

**TRABAJO PRÁCTICO**  
**DIPLOMADO EN SALUD PÚBLICA 2017**



**EL RADON Y SUS IMPLICACIONES EN SALUD  
PÚBLICA. TIEMPO DE PASAR A LA ACCIÓN.**

**Autor: Jorge Tobajas Belvís.**

## ÍNDICE:

### RESUMEN

### ABSTRACT

1. INTRODUCCIÓN .....	4
2. OBJETIVOS.....	8
3. METODOLOGÍA .....	8
4. RESULTADOS.....	9
5. DISCUSIÓN.....	16
6. CONCLUSIONES .....	18
7. BIBLIOGRAFÍA .....	19

### ANEXOS

- Mapa predictivo de exposición al radón en España.

TABLA 1: Concentraciones de radón en interiores en países de la OCDE.

TABLA 2: Características de diferentes dispositivos de medición de gas radón.

TABLA 3: Principales acontecimientos relacionados con el efecto del radón sobre. La salud y la protección de la población frente a este factor de riesgo.

- Categoría de exposición al radón en Cáceres y Badajoz.

### INDICE DE ABREVIATURAS :

CP- CANCER DE PULMON

FR- FACTOR DE RIESGO

BQ- BECQUERELIOS

## **RESUMEN**

El objetivo de esta revisión bibliográfica es conocer los efectos negativos del radón sobre la salud, entre los que destaca el cáncer de pulmón, y enumerar una serie de recomendaciones para disminuir los niveles de radón en las viviendas.

Realizamos un análisis específico de la muestra, la intervención, la medición y los resultados de los artículos seleccionados.

Podemos afirmar que el radón es el segundo Factor de Riesgo para el cáncer de pulmón, y además, la interacción entre la exposición a radón en las casas y el hábito tabáquico del residente, resulta ser claramente potenciadora del riesgo.

“Antes de cambiar el mundo, da tres vueltas por tu casa”. (Proverbio chino)

## **ABSTRACT**

The objective of this literature review is to know the negative effects of radon on health, including lung cancer, and to list a series of recommendations to reduce radon levels in homes.

We carry out a specific analysis of the sample, the intervention, the measurement and the results of the selected articles.

We could say that radon is the second risk factor for lung cancer, and in addition, the interaction between exposure to radon in the homes and the resident's smoking habit, is clearly a risk enhancement.

“Before changing the world, go around three times around your house.” (Chinese Proverb)

## 1. INTRODUCCIÓN

Los riesgos que las radiaciones ionizantes suponen para la salud humana son conocidos. Entre las fuentes de radiación ionizante de origen natural, el gas radón es con mucho la más importante, representa el 50% de toda la radiación que afecta al ser humano a lo largo de su vida.

El radón es la segunda causa de cáncer de pulmón en la población general después del tabaco. Los estudios epidemiológicos han demostrado convincentemente una asociación entre la exposición al radón en interiores y el cáncer de pulmón, incluso para los niveles de radón relativamente bajos que suelen existir en los edificios residenciales. Sin embargo, hasta ahora los esfuerzos para actuar en consecuencia y reducir el número de casos de cáncer de pulmón asociados a la exposición al radón solo han tenido éxito en muy pocos países.

El radón es un gas radiactivo que emana de rocas y suelos y tiende a concentrarse en espacios cerrados como minas subterráneas o casas. La infiltración de gases del suelo está reconocida como la fuente más importante de radón residencial. El resto de fuentes, entre las que figuran los materiales de construcción y el agua extraída de pozos, son menos importantes en la mayoría de las circunstancias. El radón contribuye de forma destacada a la dosis de radiación ionizante recibida por la población general (1).

Fue descubierto en 1900 por Friederich Ernst Dorn, su peso atómico fue determinado por Ramsay y Whytlaw-Gray a finales de la primera década del siglo XX. Desde que en 1985, se detectó un nivel de radiación en el domicilio de Stanley Watson, empleado de una central nuclear de Pennsylvania, equivalente a varios cientos de veces la existente en las galerías mineras de uranio y no proveniente de su trabajo diario, se fue asentando el conocimiento científico sobre la segunda causa de cáncer de pulmón, después del hábito tabáquico.

El radón (radón-222) es un gas natural procedente de la cadena de desintegración del uranio-238y, por tanto, ubicuo en la naturaleza. La inhalación de radón y de sus descendientes de vida corta constituye la principal fuente de radiación ionizante para la población en general, tres órdenes de magnitud superior a la que representan las centrales nucleares para los habitantes que residen en su entorno.

Mientras que el radón no suele presentar niveles altos al aire libre, en las viviendas tiende a acumularse y puede dar lugar a concentraciones muy elevadas, especialmente en zonas con suelos muy permeables o con un alto contenido de radio-226. Determinadas actividades laborales (como la minería subterránea o la explotación de las aguas termales) pueden conllevar, además, un riesgo significativo de exposición a este gas.

Puesto que la exposición prolongada a niveles elevados de radón implica un grave riesgo para la salud,diversos organismos internacionales, así como un buen número de países, han emitido recomendaciones o normativa de carácter obligatorio con el fin de controlar las exposiciones al radón tanto en las viviendas como en los lugares de trabajo.

El mapa predictivo de exposición al radón en España se basa exclusivamente en la relación de la concentración del radón en las viviendas con la tasa de exposición a la radiación gamma, e, indirectamente, con la concentración de radio-226 en el suelo. No obstante los niveles de radón en una vivienda dependen de la interrelación compleja de un gran número de variables.

El transporte difusivo describe adecuadamente la migración de radón de un suelo insaturado a la atmósfera. En razón de este mecanismo, los átomos de radón se desplazan en función de los gradientes de concentración hacia los lugares donde la concentración es más baja.

Los niveles de radón en una vivienda dependen de la interrelación compleja de un gran número de variables:

- La permeabilidad: a mayor permeabilidad más altas son las concentraciones de radón registradas en las viviendas, las arcillas y arenas son más porosas que calizas ígneas o metamórficas.
- Fallas activas: la actividad de las fallas geológicas se encuentra correlacionada con la concentración de radón en el gas del suelo
- El régimen pluviométrico: El grado de humedad del suelo es uno de los factores que más condiciona el transporte de radón.
- La topografía: Las viviendas situadas en una ladera, dónde los suelos suelen estar bien drenados y compuestos de materiales más permeables, presentan, en general, niveles de radón más altos que las casas situadas en zonas llanas o de valle (2).

Otro factor que influye son las características constructivas de la vivienda, al ser más denso que el aire se acumula en sótanos y garajes.

Los cambios de presión atmosférica son importantes en las variaciones de concentración de Radón, a mayor presión menor concentración de radón.

El radón es incoloro, inodoro e insípido que procede del uranio que contienen las rocas de la corteza terrestre. Al emanar del subsuelo, el radón se acumula en el interior de lugares cerrados, como pueden ser las viviendas y los lugares de trabajo. Hay tres tipos de isótopos de radón, 222, 220 y 219, que dependen del isótopo de uranio que es la cabeza de la serie radiactiva. Aproximadamente el 80% de todo el radón que existe en el ambiente es radón 222, siendo el más relevante desde el punto de vista epidemiológico.

El radón 222 tiene una vida media de 3,8 días, y debido a esta vida media no constituye un riesgo en sí mismo al ser inhalado. El problema viene dado por sus descendientes, el polonio 218 y el polonio 214, que tienen una vida media mucho más corta, pero que se vinculan a partículas que al ser inhaladas quedan retenidas en diferentes tramos del aparato respiratorio; estos descendientes de vida media corta emiten radiación alfa (radiación ionizante, al igual que el radón 222) que, si bien es muy poco penetrante, libera toda su energía en unos micrómetros.

De este modo, al inhalarse la partícula sólida con descendientes de vida media corta, la radiación alfa impacta en las células del epitelio pulmonar, produciendo alteraciones moleculares y finalmente cáncer de pulmón. La exposición al radón supone más de la mitad de la radiación que recibirá un ser humano a lo largo de su vida (3).

Los efectos del radón sobre la salud, especialmente el cáncer de pulmón, se han investigado a lo largo de varias décadas. Inicialmente, las investigaciones se centraron en los trabajadores de minas subterráneas expuestos a concentraciones de radón elevadas en su entorno ocupacional.

Sin embargo, a principios de la década de los 80 se llevaron a cabo varios estudios de medición de las concentraciones de radón en viviendas y otros edificios, cuyos resultados, junto con estimaciones del riesgo basadas en los estudios sobre mineros, proporcionaron pruebas indirectas de que el radón podría ser una causa importante de cáncer de pulmón en la población general. Recientemente, las investigaciones directas de la asociación entre el radón en interiores y el cáncer de pulmón han aportado pruebas convincentes de que existe una relación causal entre el radón (incluso en los niveles presentes habitualmente en los edificios) y un aumento del riesgo de cáncer de pulmón.

La evaluación de los riesgos derivados del radón tanto en minas como en entornos residenciales ha aportado un conocimiento claro sobre los riesgos para la salud debidos al radón. Actualmente, el radón está reconocido como la segunda causa de cáncer de pulmón en la población general después del tabaco.

