

EL RADÓN, UN PROBLEMA DE SALUD PÚBLICA:

IMPORTANCIA DEL DESARROLLO DE
MAPAS GEOGRÁFICOS QUE INDIQUEN
LA CONCENTRACION DE GAS RADÓN
EN DIFERENTES POBLACIONES



BREIXO VENTOSO GARCÍA



Licenciado en farmacia, especialidad sanidad ambiental.
Master superior en ingeniería medio ambiental, especialidad auditoría y consultoría medio ambiental.
Diplomado en salud pública.
Master en nutrición y salud.
Suficiencia investigadora realizada en la Universidad de Cardiff, Gales.
Especialista en nutrición y dietética.
Doctorando en nutrición y salud, especialidad nutrigenómica.

El autor:
Breixo Ventoso García

EL RADÓN UN PROBLEMA DE SALUD PÚBLICA:

**“IMPORTANCIA DEL DESARROLLO DE MAPAS
GEOGRÁFICOS QUE INDIQUEN LA CONCENTRACIÓN DE
GAS RADÓN EN DIFERENTES POBLACIONES”**

Breixo Ventoso García



Área de Innovación y Desarrollo, S.L.

Quedan todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida, distribuida, comunicada públicamente o utilizada, total o parcialmente, sin previa autorización.

© del texto: **del autor**

© de explotación: **ÁREA DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO, S.L.**

Primera edición: **junio 2017**

ISBN: **978-84-947194-4-8**

DOI: <http://dx.doi.org/10.17993/CcyLI.2017.06>

Contenido

Resumen	5
Introducción	7
El radón: un problema para la salud pública	11
Metodología	15
Resultados	21
Conclusiones.....	25
Referencias bibliográficas.....	27

Resumen

El radón es un gas radiactivo que proviene de las rocas y suelos y se acumula en espacios cerrados como pueden ser las casas, el radón aumenta la radiación ionizante a la que está expuesta la población de manera natural.

Estudios recientes en Europa, Norteamérica y Asia acerca del radón demuestran que la exposición a radón aumenta el número de casos de cáncer de pulmón en la población.

Estos casos atribuibles a la exposición al radón representan entre el 3 y el 14% del total de los casos de cáncer de pulmón y el porcentaje varía en relación a la concentración presente en cada zona geográfica.

Estas mediciones de radón son fundamentales para determinar las zonas de mayor riesgo y tomar las medidas necesarias para disminuirlo.

El radón es la segunda causa de cáncer de pulmón después del tabaco en la mayor parte de los casos se combinan los factores de riesgo aumentando las probabilidades de desarrollar cáncer de pulmón.

Las mediciones de radón son sencillas y fundamentales para determinar las zonas con concentraciones más elevadas de gas radón y poder elaborar un mapa que nos permita identificar zonas catalogadas como de alta concentración y así poder minimizar el impacto de la exposición a estas concentraciones.

Las mediciones se realizan siguiendo protocolos normalizados que garanticen unos resultados precisos y reproducibles, los medidores deben dejarse al menos tres meses para proporcionarnos resultados fiables ya que las concentraciones de radón varían de un día a otro e incluso de una estación a otra.

Los resultados obtenidos deben de ser tratados geográficamente para permitir identificar los puntos críticos y mitigar su concentración tomando medidas en las nuevas y viejas construcciones.

Para ello hemos colocado durante seis meses detectores en diferentes zonas geográficas de Galicia para retirarlos posteriormente y proceder a su lectura.

Los datos obtenidos nos han permitido determinar las zonas de mayor riesgo y compararlos con la incidencia de cáncer de pulmón.

Introducción

El radón es un gas noble procedente del radio y que es radiactivo. Existen tres isótopos formados en diferentes cadenas de desintegración radiactiva que son el uranio 238 en la que se forma el radio 226 que da lugar al radón 222 (Rn222), la del uranio 235 que genera el radio 223 y produce radón 219 y la del torio (Th232) que origina radio224 para dar lugar a radón 220 (Rn220).

El Rn 219 y 222 son las más extendidas y el Rn 222 es la de mayor importancia en salud ya que es un factor importante de riesgo de cáncer broncopulmonar, y representa más del 80% del radón ambiental y del 50 % de la radiación que recibe el ser humano a lo largo de su vida.

Fue descubierto en 1900 por Friederich Ernst Dorn, es incoloro, inodoro insípido, e invisible, es más pesado que el aire y soluble en agua, su vida media es de 3,8 días (1, 2).

En su proceso de desintegración se emiten partículas radiactivas **a** (dos protones y dos neutrones), tienen menos poder penetrante que las **b**, y que las **g** pero son importantes si se ingieren inhalan o penetran a través de una herida.

En 1985 se detectó un nivel elevado de radiación en el domicilio de un empleado de una central nuclear, Stanley Watson dando unos valores cientos de veces superiores a los existentes en las galerías mineras de uranio y no provenía de su trabajo diario, a partir de aquí se empezó a desarrollar el conocimiento científico sobre el gas radón y su relación con el cáncer de pulmón (3).

Al ver la alta incidencia de cánceres en algunas poblaciones mineras, sobre todo de pulmón se pensó en la radiación a del radón que se concentraba a niveles altas en los domicilios de estas zonas mineras, estos primeros estudios no eran del todo fiables debido a su variabilidad y calidad deficiente ya que no contaban con un número suficiente de sujetos, no se controlaba el hábito tabáquico como variable y las medidas del gas eran imprecisas.

En España, los primeros estudios corresponden a la década de los 80,(4) ya manifestaban elevadas concentraciones de radón 222 en diferentes zonas geográficas como son Galicia, Sierra del Guadarrama y en Extremadura, otros estudios como el propio del departamento en el que yo participe (5) han permitido encontrar riesgos para el cáncer de pulmón asociado a exposición a radón mayores de 2 eso es dos cánceres entre los expuestos frente a 1 de los no expuestos, lo cual quiere decir que las personas expuestas a elevados niveles de radón en sus hogares tienen el doble de probabilidades de desarrollar el cáncer frente a los que tienen menos concentración en sus casas, los resultados provienen de concentraciones de radón residencial por debajo del considerado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de EEUU marcando como riesgo 148 becquerelios por metro cúbico (Bq/m³), a la vez el 20% de las casas estudiadas, un total de 404, superaban el nivel de seguridad siendo muy frecuentes las concentraciones altas en pacientes a los que se le diagnosticó cáncer de pulmón.

