. La otra variable que se tiene en consideración, consta de mediciones realizada en distintas viviendas de España, pero solamente han sido algo más de 12.000 mediciones, considerándose insuficiente para delimitar zonas geográficas con posibilidad de exhalar radón al interior de edificios o instalaciones.

Cabe destacar, que es la primera descripción cualitativa del análisis del riesgo en contexto laboral que se presenta, en la cual no se contempla la realización de mediciones a priori.

El Check-list presentado, también es la primera propuesta de una herramienta cualitativa en fase de pre-evaluación del riesgo por exposición a radón en lugares de trabajo, con la limitación de no haberse incluido las condiciones ambientales, ya que representa un valor que se debe tomar en consideración, principalmente porque se deben realizar mediciones y que los cambios de estación, temperatura y presión atmosférica son variables en función del tiempo. Por lo tanto, dicho enfoque no debería considerarse nada distinto de una primera fase para la aproximación al riesgo por exposición laboral al radón en edificios o instalaciones. Se sugiere continuar investigando, teniendo en cuenta especialmente las condiciones ambientales con mayor precisión, con el objeto de calibrar y validar el enfoque cualitativo propuesto y consecuentemente obtener una herramienta con suficiente fiabilidad científica.

A modo de epílogo, enfatizar que el contenido de la comunicación es de carácter orientativo y cualitativo, presentado un acercamiento hacia la posibilidad de poder realizar una pre-evaluación y obtener una idea aproximada de la concentración de radón que pueda existir en los lugares de trabajo.

## Referencias Bibliográficas

- Barbosa-Lorenzo, R., Ruano-Ravina, A., Carderia, S. & Barros-Dios, J. (2014). Radón residencial y cáncer de pulmón. Un estudio ecológico en Galicia. *ELSEVIER*, 144(7), 304-308.
- Barros-Dios, J.M. (2018). El radón y salud pública. I Seminario on-line de radón en España. Ilustre Colegio Oficial de Geólogos. 2018. On-line. España.
- Baybutt (2015). Calibration of risk matrices for process safety. *ELSEVIER*, 38, 164-168.
- Consejo de Seguridad Nuclear (2019). *Cartografía del Potencial de Radón de España* (Colección Informes Técnicos 51.2019). Madrid, España.
- Consejo de Seguridad Nuclear (2018). *Guía de Seguridad 11.4. Metodología para la evaluación de la exposición al radón en lugares de trabajo*. (Colección Guías de Seguridad GSG-11.4). Madrid, España.
- Consejo de Seguridad Nuclear (2013). *Mapa Predictivo de Exposición al Radón en España*. (Colección Informes Técnicos 38.2013). Madrid, España.
- España. Orden FORM/588/2017, de 15 de junio, por la que se modifica el Documento Básico DB-HE "Ahorro de energía" y el Documento Básico DB-HS "Salubridad" del Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. *Boletín Oficial del Estado*, 23 de junio de 2017, núm. 149, pp. 51621-51626.
- España. Instrucción IS-33, de 21 de diciembre de 2011, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre criterios radiológicos para la protección frente a la exposición a la radiación. *Boletín Oficial del Estado*, 26 de enero de 2012, núm. 22, pp. 6833-6838.
- España. Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes. *Boletín Oficial del Estado*, 26 de julio de 2001, núm. 178, pp. 27284-27393.
- España. Ley 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. *Boletín Oficial del Estado*, 31 de enero de 1997, núm. 27, pp. 3031-3045.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo (1997). *NTP 440: Radón en ambientes interiores* (Serie 13). Madrid, España.
- López-Abente, G., Núñez, O., Fernández-Navarro., Barros-Dios, J.M., Martín-Méndez, I., Bel-Lan, A., Locotura, J., Quindós, L., Sainza, C. & Ruano-Ravina, A. (2017). Residential radon and cancer mortality in Galicia, Spain. *ELSEVIER*, (610-619), 1125-1132.
- Narocki, C., Ruano-Raviña, A., López, M.J. & Barros, J.M. (2015). Exposición laboral a Radón Interior en España. Estudio Piloto. Proyecto becado por la Fundación Prevent-IV Edición de las Becas I+D en PRL.

Organización Mundial de la Salud (2015). *Manual de la Organización Mundial de la Salud sobre el radón en interiores. Una perspectiva de Salud Pública*. (número de publicación ISBN 978 92 4 354767 1). Ginebra, Suiza.

Piedecausa, B., Chinchón, S., Morales, M.A. & Sanjuán, M.A. (2011). Reactividad natural de los materiales de construcción. Aplicación al hormigón. Parte II. Radiación interna: gas radón. *Revista Técnica CEMENTO HORMIGÓN*, 946,34-50.

Quindós, L., Sainz, A., Fuente, I., Fernández, A., Celaya, S., Rábago, D., Quindós L., Fernández, E., López, D., Quindós, J. & Gutiérrez, M. (2019). *Guía. El gas Radón en el ámbito Laboral*. Madrid: Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social. Financiado por: Fundación Estatal para la prevención de riesgos laborales, F.S.P.

Seisdedos, M. (2016). *Mapa del riesgo de exposición al gas radón en las viviendas de la Comunidad de Madrid*. Trabajo Final de Máster en Tecnologías de la Información Geográfica. Obtenido de E-Print Complutense. Madrid. (ID 46341)

Unión Europea. Directiva 2013/59/Euratom del Consejo, de 5 de diciembre de 2011, 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. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 17 de enero de 2014, núm. 13, pp. 1-73.

### Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