En España la incidencia de CP en el año 2015 fue de 22.430 casos. Anualmente fallecen decenas de miles de personas por cáncer de pulmón, unos 2000 españoles mueren al año por contaminación por radón. Supone un 2% de las muertes totales por cáncer (estimación SEOM, 2012).

La Organización Mundial de la Salud llamó primero la atención sobre los efectos Radón residencial en 1979, a través de un grupo de trabajo europeo sobre calidad del aire.

El radón fue clasificado como carcinógeno humano en 1987 por la Agencia de Protección Ambiental de EEUU y en 1988 por el IARC (INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER). El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC, un organismo de la OMS) clasifica el radón como carcinógeno demostrado para el ser humano, lo que lo sitúa en el mismo grupo de carcinógenos del CIIC que el humo de tabaco, el amianto y el benceno (CIIC 1988).

La OMS dice que para limitar el riesgo individual se recomienda establecer un nivel de referencia nacional de 100 Bq/m<sup>3</sup>. En los casos en que no sea posible, el nivel seleccionado no debería superar los 300 Bq/m<sup>3</sup>. Por otra parte, la Directiva Europea 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 (Diario Oficial de la Unión Europea (17 de enero de 2014), indica que no deben superarse los 300 Bq/m<sup>3</sup> en viviendas y lugares de trabajo. Esta directiva debe trasponerse a los estados 2018.

En estos momentos el Ministerio de Fomento ha trasladado a las CC.AA. Un Nuevo Código de Edificación para su informe y adaptación que debería clasificar las zonas del país, en bajo, medio y alto riesgo. En Extremadura, estas últimas serán numerosas y, si se siguen los modelos de otros países, la normativa debería incluir la recomendación de la medir el radón en las viviendas y la subsiguiente reducción de su concentración si es alta.

Además, se trataría de introducir nuevas tecnologías en la construcción de las nuevas edificaciones, para hacerlas “impermeables” al radón, en aquellas zonas de alto riesgo, así como la facilitación de reformas en las ya construidas que lo necesiten. Las técnicas para ello llevan más de tres décadas utilizándose en Norte América y numerosos países de Europa.

La medición de radón interior es un proceso sencillo. Se pueden usar detectores pasivos, que deben permanecer en el lugar a medir un mínimo de tres meses y detectores en continuo, que proporcionan una media de la concentración de radón en 3-4 días (4). Hay otros detectores que permiten realizar las mediciones en poco tiempo, pero los resultados no son tan fiables.

La concentración de radón en interiores varía según la construcción de los edificios y los hábitos de ventilación.

Además, la concentración varía sustancialmente no solo según las estaciones, sino también de un día a otro e incluso de una hora a otra. Debido a esas fluctuaciones, estimar el promedio anual de la concentración de radón en el aire de interiores requiere mediciones fiables de la concentración media de radón durante al menos tres meses, y preferiblemente durante más tiempo.

Las mediciones de poca duración solo proporcionan una indicación grosera de la concentración real de radón. A fin de asegurar la calidad de las mediciones es muy recomendable que exista un programa de garantía de calidad para los dispositivos de medición de radón.

Deben ser realizadas durante los meses más fríos. Siempre es mejor hacerlo en esa época porque es cuando las ventanas están cerradas, lo que dificulta la ventilación de la vivienda y a su vez aumenta la concentración de radón. De ese modo, los datos obtenidos son más fiables que los que tendría en caso de hacer la medición en verano.

Abordar el radón es importante tanto en la construcción de nuevos edificios (prevención) como en los edificios existentes (mitigación o remediación). Dado que el público en general no es consciente de los riesgos asociados con el radón en el interior, se recomienda una comunicación especial de riesgo.

La normativa española afecta sólo al ámbito laboral (RD 783/2001 de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones, modificado por RD 1439/2010 e Instrucción IS-33 del Consejo de Seguridad Nuclear). Dicha instrucción indica que los titulares de actividades laborales deberán determinar la exposición a radón en ciertos lugares de trabajo: cuevas y galerías, establecimientos termales y lugares de trabajo subterráneos y no subterráneos, en áreas identificadas por sus valores elevados de radón, entre otros.

## **2. OBJETIVO**

### **GENERAL:**

Conocer los efectos nocivos para la salud debidos a una exposición prolongada de niveles elevados de radón residencial, fundamentalmente en el cáncer de pulmón.

### **ESPECIFICO:**

a) Otros efectos del radón en la salud.

b) Concretar una serie de recomendaciones para disminuir los niveles en viviendas y lugares de trabajo.

Considerar que Extremadura y sobre todo el norte de Cáceres son zonas potenciales de riesgo, debido a la geología del suelo, calificada así por el Consejo de Seguridad Nuclear.

Hasta el momento es escaso el interés de las administraciones públicas sobre el radón siendo el 2º FR del cáncer más importante en nuestra sociedad, el de pulmón.

Los gobiernos se deben poner manos a la obra para actuar ante esta evidencia y llevar a cabo medidas en la prevención de la exposición al Radón.

## **3. METODOLOGÍA**

En este trabajo se recoge una revisión bibliográfica de información sobre el Radón en internet, a través buscadores ( pubmed , Biblioteca virtual de salud, scholar google ...), también se busco en la biblioteca virtual “scielo” ( Scientific Electronic Library Online).

Se consiguió información relevante para nuestro objetivo y estudios variados pero nos vamos a centrar básicamente en el radón interior y el cáncer pulmón. El periodo de revisión abarca desde Marzo de 2017 hasta junio de 2017.

La preselección de artículos incluyen todos cuyo titulo y resumen, tras una primera lectura, los hacían validos para nuestro estudio.

Conseguimos el texto completo de cada articulo, solicitándolo a través de la plataforma de Saludteca a la biblioteca del Hospital San Pedro de Alcántara (Cáceres) perteneciente al Servicio Extremeño de Salud.



## 4. RESULTADOS

Los estudios epidemiológicos han aportado pruebas convincentes de una asociación entre la exposición al radón en interiores y el cáncer de pulmón, incluso en los niveles relativamente bajos de radón.

En España, los estudios pioneros de medidas ambientales en domicilios (Quindós et al) (5) a finales de la década de los 80, pusieron de manifiesto las altas concentraciones de radón 222 en Galicia, en del Guadarrama y en Extremadura, entre otras áreas geográficas. Las personas con niveles elevados de radón en su domicilio tienen el doble de probabilidades de presentar cáncer pulmonar que las personas con menos radón en sus casas.

Estos resultados se refieren a concentraciones de radón residencial por debajo del nivel considerado por la Agencia Protección Ambiental (EPA) de EE.UU. Como de riesgo: 148 becquerelios por metro cúbico (Bq/m<sup>3</sup>), la OMS estableció en el 2009 una concentración umbral de 100 Bq/m<sup>3</sup>.

Individualmente, estos estudios suelen ser demasiado pequeños para descartar un riesgo significativo o demostrar claramente su existencia. Por ello, los investigadores de los estudios más importantes realizados en Europa, Norteamérica y China agruparon sus datos y los volvieron a analizar de forma centralizada (Lubin et al. 2004, Krewskiet al. 2005, 2006, Darby et al. 2005, 2006) (6).

El estudio europeo agrupación (Darby et al, 2004/2005) se publicó en la British Medical Journal, 7,1408 casos y 14,208 controles reclutados de 13 estudios de casos controles de 9 países europeos sirvió de inicio al Internacional Project de la Oms. El estudio indica un exceso de riesgo de CP del 16% por cada 100Bq/m<sup>3</sup> de aumento de Radón.

Un estudio de Casos-Controlles (Lung Cancer In Never-Smokers) (7) muestran que el radón residencial aumenta el riesgo de cáncer de pulmón en los nunca fumadores.

El estudio (Residential radon and lung cancer characteristics in never smokers) (8) lo que sugiere es un efecto acumulativo de la concentración del gas sobre el aparición del cáncer de pulmón.

Las concentraciones de radón residencial en los casos de Cáncer Pulmón incluidos en el estudio (LCRINS) (9) son muy elevadas, del orden de 3 veces la concentración mediana del radón residencial a la que está expuesta la población general gallega. En este estudio participaron hospitales gallegos y asturianos, y los casos son sujetos con diagnóstico de Cáncer de Pulmón que no habían fumado.