En esta exposición al gas radón la interacción entre esta y el hábito tabáquico del residente es un importante potenciador del riesgo, de esta manera el efecto de fumar y vivir en una casa con alto contenido de radón es mayor que la suma de los efectos de las dos exposiciones por separado llegando a multiplicarse por 46.

El radón domiciliario se acumula en las viviendas procedentes de su exhalación en el subsuelo donde se encuentra ubicada la casa, si las rocas que se encuentran en este subsuelo son ricas en uranio, de donde procede el gas radón, las concentraciones serán más elevadas.

El granito contiene unas 5 ppm de uranio, si la piedra está envejecida, agrietada o desechada las probabilidades de emisión de radón aumentan, el uranio tiene una larga vida media un promedio de 4500 millones de años mientras que la del radón es solo de 3,824 días lo que hará que siempre haya uranio y radio para generar radón.

La concentración en domicilios tiene variaciones estacionales (más en invierno que en verano) y siempre estará presente en la casa en cuestión mientras no se tomen las medidas oportunas para disminuir su concentración haciendo las modificaciones estructurales pertinentes.

Otro factor que modifica las concentraciones del gas en los domicilios es el material de construcción, el empleo de piedra puede participar en el 15 o el 20% de concentración total.

La principal medida a tomar por la salud pública es disminuir estos niveles de radón de los domicilios una vez se haya detectado el gas o la vivienda se asiente en una zona catalogada de alto riesgo.

La medida más sencilla a tomar es aumentar la ventilación de la casa aunque solo se consigue disminuir un porcentaje de esta manera, no superando el 20% de la concentración total.

Otras medidas importantes es sellar las fisuras y grietas así como controlar las zonas de aireación se sótanos y entresuelos donde se acumula el gas para difundir posteriormente a los pisos superiores.

El Ministerio de Fomento ha creado un código de edificación donde se clasifican las zonas de construcción según el riesgo de exposición que tengan a este gas en bajo medio y alto riesgo.

En Galicia, debido a la peculiaridad mineral del subsuelo estas últimas zonas son muy numerosas.

Del estudio realizado por nuestro equipo (5) sabemos del especial riesgo que supone la exposición de este gas en diferentes municipios del área de Santiago, sobre todos los situados al noroeste, como son Santa Comba, A Baña, Negreira, Mazaricos, A serra, Carnota y Muros, donde se detectaron las mayores medidas medias de concentración de gas radón (109,41 y 67,9 Bq/m³).

En Enero de 2005 se publicó un estudio de 13 investigaciones realizadas en Europa con conclusiones similares en relación a la exposición al gas radón y la incidencia de cáncer de pulmón (6) en 2006 se profundizó más en los resultados del anterior estudio confirmando un aumento del 16% en riesgo de cáncer de pulmón por exposición domiciliar de concentraciones de 100 Bq/m³ (7).

Estos resultados mostraron la importancia de tratar este problema y a raíz de ellos el **Área de Medicina Preventiva e Saúde Pública de la Universidad de Santiago de Compostela** elabora el *"Mapa de contaminación por radón de los domicilios de Galicia"* tomando cerca de 1000 mediciones.

El mecanismo consiste en la elección aleatoria de casas de todas las comarcas de Galicia para la colocación posterior de detectores de gas durante un periodo no inferior a tres meses, los detectores se colocan en la zona de la casa donde la persona seleccionada pase más tiempo, una vez pasado el periodo de tiempo se procede a su recogida para posterior lectura en el laboratorio de Radón de Galicia, con las lecturas obtenidas se detectan las zonas de alto, medio y bajo riesgo de contaminación por gas radón.

En Galicia los resultados obtenidos la clasifican de manera general como una zona de alto riesgo más del 10 % de las casas medidas superan los 200 Bq/m³ y el 22% supera los 148 (nivel de seguridad recomendado en EEUU).

Los detectores de radón empleados tienen la forma de un frasco de plástico pequeño (tamaño de un corcho de botella) sin riesgo alguno para la salud ya que no tiene ningún tipo de dispositivo electrónico simplemente recibe partículas α emitidas por el gas radón mediante un pequeño orificio o separación de la tapa del detector.

Efectos del gas radón sobre la salud

El radón es un gas radiactivo procedente de la descomposición del uranio-238 que da lugar al radio-226 y este al radón-222.

El uranio está presente en numerosas rocas y al descomponerse y dar lugar a gas radón este emigra hacia la atmosfera.

La toxicidad del radón es causada por su radiactividad ya que es una fuente de partículas α (He^{++}) que causa ionizaciones en la materia celular.

Sus efectos sobre la salud estarán relacionados con las radiaciones ionizantes con la matización de su entrada en el organismo que la realiza mediante las vías aéreas por inhalación.

Los efectos de las radiaciones ionizantes en seres vivos se han obtenido por la experimentación in vivo e in vitro.

La acción en el organismo de estas radiaciones es de carácter probabilístico y no selectivo lo cual quiere decir que no tiene predicción y actúa sobre cualquier célula.

La energía que producen estas radiaciones es absorbida por las células produciendo lesiones no específicas, no se pueden distinguir de las causadas por agentes físicos o químicos, estos cambios producidos son siempre lesivos ya que producen una alteración de las células y no lo hacen de manera inmediata pudiendo tardar años en manifestarse (periodo de latencia).

Las radiaciones ionizantes pueden actuar sobre las células:

- **Acción directa:** la acción de las radiaciones se produce de maneras directa al absorberse la energía de la radiación directamente o en algunas estructuras concretas como pueden ser macromoléculas, como el ADN, ARN, enzimas, proteínas, cromosomas, membrana, ribosomas, mitocondrias,...
- La absorción de la energía causaría ionizaciones y excitaciones a nivel de estas estructuras pudiendo causar un daño celular (8).

- **Acción indirecta:** la absorción de la energía se hace por moléculas de agua que se disocia originando iones y radicales libres muy reactivos que pueden interaccionar entre sí o con otros compuestos alterando las propiedades físicas y químicas del medio celular.