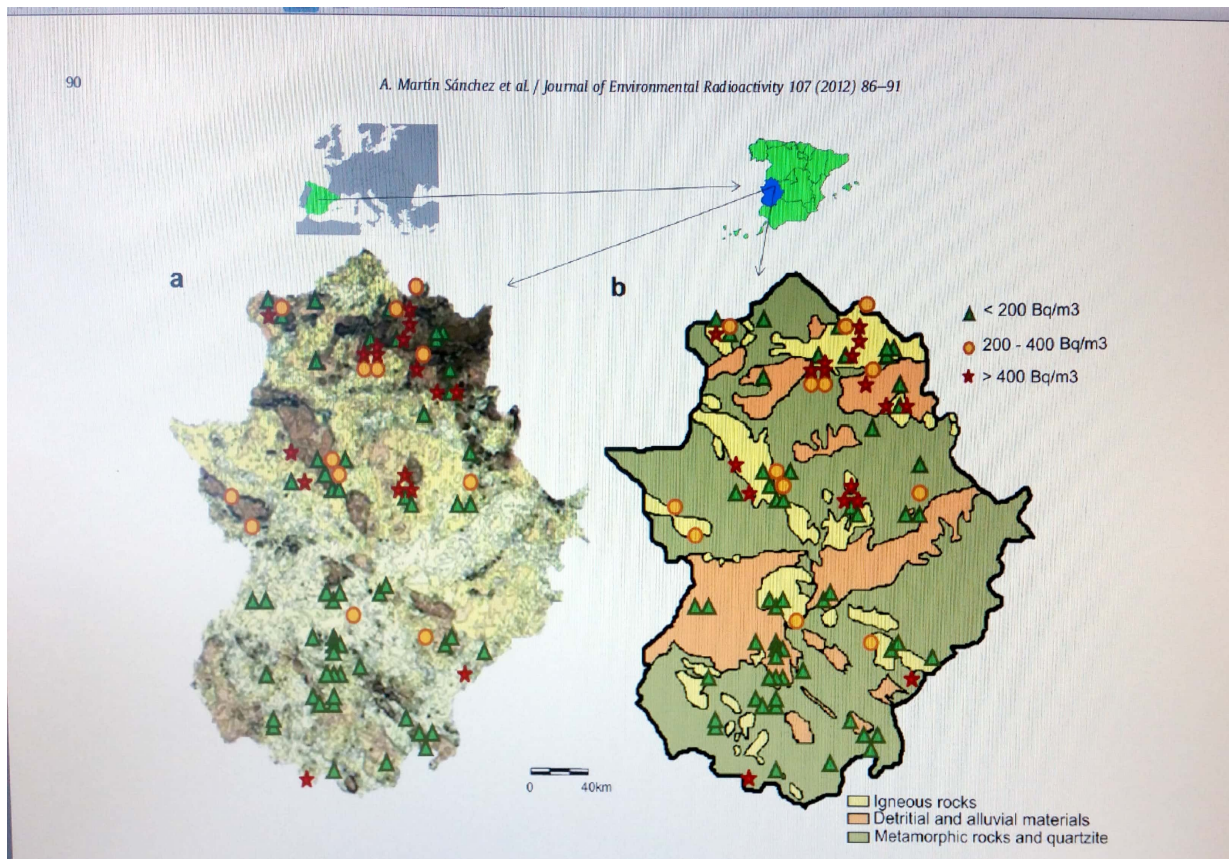
El radón es un FR del CP, tanto en fumadores como en nunca fumadores. Debe pensarse en el radón como causa de CP cuando se presenta un caso de CP en un nunca fumador, especialmente en áreas de elevada exposición a Radón (10).

En el centro de investigación del laboratorio del radón de Galicia recuerdan mediciones en viviendas gallegas en las que se detectaron hasta 3.000 y 4.000 bq/m<sup>3</sup>. La exposición a radón en las casas y el hábito tabáquico del residente, resulta ser claramente potenciadora del riesgo: el efecto de fumar y de vivir en casa con alto contenido de radón es mayor que la suma de los efectos de ambas exposiciones por separado, multiplicándose por 46. En Galicia disponen de mapas de radón residencial a nivel municipal.

Otro estudio realizado en Cantabria en una zona de menos riesgo geológico en cuanto a las concentraciones de radón residencial no encontró asociación entre radón y cáncer pulmonar, lo que refuerza la importancia de las características del subsuelo en el riesgo del cáncer de pulmón atribuible al radón domiciliario (11).

En Extremadura según uno de los estudios de la tesis doctoral (Estudio sobre la Concentración Actual y Restrospectiva de Radón y de sus descendientes) del departamento de física de la Universidad de Extremadura en el que realizaron unas 200 mediciones de Radón, obtuvieron que el 69% de los resultados eran <200Bq/m<sup>3</sup>, 18% entre 200-400Bq/m<sup>3</sup> y el 13%> 400Bq/m<sup>3</sup>. El valor más elevado se encontró en una cueva 40000Bq/m<sup>3</sup>.

Este estudio (12) revela que en muchos casos se han encontrado valores altos en lugares donde no se esperaban y viceversa, por lo que se refuerza la idea que hay que realizar medidas en el mayor número posible de lugares.



Fuente : Radon in Workplaces in Extremadura(12).

Según una Tesis doctoral de la universidad de Compostela del año 2015 (13), se observó una asociación estadísticamente significativa (una vez ajustado por edad, sexo y consumo de tabaco) entre la concentración de radón residencial y el cáncer de pulmón; a partir de los 50 Bq/m<sup>3</sup> con una OR de 3'1 (IC95% 1'3-7'5), para los expuestos a 50-100 Bq/m<sup>3</sup> de 4'3 (IC95% 1'5-12'1) para los expuestos a 101-147 Bq/m<sup>3</sup>; y de 2'9 (IC95% 1'1-7'5) para los expuestos a más de 148 Bq/m<sup>3</sup>. El ajuste por el consumo de tabaco aumenta significativamente el valor de las estimaciones puntuales del riesgo. El 18'9% de los domicilios estudiados superan los 148 Bq/m<sup>3</sup>. La concentración de radón residencial incluso a bajas concentraciones supone un riesgo para el desarrollo de cáncer de pulmón, siendo incrementado este riesgo con el consumo de tabaco.

La evidencia científica sugiere que el cáncer de pulmón en nunca fumadores es una entidad molecular diferente al que aparece en fumadores (14).

Los expertos se felicitan por que finalmente se proteja en algunos países a los ciudadanos de este agente cancerígeno pero consideran “insuficiente” el “nivel de acción” marcado por la UE (300 becquerelios por metro cúbico), teniendo en cuenta que en Estados Unidos es de 148 becquerelios y que la Organización Mundial de la Salud fija en 100 la frontera del peligro (15).

El radón domiciliario se acumula en las viviendas a partir de su exhalación desde el subsuelo sobre el que se ha construido la casa, en mayor proporción si las rocas del mismo son ricas en uranio, elemento origen del radón. El granito, contiene unas 5 ppm de uranio, y si el mineral es muy envejecido, agrietado y deshecho, la probabilidad de que emita radón aumenta.

Aunque según una tesis doctoral (Autor: José Tejado Ramos, responsable del Departamento de Rocas Ornamentales, Obras y Productos de Construcción del Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción de la Junta de Extremadura) de la universidad de Extremadura avala el bajo contenido en elementos radiológicos naturales del granito en Extremadura, por lo que el gas radón proviene de otras rocas del subsuelo. Las medidas realizadas de emanación y exhalación de radón en granito Extremeño demuestran que el impacto de esta piedra natural en cuanto a generación de radón en edificios es despreciable.

Las rocas ricas en uranio presentan mayores concentraciones del gas, aunque también pueden encontrarse valores elevados en materiales que, a pesar de no cumplir esa característica, presenten una intensa fracturación, lo cual favorece la migración del radón desde formaciones geológicas adyacentes o más profundas, ricas en uranio.

Dada la vida media tan larga del uranio, que es el tiempo que tarda en reducirse a la mitad, y que es de unos 4.500 millones de años, aunque la del radón sea sólo de 3,825 días, siempre habrá uranio y radio para transformarse en radón, por lo que se asume que la concentración medida en un domicilio tiene leves altibajos, incluso estacionales (más en invierno que en verano);

y persistirá durante la existencia de la casa en cuestión, siempre que no se modifiquen las características estructurales de dicha vivienda.

El material con el que está hecha la casa, si es piedra, por ejemplo, sólo contribuye, como mucho, al 15 o 20% del total de la concentración de radón en el domicilio, por lo que es el subsuelo el responsable de la mayor cantidad de gas introducido en el hogar.

Hay Factores intrínsecos (no modificables) para desarrollar CP como son edad, susceptibilidad genética, antecedentes familiares de cáncer, y luego estarían los factores extrínsecos o modificables el Tabaco, radón, dieta, ocupaciones laborales. Reducir el número de cánceres de pulmón relacionados con las exposiciones al radón hasta ahora sólo ha tenido éxito en muy pocos países.

Hay otros FR relevantes del CP, como ciertas ocupaciones que entrañan exposición fundamentalmente a asbesto, hidrocarburos aromáticos policíclicos (diesel exhaust), polvo de sílice o metales pesados y también la exposición al humo ambiental de tabaco. Sin embargo, las ocupaciones de riesgo son desempeñadas por una parte pequeña de la población (que se ha reducido al eliminar la exposición a humo ambiental de tabaco de la hostelería). La exposición a humo ambiental de tabaco significa un riesgo cuantitativamente menor si se compara con el radón interior, y es menos ubicua.

No puede concluirse que exista una asociación entre la exposición al radón y los tumores del sistema nervioso central. Los estudios disponibles son muy heterogéneos en cuanto al diseño y los sujetos incluidos. Es necesaria más investigación sobre este tema, en particular en población general residente en áreas con elevados niveles de radón (16). Una reciente investigación del Swiss Tropical and Public Health Institute (Swiss TPH), muestra que las partículas alfa radiactivas no sólo destruyen el tejido pulmonar, sino que también puede afectar a la piel, aumentando un 50% el riesgo de padecer cáncer de piel especialmente en los jóvenes (17).

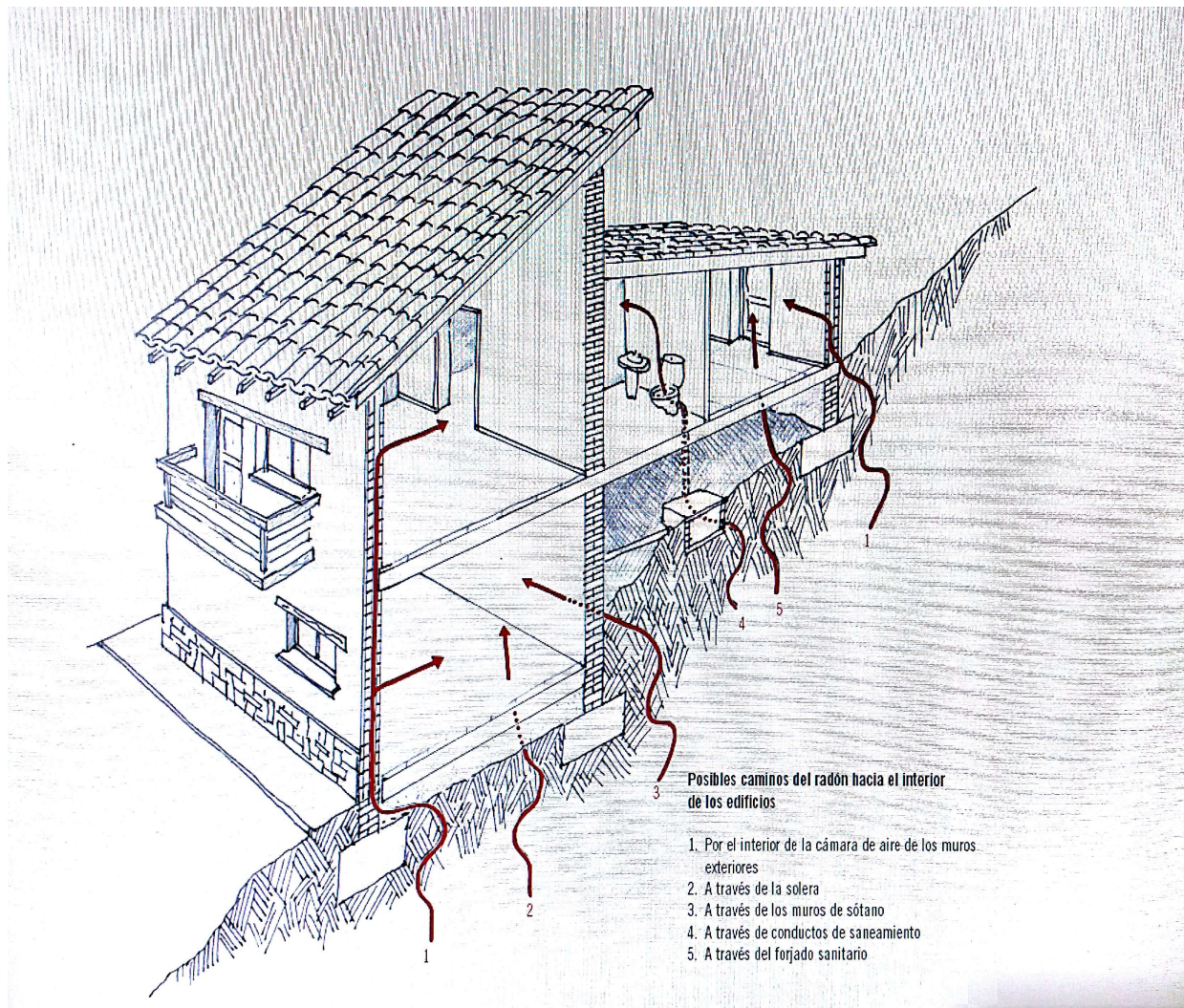
Según la revisión, la evidencia sobre el riesgo de cáncer de pulmón debido al radón residencial esta constatado mediante diversos estudios y tesis, y recalcar que la concentración de radón residencial incluso a bajas concentraciones supone un riesgo para el desarrollo de cáncer de pulmón.

El riesgo de desarrollar un cáncer de pulmón por parte de personas que nunca han fumado parece requerir concentraciones de radón residencial netamente mayores que las de fumadores o exfumadores (más de 200 Bq/m<sup>3</sup> versus 37 Bq/m<sup>3</sup>). Quizá tal hecho tenga mucho que ver con el probado efecto sinérgico del tabaquismo activo con el radón residencial.

## MEDIDAS PARA REDUCIR EL RADÓN EN LOS EDIFICIOS

El diseño, la construcción, y en su caso la rehabilitación de un edificio, se llevará a cabo de manera que se asegure que los ocupantes no estén expuestos a concentraciones de radón que pudieran implicar un riesgo para la salud.

Vías comunes de entrada de Radón, puntos débiles. Fuente: CSN(2)



En la actualidad, la normativa no contempla la protección de los usuarios de los edificios frente al riesgo de habitar en espacios con excesiva concentración de gas radón (18).

Se hace necesario disminuir los niveles de radón en los domicilios una vez se haya demostrado alta concentración del gas. La ventilación de la casa, es la medida más sencilla, como método rutinario, aunque sólo reduce un porcentaje limitado, menor del 20%, lo que en casas muy contaminadas, no llega para resolver el problema.

Tendrán que tomarse medidas como el cierre de fisuras y grietas, aberturas de aireación en sótanos o entresuelos en los que se acumula mayor cantidad de radón que difunde luego hacia los pisos superiores.

Las medidas de protección frente a la inmisión de gas radón, que están siendo actualmente usadas en diferentes países, tratan de frenar la entrada de radón mediante la aplicación de diferentes técnicas constructivas.

#### Sistemas de barreras antiradón:

- Estrategias de estanquidad frente al gas mediante la aplicación de barreras impermeables al radón en los elementos constructivos que conforman la envolvente del edificio y que están en contacto con el terreno. Se deben colocar en todo muro, forjado o solera que esté en contacto con el terreno y deben cubrir la totalidad del área de contacto. (Eje: Láminas de polietileno, Láminas bituminosas, Láminas de cauchos, Láminas de PVC, Sistemas líquidos, barrera elastomérica)
- Sistema de Extracción Natural: mediante la colocación de un punto de captación del radón en el terreno conectado a un conducto de evacuación al exterior que funciona como tiro natural. Los puntos de captación pueden ser arquetas permeables enterradas bajo la vivienda que permitan la captura de este gas, cámaras de forjado sanitario a las que se conecta el tubo de expulsión o una simple excavación bajo la solera del sótano en donde se implanta el tubo en vertical hasta la cubierta.
- Sistemas de extracción o presurización. Estos sistemas basan su funcionamiento en la extracción del gas del terreno circundante a la edificación, y evacuarlo a la atmósfera para impedir que penetre en el edificio, los sistemas de extracción pueden mejorarse en cuanto a la efectividad, incorporando un extractor mecánico que fuerce el tiro para conseguir evacuar mayor cantidad de radón.

Para una protección elevada se emplean: sistemas de extracción forzada (Extractor), sistemas de presurización, sistemas de ventilación de cámara de forjado sanitario, complemento a los sistemas de extracción forzada con barreras antiradón. La efectividad de los sistemas que se han mostrado depende enormemente de la buena ejecución de los mismos, verificación la efectividad conseguida tras intervención y medir de concentración en el interior de la edificación.

Con la publicación del Real Decreto 314/2016 (19) se modifica el Real Decreto 140/2003, que hasta ahora regulaba los criterios sanitarios para la protección de la salud en las aguas de consumo humano, y completa el control de sustancias radioactivas en el agua.

La nueva normativa establece los parámetros que se deben cumplir en el punto de suministro, los requisitos de control y las medidas a adoptar cuando se superan esos parámetros. Estas medidas pueden ir desde la corrección de la situación, hasta la obligación de informar a la población destinataria del suministro. De esta manera se completa la protección de la población frente a los radionucleidos naturales, como el radón.

El nivel de radón fijado por los Estados Miembros podrá ser superior a 100 Bq/l e inferior a 1000 Bq/l, habiéndose adoptado el valor paramétrico de 500 Bq/l, teniendo en cuenta la información disponible sobre las características de las aguas de nuestro país.

El nuevo Real Decreto establece también la obligación de realizar una caracterización de las zonas de abastecimiento en cuanto a exposición del radón, que deberá estar acabada antes del 15 de septiembre de 2019.

Cada una de las masas de agua subterráneas que se utilizan para la captación de agua destinada a la producción de agua de consumo humano se deberán tener caracterizadas, desde el punto de vista de la exposición al radón.

Un estudio realizado en carolina del norte en EEUU publicado en 2016 concluye que la exposición al radón de las aguas subterráneas aumenta las probabilidades las tasas de incidencia del cáncer de pulmón.

Estudios biocinéticos y de mortalidad corroboran que el radón de las aguas subterráneas aumenta del riesgo de cáncer de pulmón y estómago (20).

En países como Reino Unido, Italia, Suiza, Noruega o Estados Unidos llevan desarrollándose programas frente al radón desde hace años, hasta el punto de que las mediciones de radón, tanto en los hogares como sobre todo en los edificios públicos (colegios, hospitales, universidades, etc.), son ya una práctica habitual, completamente incorporada en la vida diaria de los ciudadanos.