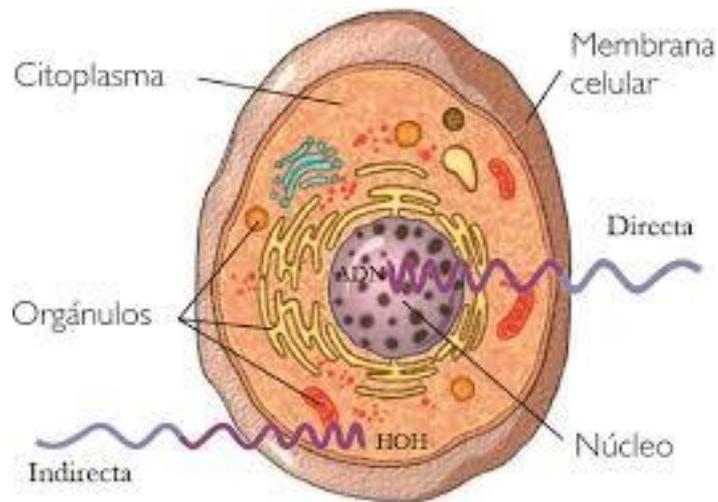


Figura 1. Acción de las radiaciones ionizantes sobre las células.
Fuente: física medica issste cmn20n.

El radón es una fuente de radiación ionizante a la cual está expuesta la población que reside en zonas con elevadas concentraciones del mismo.

La aparición de cáncer se produce al cabo de varios años de exposición, las radiaciones ionizantes constituyen una potente agente cancerígeno (9).

Estudios en animales que han sido irradiados así como los realizados en personas (10) que han estado expuestas a altas dosis de radiación han demostrado que las radiaciones ionizantes son un potente agente cancerígeno (11), el cáncer aparece varios años después de estar expuesto a la radiación siendo un efecto tardío.

La toxicidad del radón es originada por su radiactividad, es un gas inerte lo que hace que no se metabolice pero si puede disolverse en los tejidos, las partículas α que emiten causan ionizaciones en el seno celular donde libera la energía originando la formación de iones, radicales libres o produciendo la rotura de moléculas importantes como el ADN.

Las partículas α tienen poco poder de penetración ya que son muy pesadas, si es externa la propia dermis as puede detener, pero con el radón al ser un gas penetran en el organismo por la inhalación quedando retenidas en los tejidos del tracto respiratorio donde lesionan o destruyen las células que lo constituyen.

El radón: un problema para la salud pública

Todo lo que puede ocasionar un problema de salud puede convertirse en un problema de salud pública con más o menos dificultad de solución.

Una de las principales funciones de la salud pública es la identificación de estos peligros para tratarlos y minimizar su efecto evitando daños sobre las personas.

Los estudios epidemiológicos confirman que el radón aumenta el riesgo de cáncer de pulmón, (12), existen estudios realizados sobre mineros que demuestran una causa efecto derivada de su exposición (13) otros estudios sugieren incluso su relación con otro tipo de cánceres como el de estómago al ingerir agua con gas radón disuelto (14).

La proporción de caso de cáncer de pulmón asociados al radón en relación al total varía entre un 3 a un 14% dependiendo de la concentración media de radón en el país, en muchos países el radón es la segunda causa de cáncer de pulmón detrás del tabaco siendo un factor sumatorio en aquellas personas que están expuestas al gas y tienen hábitos tabáquicos.

El riesgo de cáncer de pulmón que se observó en los trabajadores de las minas subterráneas expuestos al radón (13) frente a la población general apunta a la posibilidad que este sea una causa importante de padecer cáncer de pulmón en los habitantes de casas donde se produzcan concentraciones por encima de los umbrales de seguridad.

La manera de observar la relación existente es la realización de casos y controles en los que se identifica un número predeterminado de individuos con cáncer de pulmón frente a otro grupo que no han contraído la enfermedad pero son representativos del grupo poblacional que ha contraído la enfermedad (los casos).

Este tipo de estudios se emparejan con los casos por edad y sexo para luego obtener un historial de residencia detallado así como información de sus hábitos como el tabaquismo.

Se han realizado al menos 40 estudios de este tipo, donde por separado no dan una información clara pero al agrupar los resultados se consigue una estimación agrupada (15,16) estas revisiones han concluido que existe un riesgo real entre la asociación de la exposición al gas radón y el cáncer de pulmón convirtiendo la exposición a gas radón en un problema de salud pública.

Se han realizado análisis que comparan los datos individuales de varios estudios (17) concluyendo la estimación de cáncer de pulmón asociada a la exposición de gas radón en las viviendas.

En la siguiente tabla se puede ver la interpretación de riesgo derivada de la exposición a diferentes factores relacionadas con el cáncer de pulmón.

Tabla 1. Incremento del riesgo de cáncer de pulmón por cada 100 Bq/m³ de concentración medida del radón en interiores, basado en los resultados de los análisis agrupados europeo y norteamericano.

	Análisis agrupado europeo ^a		Análisis agrupado norteamericano	
Sexo	% de aumento del riesgo (IC95)		% de aumento del riesgo (IC95)	
Varones	11 (4,21)		Varones	
3 (-4, 24)				
Mujeres	3 (-4,14)		Mujeres	
19 (2, 46)				
<i>p de la heterogeneidad</i>	0.19			
Edad en el momento de aparición de la enfermedad (años)				
<55	<0 (<0, 20)	<60	2 (<0, 35)	
55-64	14 (3, 31)	60-	80 (13,	
65+	7 (1, 16)	65-	2 (-5, 28)	
		70-	33 (1,	
		75+	-2 (-10,	
			30)	
<i>p de la tendencia</i>	0.98			
Consumo de tabaco				
Fumadores actuales de nunca cigarrillos	10 (-9, 42)	7 (-1, 22)	Personas que han fumado cigarrillos	
Ex-fumadores	8 (0, 21)			
Personas que nunca han fumado	11 (0, 28)	Fumadores o ex-fumadores de cigarrillos	10 (-2, 33)	
Otros	8 (-3, 56)			
<i>p de la heterogeneidad</i>	0.92			
Total				
Basado en el medido	8 (3, 16)	Basado en el medido	11 (0, 28)	

Fuente: ^aDarby et al. (2005, 2006), ^bKrewski et al. (2005, 2006).