Por ejemplo, cada vez que se vende una casa en estos países, es obligatorio que se realice una medición sobre la concentración de gas radón, mientras que para las casas de nueva construcción se están incorporando una serie de elementos diseñados específicamente para evitar la radiación.

Los aislamientos térmicos y sonoros para las casas dentro del plan de ahorro energético, que solo consiguen que haya una mayor concentración de radón en el interior de las casas, aumentando así el riesgo de padecer cáncer de pulmón (21).

Como comentábamos anteriormente el radón domiciliario se acumula en las viviendas a partir de su exhalación desde el subsuelo sobre el que se ha construido la casa, en mayor proporción si las rocas del mismo son ricas en uranio, elemento origen del radón. El granito, contiene unas 5 ppm de uranio, y si el mineral es muy envejecido, agrietado y deshecho, la probabilidad de que emita radón aumenta.

El material con el que está hecha la casa, si es piedra, por ejemplo, sólo contribuye, como mucho, al 15 o 20% del total de la concentración de radón en el domicilio, por lo que es el subsuelo el responsable de la mayor cantidad de gas introducido en el hogar.

## 5. DISCUSIÓN

La evidencia encontrada en esta revisión bibliográfica nos lleva a confirmar la implicación del radón como segundo FR de Cáncer de Pulmón, y aunque hay menos evidencias podría tener relación con otros tipos de tumores o neoplasias.

La mitad occidental de la península concentra los valores más altos de radón, y entre el 3% y el 14% de los tumores pulmonares se deben a este agente, según la OMS.

Sin embargo, el gran reto está, en un nuevo ordenamiento de la calidad de vivienda y de las normas de construcción, que en los Estados Unidos y otros países ya incluyen técnicas de reducción de radón y certificados sobre casas construidas, que oficialmente indican que dicha construcción no sobrepasa los niveles de actuación de Protección Ambiental (148 Bq/m<sup>3</sup>).

En Europa las recomendaciones son, para casas ya construidas no superar los 400 Bq/m<sup>3</sup> (un límite exageradamente permisivo, en nuestra opinión), y en las casas de nueva construcción no se deben sobrepasar los 200 Bq/m<sup>3</sup>. La exposición a radón en las casas y el hábito tabáquico del residente, resulta ser claramente potenciadora del riesgo: el efecto de fumar y de vivir en casa con alto contenido de radón es mayor que la suma de los efectos de ambas exposiciones por separado, multiplicándose por 46.

En estos momentos el Ministerio de Fomento ha trasladado a las CC.AA. Un Nuevo Código de Edificación para su informe y adaptación que debería clasificar las zonas del país, en bajo, medio y alto riesgo.

Si se siguen los modelos de otros países, la normativa debería incluir la recomendación de la necesaria medida del radón en las viviendas y la subsiguiente reducción de su concentración si es alta. Además, se trataría de introducir nuevas tecnologías en la construcción de las nuevas edificaciones, para hacerlas “impermeables” al radón, en aquellas zonas de alto riesgo, así como la facilitación de reformas en las ya construidas que lo necesiten. Las técnicas para ello llevan más de tres décadas utilizándose en Norte América y numerosos países de Europa, a un costo mínimo.

El radón residencial debe ser incluido como variable a considerar cuando se estima el riesgo de cáncer de pulmón.

Discutir la importancia de incluir el radón residencial como FR a tener en cuenta al calcular el riesgo de cáncer de pulmón (22).

Ante estos resultados, sorprende el escaso interés de las administraciones públicas sobre el radón (2º FR del cáncer más importante en nuestra sociedad, el de pulmón) que dejan el conocimiento científico del tema exclusivamente a cargo de proyectos de investigación, con las limitaciones económicas que esto supone. Por el contrario, otras administraciones europeas financian generosamente miles y miles de mediciones en sus países, ya que como indica , el que una casa esté en una zona de bajo riesgo no quiere decir que tenga bajos niveles de radón y viceversa.

Los programas de salud pública para reducir el riesgo de radón deberían desarrollarse a nivel nacional. Una política nacional de radón debería centrarse en la identificación de zonas, las poblaciones están más expuestas al riesgo de exposición al radón y sobre el riesgo para la salud asociado.



Elementos clave para un programa nacional exitoso incluyen la colaboración con otros programas de promoción de la salud (por Calidad, control del tabaco) y la formación de profesionales de la construcción y otras partes interesadas.

Formación de los profesionales de la construcción y otras partes interesadas implicadas en la puesta en práctica de las medidas de prevención y mitigación del radón, ya que las medidas “anti-radón” deben ser aplicadas de manera minuciosa y precisa para que sean efectivas.

Apropiado Códigos de construcción que exigen la instalación de medidas de prevención del los hogares en construcción y la medición del radón.

Es esencial que se proporcionen orientaciones nacionales detalladas sobre los protocolos de medición del radón a fin de asegurar la calidad y reproductibilidad de las mediciones. Para evaluar la eficacia de un programa nacional del radón puede emplearse una base de datos nacional del radón que permita seguir los resultados de las mediciones a lo largo del tiempo.

Para ser eficaz, un programa nacional del radón necesita de las aportaciones de diferentes entidades del país. Una de esas entidades debe dirigir la puesta en práctica, la coordinación y garantizar la vinculación con los programas de control del tabaquismo y otros programas de promoción de la salud.

En los futuros planes de control del cáncer se debería proponer como objetivo calcular la mortalidad atribuible al radón. En España la comunidad de Madrid es la única que menciona el radón como riesgo para la salud en un documento oficial de una Consejería de Sanidad (23).

Realizar Campañas de medición por las autoridades locales, regionales o nacionales en las que se efectúan mediciones en todas las viviendas de una zona determinada.

A la medición de radón en una vivienda le debería seguir una evaluación que incluya las medidas recomendadas para reducir el riesgo relacionado con el radón. En viviendas con concentraciones de radón superiores al nivel de referencia siempre se recomienda aplicar medidas de mitigación.

En Noruega, Suiza, el Reino Unido y los EE. UU., las mediciones del radón ya se tienen en cuenta como parte del proceso de compraventa de una vivienda.

La experiencia de algunos países, como Suecia, indica que la labor de convicción dirigida a los responsables políticos para que tomen medidas de tipo reglamentario ha sido más eficaz que los mensajes de comunicación de riesgos dirigidos únicamente al público general.

## **6. CONCLUSIONES**

1. El radón es el segunda causa de Cáncer de Pulmón después de fumar.
2. Se debería intentar conocer la mortalidad atribuible al Radón en Extremadura y conocer la evidencia disponible sobre la efectividad de las medidas para reducir la exposición.
3. Según la nueva legislación de la Unión Europea, todos los estados miembros que todavía no cuentan con un plan nacional de radón, deberían tenerlo antes de febrero de 2018.
4. Se debería llevar a cabo un Plan de Formación con un abordaje intersectorial dirigido a:
  1. Ciudadanos sobre los riesgos del radón.
  2. Profesionales.( Tanto trabajadores de la Construcción como otras partes implicadas).
  3. Responsables de las administración.
5. Realización de mapas de exposición detallados de la comunidad.
6. Sería interesante evaluar la necesidad del desarrollo de una red de vigilancia radiológica ambiental de medidas de concentración del radón.
7. La comunicación de los riesgos del radón y los correspondientes mensajes de prevención plantea serias dificultades, porque el radón no es ampliamente conocido y el público general puede no percibirlo como un riesgo para la salud.
8. Creación de una oferta empresarial competente en la mitigación del radón interior, que ofrezcan soluciones eficaces y a medida, tanto en el ámbito particular como laboral.

## **Bibliografía**

1. Manual de la OMS sobre el radón interior una perspectiva de salud pública (Organización Mundial de la Salud,2009 ISBN 978 92 4 154767 3 .

Disponible en:

[http://www.who.int/phe/publications/indoor\\_radon\\_handbook/es/](http://www.who.int/phe/publications/indoor_radon_handbook/es/)

2. García-Talavera San Miguel M,Martín Matarranz JL, et al. El mapa predictivo de exposición al radón. Consejo seguridad nuclear. Colección informes 38, 2013.

Disponible

[https://www.csn.es/images/stories/publicaciones/unitarias/informes.../mapa\\_radon.pdf](https://www.csn.es/images/stories/publicaciones/unitarias/informes.../mapa_radon.pdf)

3. Ruano-Raviña A, Quindós-Poncela L,Sainz Fernández C, et al. Radón interior y salud pública en España. Tiempo para la acción Dic 2014, Vol 28, no 6, ISSN 0213-9111.

4. Laboratorio de radón de Galicia. Instituto de Investigación Sanitaria. Santiago de Compostela.

Disponible en:

<http://usc.es/radongal/wp-content/uploads/2017/01/V4.0-Tripticos-Modelo-2.pdf>

5. Quindós LS, Fernández P, Soto J. National survey on indoor radon in Spain . Environ Internat 1991;17::449-53.

6. Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM. Baysson H, Bochicchio F, et al. Radon in homes and lung cancer risk: collaborative analysis of individual data from 13 european case-control.

7. Torres-Duran M, Ruano-Ravina A,Parente-Lamelas I,Leiro-Fernández V, et al. Lung cancer in never-smokers: a case-control study in a radon-prone areaGalicia, Spain.2014.

8. Torres-Duran M, Ruano-Ravina A,Parente-Lamelas I,Leiro-Fernández V, et al. Residential radon and lung cancer characteristics in never smokers.

9. Ruano-Ravin A,Prini-Guadalupea L, Juan Barros-Dios JM, et al. Exposición a radón residencial y cáncer de pulmón en nunca fumadores. Resultados preliminares del estudio LCRINS.

10. Ruano-Ravina A, et al. Radón residencial y riesgo de cáncer de pulmón en nunca fumadores. Arch Bronconeumol. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arbres.2017.01.004>.

11. Llorca J,Bringas-Bollada M,Quindós-Poncela LS. Falta de asociación entre las concentraciones de radón en el domicilio y el cáncer de pulmón en Cantabria. Arch Bronconeumol.2007;43:695–6.

12. Martín Sanchez A, De la torre Perez J,Ruano Sanchez A.B.,Naranjo Correa F.L. Radon in workplaces in Extremadura. ( Journal Of Environmental Radioactivity) studies. Br Med J 2012;330: 223-26 . Disponible en :<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.01.009>

13. Castro Bernárdez M, Barros Dios JM(dir), Ruano Raviña A(dir). Exposición a radón residencial y cáncer de pulmón: un estudio de casos y controles en el área sanitaria de ourense. Psiquiatría, radiología e saúde pública facultad de medicina. Santiago de Compostela 2015. Recuperado a partir de [https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/10347/13374/1/rep\\_848.pdf](https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/10347/13374/1/rep_848.pdf)

14. Chapman AM, Sun KY, Ruestow P, Cowan DM, Madl AK. Lung cancer mutationprofile of EGFR, ALK, and KRAS: Meta-analysis and comparison of never and eversmokers. Lung Cancer. 2016;102:122–34.2.

15. Cerco al gas cancerígeno que invade casas de media España(Internet).

Disponible:[http://politica.elpais.com/politica/2017/02/12/actualidad/1486920960\\_492473.html](http://politica.elpais.com/politica/2017/02/12/actualidad/1486920960_492473.html)

16. Ruano-Ravina A, et al. Radon exposure and tumors of the central nervous system. Gac Sanit. 2017. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaceta.2017.01.002>

17. El gas radón aumenta 50% el cáncer de piel en los jóvenes [internet]. Redacción Medica.2017 [citado 19 de junio de 2017]. Disponible en: <https://www.redaccionmedica.com/secciones/dermatologia/el-gas-radon-aumenta-un-50-el-cancer-de-piel-en-jovenes-6653>

18. Frutos Vázquez B, Olaya Adán M.Protección Frente a la Emisión de gas Radón en Edificios. Consejo de Seguridad Nuclear. Colección de Informes 24.2010.

Disponible:

<https://www.csn.es/images/stories/publicaciones/.../informes.../inmisinradnok.pdf>

19. Real Decreto 314/2016, de 29 de julio, por el que se modifican el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

20. Kyle P. Messier and Serre Marc L. Lung and stomach cancer associations with groundwater radon in North Carolina, USA. Department of Environmental Science and Engineering, Gillings School of Global Public Health, University of North Carolina, USA. PMID 27639278.

21. ¿Cree que su casa es segura? Un veneno mortal se acumula entre sus paredes  
Lunes, 1 de Febrero 2016. (en línea fecha de acceso: 7.4.2017).

Recuperado a partir de: <http://www.saludnutricionbienestar.com/casa-veneno-radon/>

22. Torre-Duran M, Fernandez Villar A, et al. Residential Radon: The Neglected Risk Factor in Lung Cancer Risk Scores.

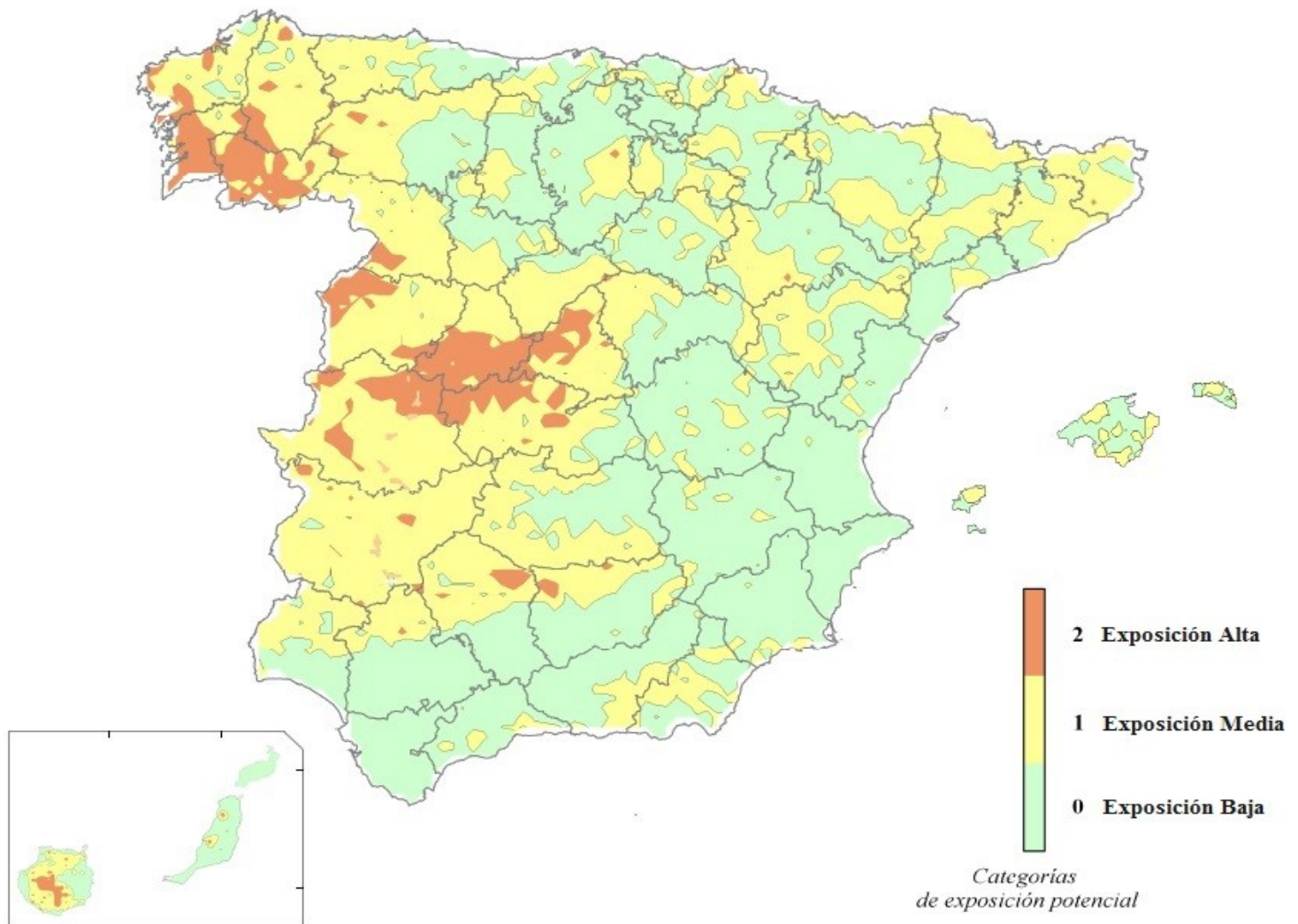
Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtho.2016.05.018>

23. Perez Hernando A(Dir). Plan Integral Del Control Del Cáncer de la Comunidad de Madrid.

Disponible en <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM009363.pdf>

# ANEXOS

*Mapa predictivo de exposición al radón en España que divide el territorio en tres categorías de exposición potencial (2).*



**Tabla 1. Concentraciones de radón en interiores en países de la OCDE Niveles de radón en interiores [Bq/m3]. Fuente: manual oms(1).**

País	Media aritmética	Media geométrica	Desviación típica G.
Alemania	49	37	2,0
Australia	11	8	2,1
Austria	91	15	n.d.
Bélgica	48	38	2
Canadá	28	11	3,9
Dinamarca	59	39	2,2
Eslovaquia	7	n.d.	n.d.
<b>España</b>	<b>90</b>	<b>46</b>	<b>2,9</b>
Estados Unidos	46	25	3,1
Finlandia	120	84	2,1
Francia	89	53	2,0
Grecia	55	44	2,4
Hungría	82	62	2,1
Irlanda	89	57	2,4
Islandia	10	n.d.	n.d.
Italia	70	52	2,1
Japón	16	13	1,8
Luxemburgo	110	70	2
México	140	90	n.d.
Noruega	89	40	n
Nueva Zelanda	22	20	n
Países Bajos	23	18	1,6
Polonia	49	31	2,3
Portugal	62	45	2,2
Reino Unido	20	14	3,2
República de Corea	53	43	1,8
República Checa	140	44	2,1
Suecia	108	56	n.d.
Suiza	78	51	1
Media mundial	39		

Fuente : WHO (2007), UNSCEAR (2000), Billon et al. (2005) and Menzler et al. (2008). (n.d. = no disponible)

**Tabla 2. Características de diferentes dispositivos de medición de gas radón (13).**

<i>Tipo de detector</i>	<i>Pasivo/activo</i>	<i>Incertidumbre típica *</i>	<i>Periodo de muestreo [%] típico</i>	<i>Costo</i>
Detector de trazas para partículas alfa(DTPA)	Pasivo	10 - 25	1 - 12 meses	bajo
Detector de carbón activado (DCA)	Pasivo	10 - 30	2 - 7 días bajo	bajo
Cámara iónica de electreto (CIE)	Pasivo	8 - 15	5 días - 1 año	medio
Dispositivo de integración electrónico (DIE)	Activo	~ 25	días – año(s)	medio
Monitor continuo de radón (MCR)	Activo	~ 10	1 hora - año(s)	alto

\*Incertidumbre expresada para duraciones óptimas de la exposición y para exposiciones de ~ 200 Bq/m<sup>3</sup> .