IC95 = intervalo de confianza del 95%; los valores de p inferiores a 0,05 indican que el dato es estadísticamente.

En la tabla 2 vemos el riesgo de cáncer de pulmón derivado del análisis agrupado de diferentes estudios analíticos realizados:

Tabla 2. Resumen del riesgo de cáncer de pulmón derivado del radón interior basado en análisis agrupados internacionales que combinan los datos individuales de varios estudios de casos y control controles y en estudios sobre mineros expuestos al radón.

	N.º de Estudios incluidos	N.º de casos de cáncer de pulmón	N.º controles	Periodo de exposición (años) ^a	Incremento porcentual del cáncer de pulmón por cada 100 Bq/m ³ de	
					(basado en la radón medido concentración media de radón a largo plazo ^b)	
Análisis agrupados de estudios sobre el radón en el interior de las viviendas						
Europeo	13	7 148	14 208	5-35	8 (3, 16)	
		16 (5, 31) (Darby et al. 2005, 2006)				
Norteamericano	7	3 662	4 966	5-30	11 (0, 28)	- (Krewski et al. 2005, 2006)
Chino	2	1 050	1 995	5-30	13 (1, 36)	- (Lubin et al. 2004)
Media ponderada de los resultados de los anteriores análisis agrupados						
	10	~20 ^c				
Estudios en mineros expuestos al radón ^{d, e}						
Análisis BEIR VI (BEIR VI 1999; Lubin et al. 1997)	11	2 787		5-35	Todos los mineros: 5 Mineros expuestos MNT: 14; Mineros expuestos únicamente a <50 MNT y de <0,5 MNT: 30	
Estudio en trabajadores alemanes de minas de con exposiciones bajas tasas de dosis: 18 ^f (Grosche et al. 2006)	1	2 388		5-35	a	Mineros uranio
Trabajadores franceses y checos de minas de uranio (tasa de exposición media 4,5 MNT/año): 32	2	574		5+ 5-35	Todos los mineros de uranio	

Fuente: ^aDarby et al. (2005, 2006), ^bKrewski et al. (2005, 2006).

La asociación, por tanto, entre gas radón y cáncer de pulmón lo convierte en un riesgo importante para la salud lo que hace que la detección de zonas con alta concentración de este gas que puedan implicar un aumento natural del riesgo de padecer esta patología deban de ser identificadas y que se tomen las medidas necesarias para minimizar el efecto derivado de su exposición o disminuir la concentraciones de las viviendas hasta eliminarlo o conseguir unos niveles inocuos para las personas que residan en esas viviendas.

Metodología

La metodología empleada para la elaboración del mapa del gas radón en la comunidad gallega fue la selección de domicilios aleatorios donde se instalaron detectores del gas durante tres meses para su posterior recogida y lectura.

A las personas seleccionadas se e realizaron una serie de preguntas con el fin de detectar si tenían hábitos que pudieran aumentar las probabilidades de padecer cáncer de pulmón como el hábito tabáquico.

Las mediciones se hacen siguiendo protocolos normalizados para garantizar mediciones precisas y reproducibles.

Los dispositivos más empleados son los detectores de partículas alfa (DTPA), y los detectores de carbón activado (DCA) :(18).

Tabla 3. Características de diferentes dispositivos de medición de gas radón.

Tipo de detector muestreo (sigla)	Pasivo/activo Costo	Incertidumbre típica ^a		Periodo de
		[%]	típico	
Detector de trazas para	Pasivo	10 - 25	1 - 12 meses	bajo
Detector de carbón activado	Pasivo	10 - 30	2 - 7 días	bajo
Cámara iónica de electreto (CIE)	Pasivo	8 - 15	5 días - 1 año	medio
Dispositivo de integración	Activo	~ 25	2 días - año(s)	medio
Monitor continuo de radón	Activo	~ 10	1 hora - año(s)	alto

^a Incertidumbre expresada para duraciones óptimas de la exposición y para exposiciones de ~ 200 Bq/

Estos dispositivos pasivos no necesitan corriente eléctrica ni una bomba para funcionar y nos permiten obtener unas medidas continuas de las concentraciones en el domicilio, así como sus fluctuaciones durante el periodo de registro.

Los DTPA (detectores de trazas de partículas alfa) son los más populares para el registro de mediciones en viviendas ya que además nos van a dar las mediciones registradas a largo plazo (19).

Un DTPA es un trozo pequeño de plástico rodeado por una cámara de difusión con un filtro para evitar los productos de desintegración del radón, cuando este se desintegra genera partículas alfa cerca del material de detección, al impactar con este crean zonas dañadas microscópicas llamadas trazas latentes, el grabado químico o electroquímico del material plástico de detección aumentan el tamaño de las partículas alfa permitiendo su observación por microscopía óptica para contarlas manual o automáticamente, este recuento es proporcional a la concentración integrada de radón en Bqh/m³.



Figura 2. DTPA (detector de partículas alfa) y lector DTPA.



Figura 3. DTPA tipo LaRUC (dispositivo en tapa).

Los detectores se instalaron por un tiempo de seis meses, los DTPA son insensibles a la humedad, temperatura y otros tipos de radiaciones como la beta y gamma (20).

Las mediciones en viviendas tienen que registrar valores fiables de la exposición de las personas con un bajo costo, la elevada variabilidad temporal de las concentraciones del gas radón en el interior de las viviendas hace que los detectores deban mantenerse por un periodo de tiempo que garantice el registro, en la elaboración del mapa del gas radón en Galicia ese periodo fue un promedio de seis meses para garantizar las variaciones derivadas del tiempo y estaciones (21).

Las mediciones tienen que tener una garantía de calidad (GC) este es un concepto amplio que abarca todos los factores individuales o colectivos que pueden afectar a la medición.

La OMS (organización mundial de la salud) recomienda aplicar normas que garanticen esta GC para asegurar las normas de las mediciones.