**TABLA 3.****Principales acontecimientos relacionados con el efecto del radón sobre la salud y la protección de la población frente a este factor de riesgo(13).**

Fecha	Acontecimiento
1500.	Agricola observa un exceso de mortalidad por enfermedad respiratoria en mineros de las montañas del Erz, en Europa del Este
1879	Karting y Hesse encuentran que ese exceso de mortalidad en los mineros se debe a la exposición a radón y el cáncer de pulmón
1921.	Uhlig relaciona las emanaciones del radio con el cáncer de pulmón
Años setenta	Se publican los primeros estudios que relacionan la exposición al radón y el cancer de pulmón en mineros
1987.	La Agencia de Protección Ambiental norteamericana establece 148 Bq/m <sup>3</sup> como la concentración de radón a partir de la cual deben tomarse medidas de reducción en los domicilios
1988.	La Agencia Internacional de Investigación en Cáncer (IARC) clasifica el radón y sus descendientes como carcinógenos humanos
1988.	BEIR IV (US National Academy of Sciences/National Research Council, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations).Análisis pormenorizado de los estudios realizados sobre radón en mineros y sobre radón en animales.Asocia la evidencia publicada con el riesgo de cáncer de pulmón debido a la exposición a radón
1990.	Publicación de una directiva europea (Euratom, Comisión Europea para la Energía Atómica) que recomienda que no se superen los 400 Bq/m <sup>3</sup> en viviendas ya construidas y los 200 Bq/m <sup>3</sup> en viviendas de nueva construcción
Años 90	Estudios sobre radón residencial y riesgo de cáncer de pulmón
1999.	BEIR VI. Actualización del informe anterior, donde se indica que el radón es el segundo factor de riesgo del cáncer de pulmón después del tabaco
2005.	Inicio del International Radon Project, patrocinado por la Organización Mundial de la Salud
2005.	Publicación de los resultados combinados de los estudios sobre radón domiciliario y cáncer de pulmón realizados en Europa (British Medical Journal) y Norteamérica (Epidemiology)
2007.	Publicación de los resultados del análisis conjunto mundial, que incluirá todos los estudios realizados sobre radón domiciliario y cáncer de pulmón
2009.	Publicación del WHO Handbook on Indoor Radon. Manual de referencia sobre el

radón

residencial y su efecto sobre la salud. Reduce el nivel recomendado de exposición a radón residencial a 100 Bq/m<sup>3</sup>

2014. Directiva 2013/59/EURATOM por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes. La UE

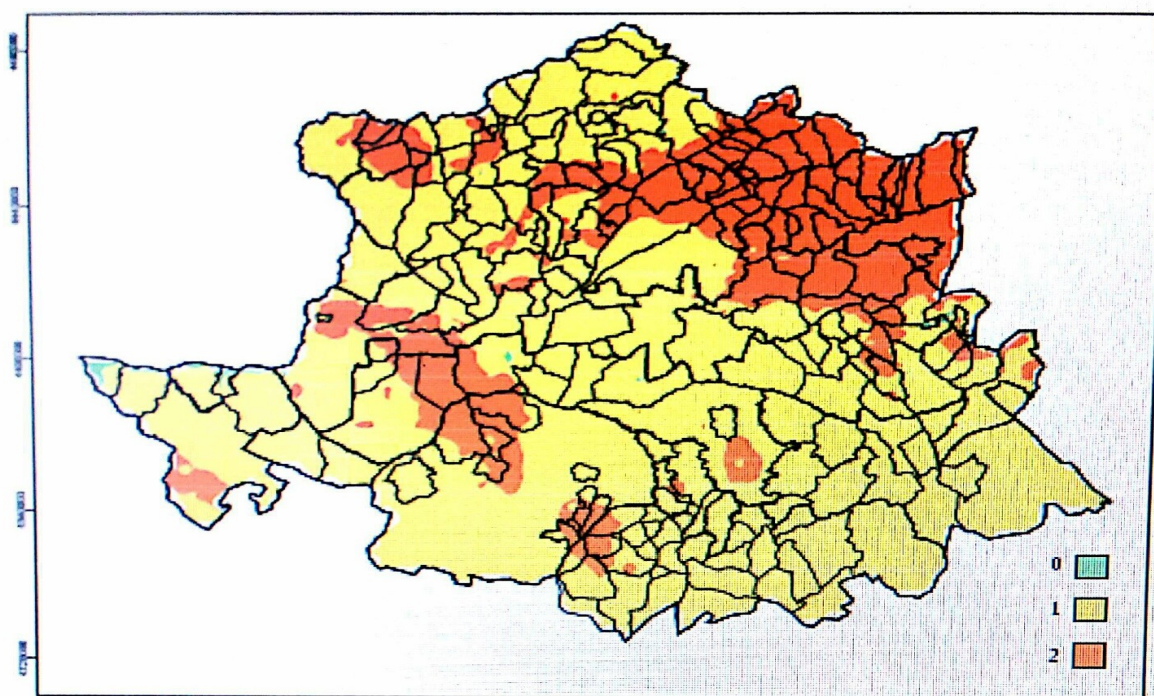
fija unos niveles límite para domicilios y lugares cerrados de 300 Bq/m<sup>3</sup> de exposición promedio anual.

2014. Inclusión del radón residencial en el Código Europeo Contra el Cáncer como un factor de riesgo a medir y evitar

Fuente: C.S.Nuclear. Categoría de exposición al radón en Cáceres y Badajoz (2).

Cáceres

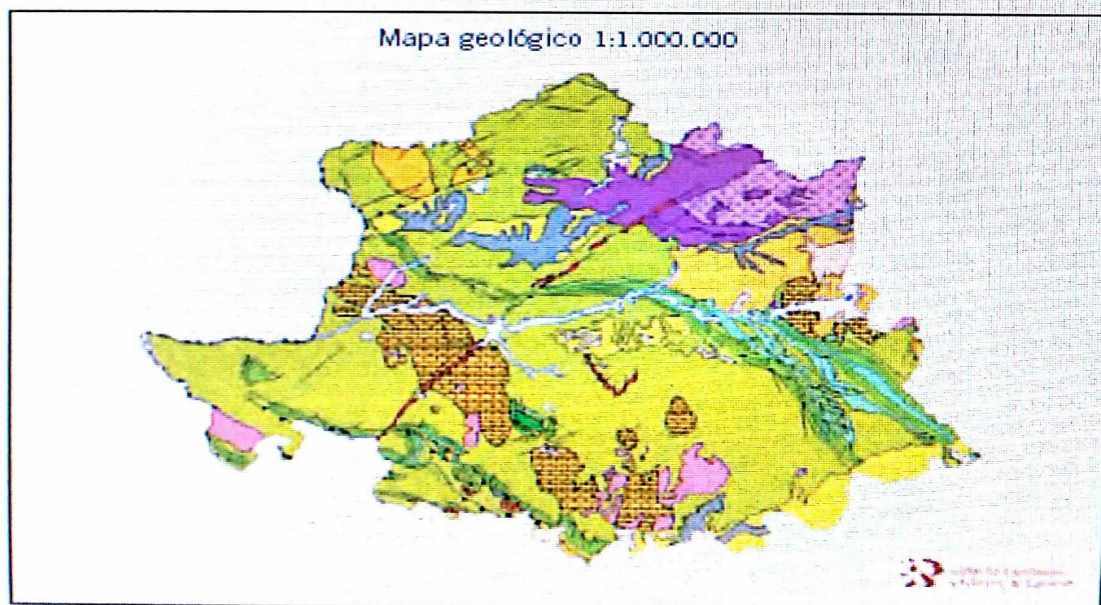
Categorías de exposición potencial al radón



Coordenadas UTM  
HUSO 30

0 100 km

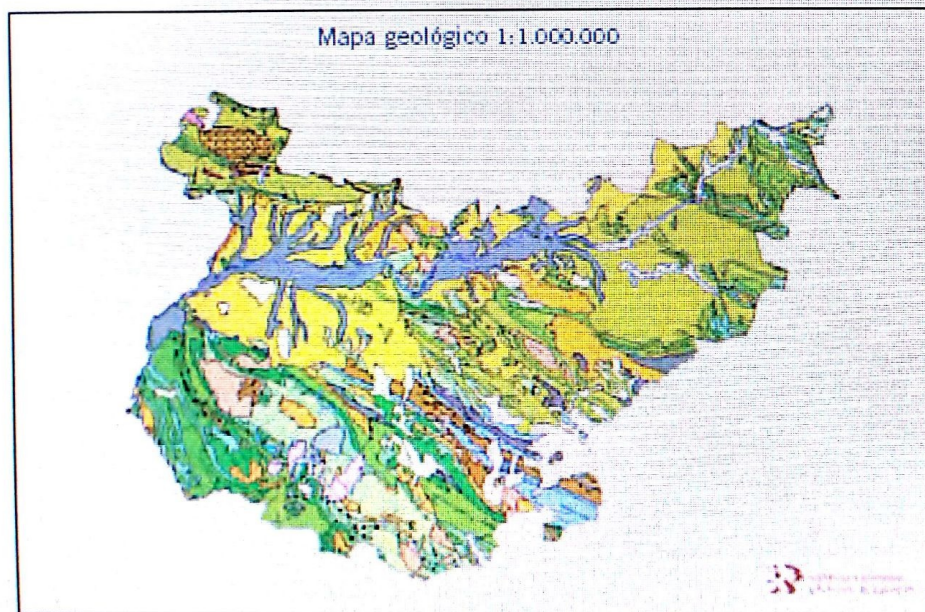
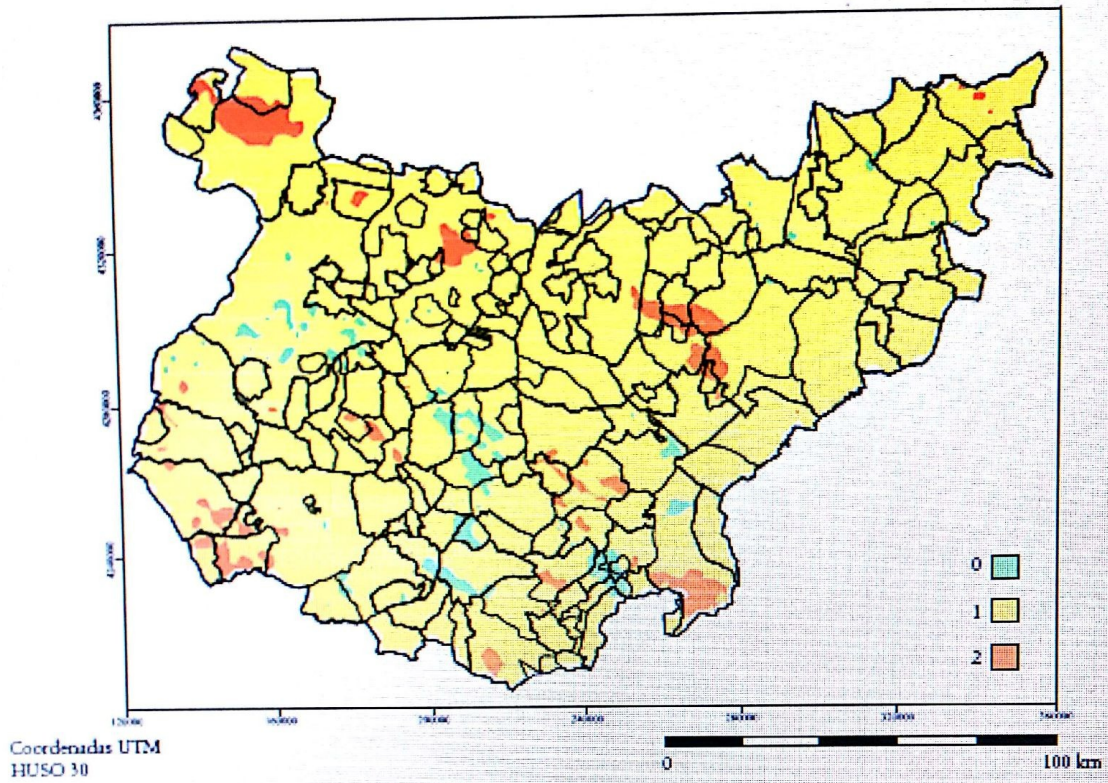
Mapa geológico 1:1.000.000



2

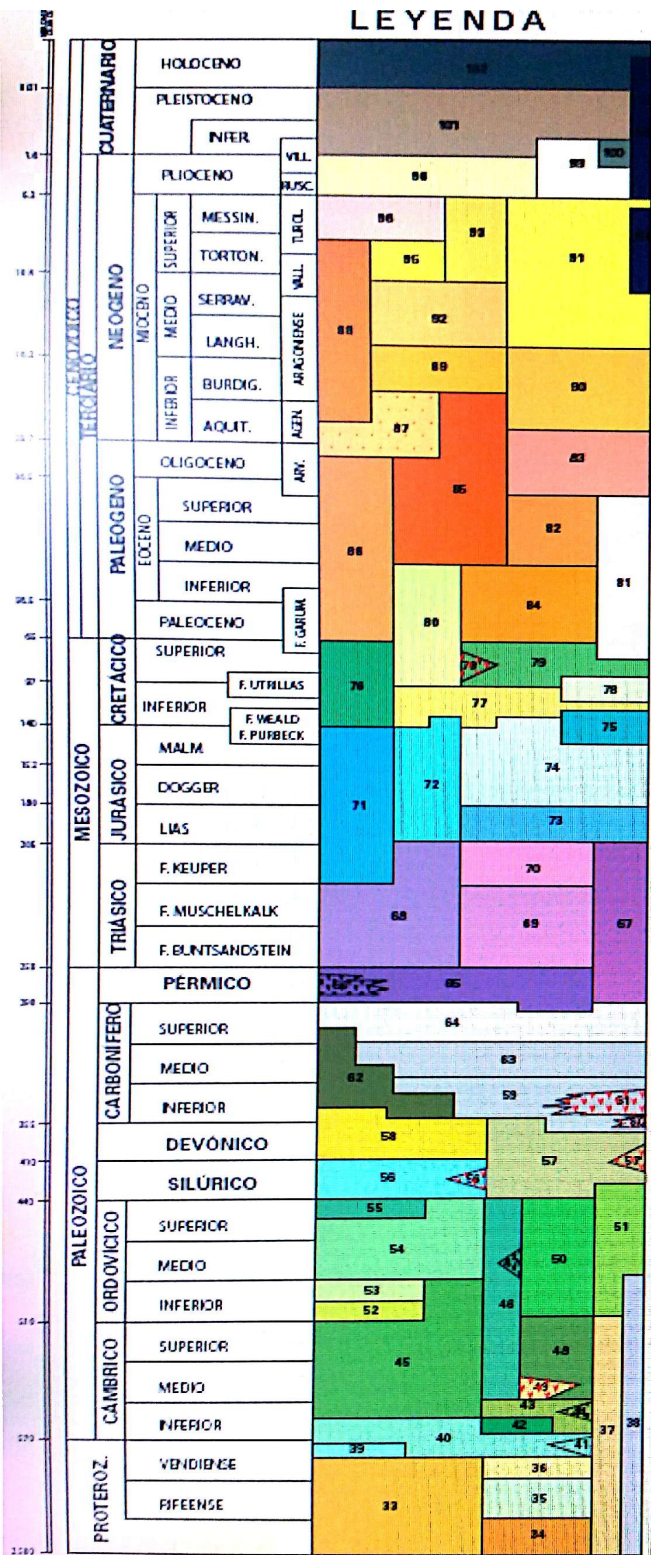
Badajoz

Categorías de exposición potencial al radón

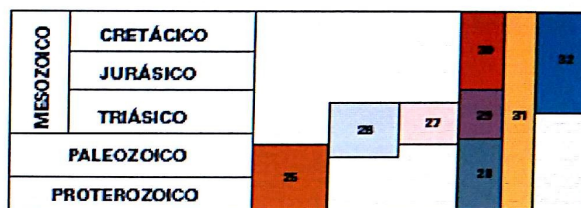


Fuente: Consejo Seguridad Nuclear (2).

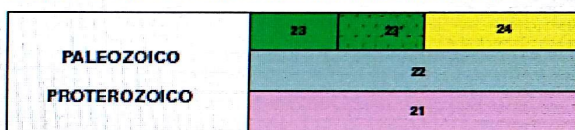
### LEYENDA



### BLOQUE DE ALBORÁN



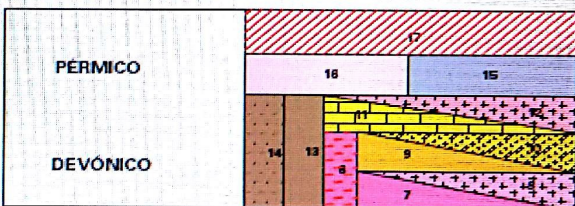
### UNIDADES ALÓCTONAS DEL MACIZO HESPERICO



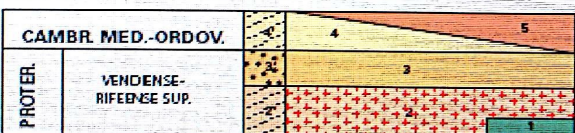
### ROCAS PLUTÓNICAS ALPINAS



### ROCAS PLUTÓNICAS HERCINICAS



### ROCAS PLUTÓNICAS PREHERCINICAS



### SOBRECARGAS USADAS PARA CAMBIOS DE FACIES