Métodos para disminuir la concentración del gas radón

En las zonas catalogadas como zonas de riesgo deben tomarse medidas para mitigar la exposición del gas y conseguir una reducción del riesgo derivado de su exposición, la elección de los métodos preventivos dependerá de las fuentes del radón, hay que diseñar protocolos y directrices de ámbito nacional para desarrollar las estrategias de prevención sobre todo en el sector de la construcción siendo este sector clave para su prevención.

Las medidas realizadas deben de abarcar las diferentes viviendas existentes en la zona objeto de estudio, tanto las nuevas como las viejas, a la vez hay que analizar las estrategias más costo-eficaces aplicables para cada tipo de edificación.

Diseño de sistemas de control de gas radón:

Han de ser capaces:

- Reducir las concentraciones del gas a niveles seguros.
- Ser seguros y no producir tiro inverso, esto es que se conviertan en canalizaciones de las bolsas de gas.
- Ser duraderos y funcionales con respecto a la vida esperada de la edificación
- Fácil funcionamiento.
- Silenciosos.
- Costos reducidos y fáciles de instalar.

La principal estrategia será la determinación de las zonas geográficas de mayor riesgo mediante la elaboración de mapas geográficos resultantes de las diferentes mediciones.

Sistemas de despresurización (22):

- 1) **Despresurización activa del suelo (DAS):** Contienen uno o más puntos de aspiración en el suelo del piso, tiene un punto de salida que reduce al mínimo el riesgo de exposición (23,24), tendrá este sistema un ventilador en línea de funcionamiento continuo fuera de la vivienda, y el sistema ha de estar conveniente marcado para no confundirse con otros sistemas de tuberías.

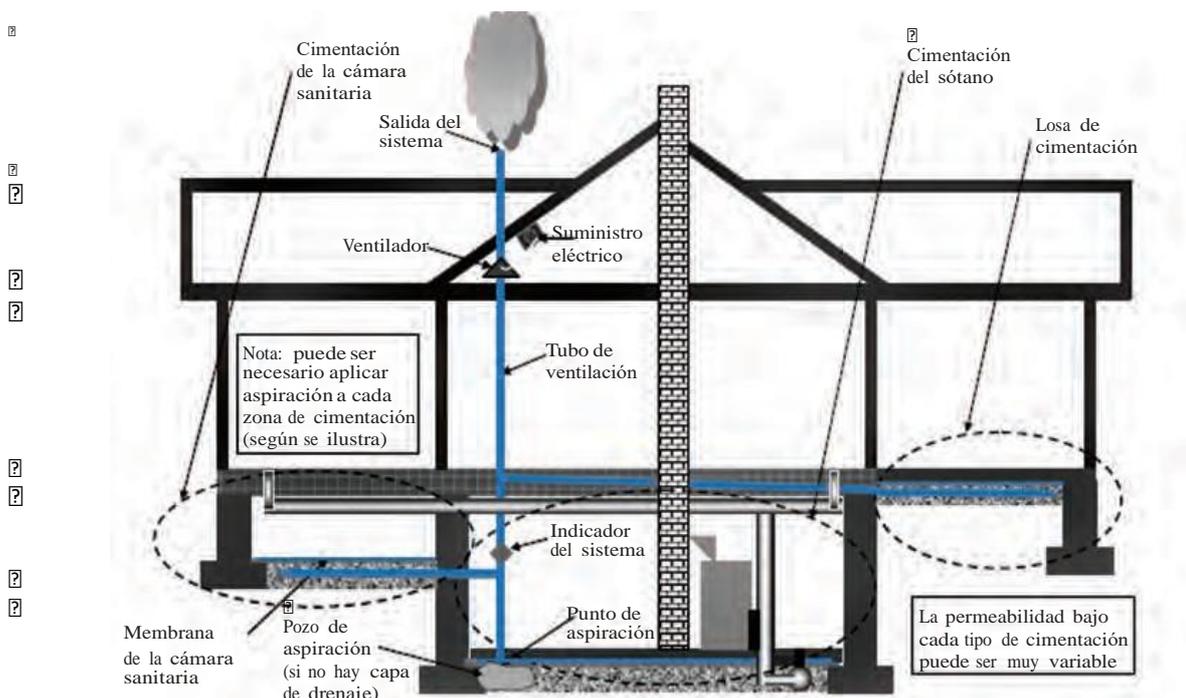


Figura 4. Despresurización activa del suelo para el control del radón en nuevas construcciones.

Fuente: elaboración propia.

- 2) **Despresurización pasiva del suelo (DPS):** es parecida a la activa salvo que la DPS depende de la flotabilidad térmica del aire en el tubo de ventilación y en la capacidad del sistema para disminuir la presión en el suelo, su eficacia depende de la capa permeable que se instale bajo los elementos de contacto directo con el suelo, el tubo

de ventilación debe estar instalado por la parte calefactada de la vivienda teniendo que aislarse térmicamente cualquier parte que no vaya por esta.

Si el sistema no es capaz de disminuir la cantidad de gas tiene que dar la opción de poder instalar un sistema de ventilación para hacerlo, el tubo de salida tiene que encontrarse por encima de la cubierta más alta.

Ya que las diferencias entre en tubo de ventilación y la zona habitada son muy pequeñas hay que realizar mediciones periódicas para comprobar las disminuciones de concentración del gas.

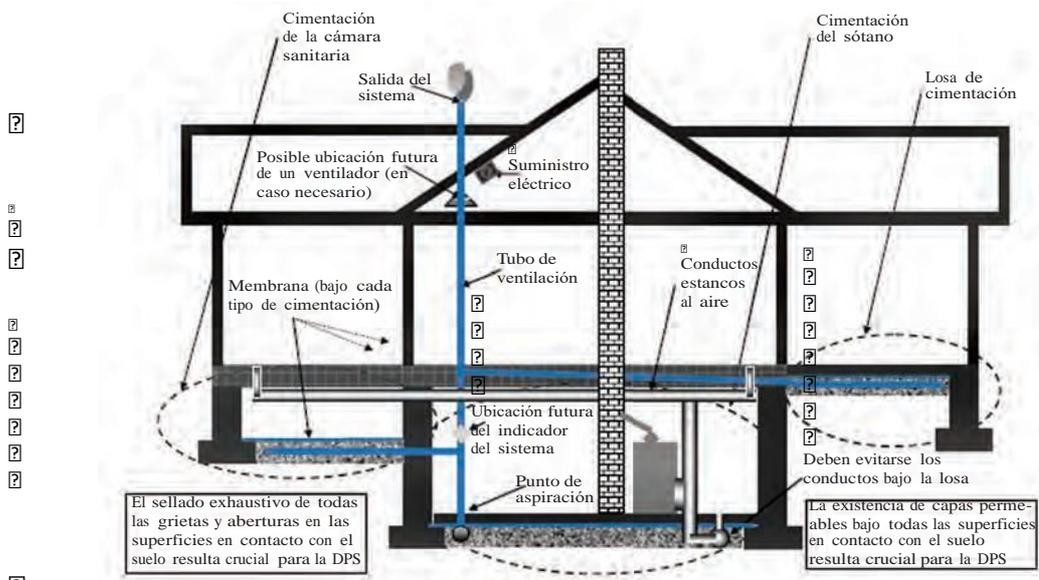


Figura 5. Despresurización pasiva del suelo para el radón en nuevas construcciones.

Fuente: elaboración propia.

Las grietas tienen que ser selladas para evitar filtraciones de gas, el sellado de superficies mejora las anteriores dos estrategias, ya que como única estrategia u efectividad es limitada pero como complemento mejora notablemente los dos anteriores sistemas de desgasificación (25).

El sistema DAS es el sistema más habitual por todo lo que ofrece como sistema de desgasificación en viviendas ya existentes y en nuevas viviendas por su fiabilidad, ya que las características específicas de estos sistemas dependen de las cimentaciones de las edificaciones.

En las nuevas construcciones pueden surgir algunos problemas a la hora de emplear los DAS como que el material del piso inferior tenga una permeabilidad limitada, en este caso sería necesaria la instalación de un pozo de aspiración.

También puede complicar el sellado de aberturas entre el suelo y el espacio habitado, en ocasiones otro problema es encontrar una situación correcta para los conductos de ventilación, aún así es el método mayoritario empleado en países como Alemania, Austria, Bélgica, Eslovenia, Estados Unidos, Finlandia o Reino Unido.

Otro complemento adicional a la desgasificación es la ventilación de los espacios habitables, que puede ser activa empleando ventiladores o pasiva mediante la apertura de ventanas en

algunos países como Irlanda la ventilación se emplea como un método eficaz para disminuir la concentración del gas (26).

Un factor determinante es el costo eficacia de los métodos empleados para disminuir la concentración del gas radón.

En este caso el cálculo del coste eficacia no busca la valoración monetaria de estos beneficios esperados lo que se intenta es calcular los costos sanitarios netos y los beneficios netos para la salud lo que nos da un índice que permite priorizar las medidas a tomar.

Un ejemplo es el empleo de los años de vida ajustados por calidad (AVAC) que nos permite realizar comparaciones entre las principales medidas correspondientes a las políticas empleadas para la mejora de la salud.

En este contexto los AVAC permiten valorar intervenciones destinadas a prevenir o tratar cualquier enfermedad (mortalidad y morbilidad) y de esta manera realizar análisis comparativos entre las alternativas y recursos para mejorar la salud.

La evaluación de los programas de reducción del radón que incluyan tanto medidas correctivas como preventivas tanto en viviendas existentes como de nueva construcción aportan información orientativa a la hora de elegir diferentes estrategias para tratar el problema.

El costo eficacia de las medidas preventivas y correctivas se mide mediante el costo que supone la prevención de una muerte por cáncer de pulmón y el costo por año de vida ganado.

En la mayoría de los estudios analizados los resultados se encuentra situados en el intervalo que da de los 15000 a 55000 euros por AVAC, variando de unos países a otros (27,28).

El empleo de técnicas informativas son una buena estrategia de cara a la prevención, el empleo de programas sobre radón destinados a los profesionales relacionados con las construcción de viviendas y reformas de las mismas a los que se puede incluir en cursos de formación permitirá adoptar medidas más eficaces para reducir la exposición al gas radón.

Es importante en toda campaña iniciada recordar y reforzar el efecto derivado de la relación entre el tabaco y el gas radón, los estudios epidemiológicos demuestran en riesgo absoluto la posibilidad de desarrollar cáncer de pulmón en personas expuestas al gas radón es mucho mayor en fumadores , en estudios europeos el riesgo relativo para fumadores de 15 a 20 pitillos por día y que tenían a diario exposiciones a radón de 0,100 y 400 Bq/m³ era de 26, 30 y 42 veces mayor con respecto a los no fumadores.

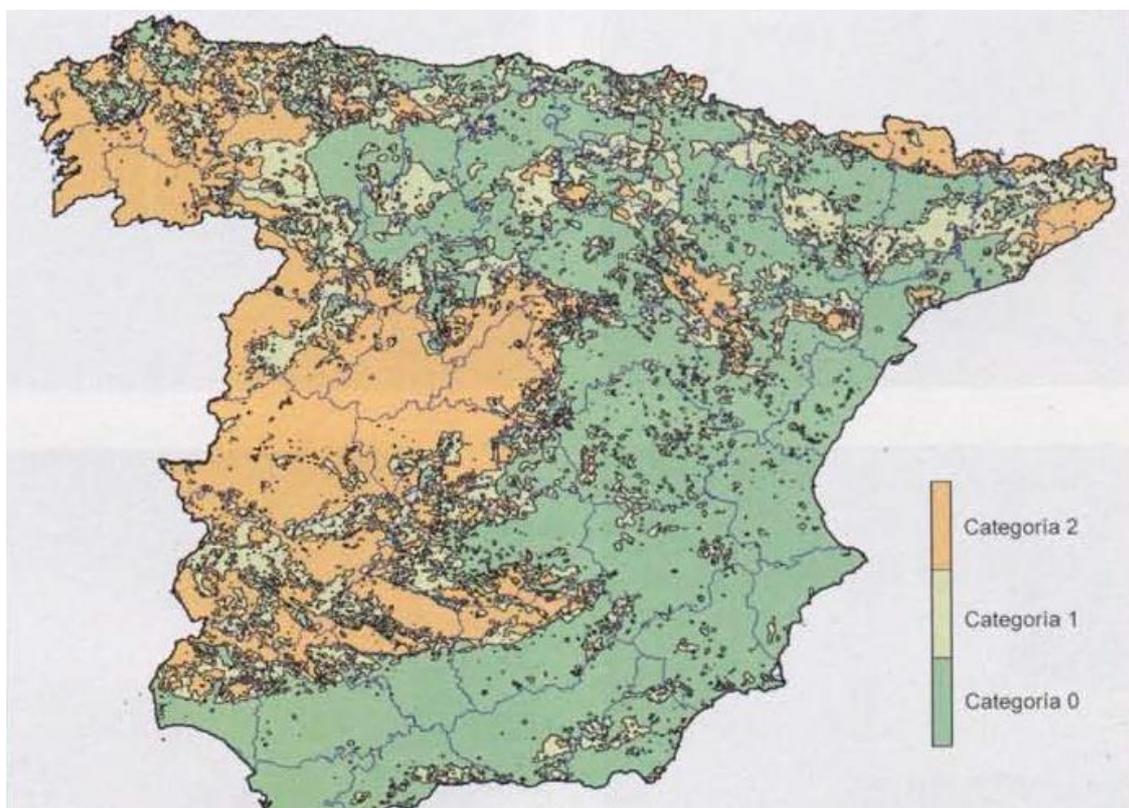
Para fumadores que consumen una cajetilla diaria o más el riesgo absoluto estimado de padecer cáncer antes de los 75 años es de un 10% en un entorno con ausencia de gas radón pero este riesgo se duplica hasta un 22 % si está expuesto a entornos con una concentración de gas radón elevada.

Por tanto la comunicación clara y eficaz es determinante a la hora de hacer que la población reaccione correctamente ante el riesgo del gas radón al entender que es un problema eliminable y que las concentraciones se pueden disminuir de manera sencilla.

Resultados

Las mediciones en la comunidad gallega permitieron la elaboración de un mapa de tipo geográfico con las zonas donde se detectó los mayores índices de concentración del gas.

Figura 6. Mapa español niveles de gas radón.



Fuente: Mantin-Matarranz JL. Proyecto Marna : mapa de contaminación potencial por radón con clasificación por niveles de riesgo en España.

La categoría cero corresponde a los niveles más bajos donde las mediciones son inferiores a 150 Bq/m³ de media donde menos del 5% de las casas se detectaron niveles superiores a 200Bq/m³ en estas localizaciones no se exige ningún tipo de medida salvo el sellado de fracturas en el subsuelo que pueda favorecer a la salida del gas.

El nivel 1 o categoría media las lecturas promedias fueron entre 150 y 200 Bq/m³ en este caso hay medidas recomendables como sistemas de despresurización en caso de fracturas en el suelo.

El nivel 2 o alto supone un riesgo potencial de contaminación por gas radón, en estas zonas una gran proporción de las casas (más de un 10%) los niveles son superiores a 200Bq/m³ en las zonas catalogadas con este nivel las edificaciones deben construirse con medidas anti gas y sistemas DAS.

Galicia se encuentra catalogada como una zona de nivel 2 en su mayor parte por lo que deben realizarse las medidas oportunas para disminuir la concentración de gas radón en viviendas al ser una comunidad que además presenta una incidencia elevada de cáncer de pulmón entre su población.

En Galicia se realizó un estudio de casos y controles sobre radón y cáncer entre 1992 y 1994 los controles fueron seleccionados por muestreo aleatorio estratificado y los casos incidentes, ingresados o diagnosticados por el Hospital Clínico Universitario de Santiago de Compostela (CHUS).

Los criterios de selección eran ser mayores de 35 años no tener neoplasias previas y haber residido al menos 5 años en el mismo domicilio y firmar el consentimiento.

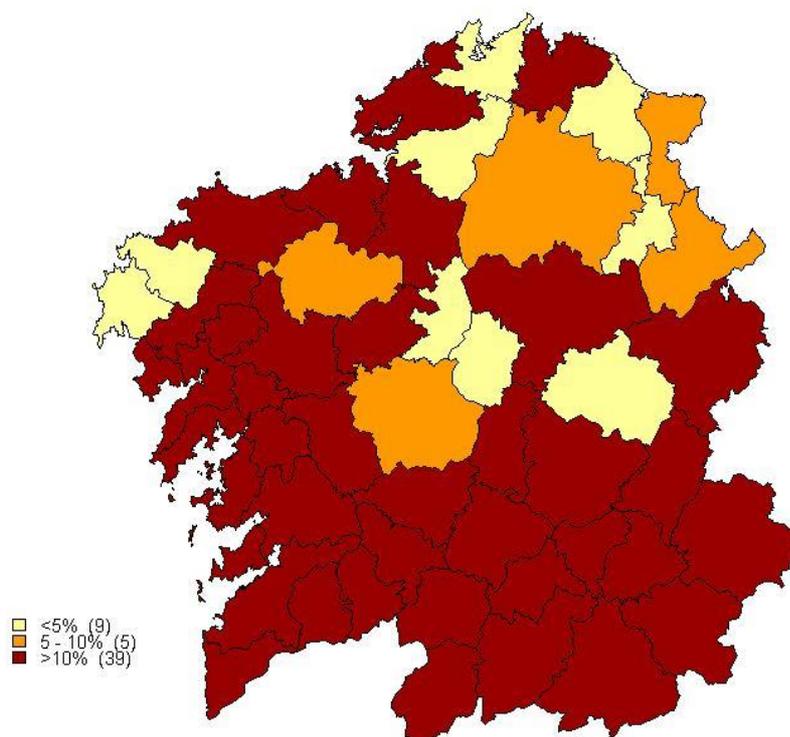
Participo un total de 163 casos y 241 controles (404 en total), (29) los resultados obtenidos mostraron que los niveles de gas radón fueron elevados entre 75 y 66 Bq/m³ en su mayoría, en los domicilios donde se detectaron niveles superiores a 37 Bq/m³ se duplica el riesgo de padecer cáncer de pulmón, siendo más elevado si los niveles de gas son superiores, se refuerza la fuerte interacción entre ambos factores asociados , la exposición a altas concentraciones y el hábito tabáquico.

En el 25% de las casas muestreadas se detectaron niveles superiores a 148 Bq/m³.

Esto hace que el radón sea un importante problema de salud pública para el que debe desarrollarse programas específicos para disminuir sus efectos.

Figura 7. Mapa gallego niveles del gas radón.

**Mapas de Radón de Galicia
(Comarcas)**



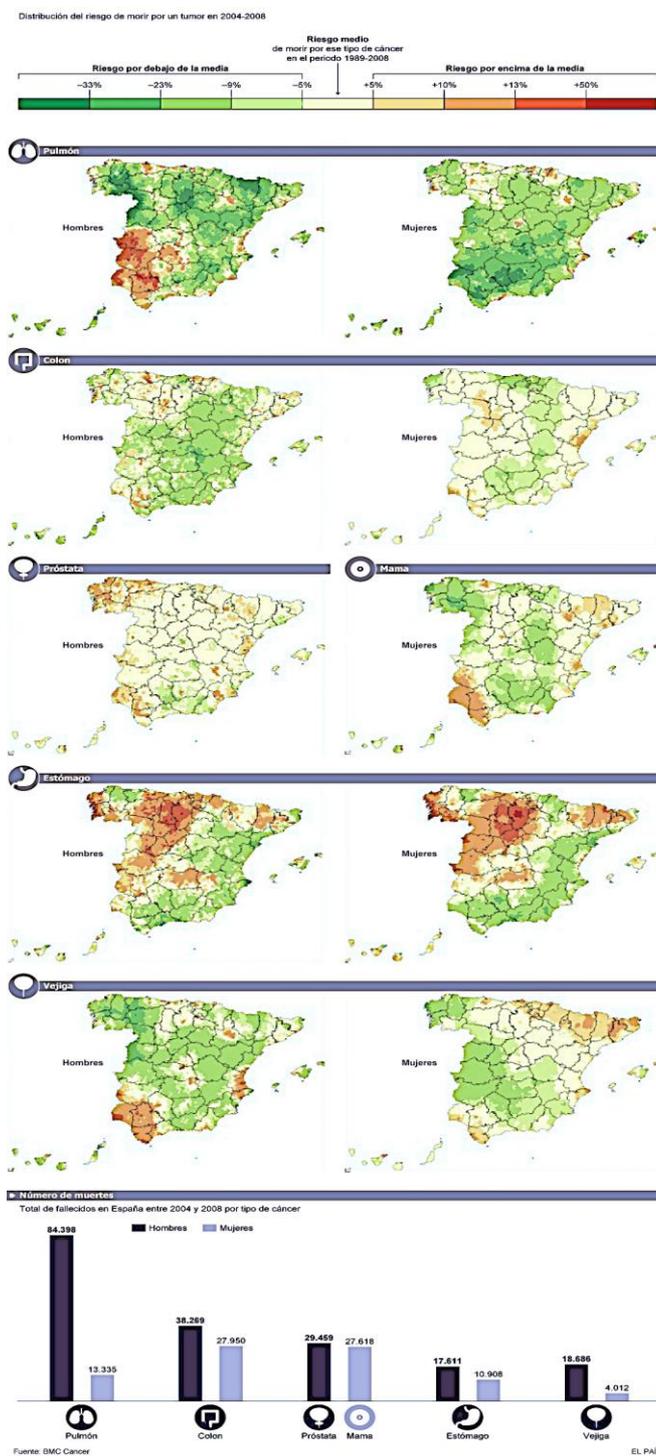
Medidas >200 Bq /m³

Fuente: Voz de Galica "mapa del gas radón en Galicia".

Elaboración: Equipo de investigación gas radón. Dpto. epidemiología ambiental USC.

Si analizamos la prevalencia del cáncer en España:

Figura 8. Prevalencia cáncer de pulmón en España.



Fuente: BMC cáncer

Conclusiones

Toda estrategia de la salud pública pasa por la prevención para evitar una exposición al agente causal de la enfermedad, una vez analizados los datos y comprobada la relación directa entre la prevalencia del cáncer de pulmón está justificada toda medida tomada para disminuirla.

La elaboración de mapas de radón de tipo geográfico elaborados con estudios de medición garantizados mediante protocolos que permitan estandarizar las mediciones permite identificar las zonas más propensas a estar expuestas a concentraciones elevadas de gas radón lo que les convierte en una herramienta fundamental a la hora de disminuir la exposición a este factor de riesgo para desarrollar cáncer de pulmón.

Estas mediciones realizadas siguiendo protocolos estandarizados permitirán tener un mapa real y actualizado a nivel nacional lo que ayudará a la hora de realizar campañas preventivas e informativas.

Estas campañas son un punto fundamental en la estrategia a desarrollar para solucionar los puntos con mayor exposición, la formación de profesionales involucrados en la construcción de viviendas permitirá la instalación de los sistemas recomendados de desgasificación en los puntos más críticos para disminuir las concentraciones de gas desde el inicio evitando la exposición al mismo.

Estos profesionales deben conocer los protocolos necesarios y fundamentales para desarrollar en las viviendas de nueva y antigua construcción.

Es necesario la elaboración de un plan nacional y autonómico coordinados con medidas de referencia que se actualicen periódicamente, esto ayudará a desarrollar una reglamentación general a la hora de construir viviendas y las medidas obligatorias a tomar en caso de estar en zonas catalogadas de riesgo.

Toda medida que ayude a disminuir la prevalencia de una patología grave como es el cáncer de pulmón es necesaria ya que no solo entra en juego el costo eficacia sino también el disminuir la mortalidad asociada por lo que todas estas medidas no solo están justificadas sino que son necesarias.

Referencias bibliográficas

1. Alavanja MC, Lubin JH, Mahaffey JA, Brownson RC, Residential radon exposure and risk of lung cancer, in Missouri. American Journal of Public Health 1999; 89 (7): 1042-1048.
2. U.S. Environmental Protection Agency (January 2009). A Citizen's Guide to Radon: The Guide to Protecting Yourself and Your Family From Radon. Retrieved October 18,2011.
3. Darby S, Hill D, Deo H, et al. Residential radon and lung cancer: detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14,208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. Scandinavian Journal of Work, Environment and Health 2006; 32(Suppl.1):1-83. Erratum in Scandinavian Journal of Work, Environment and Health 2007; 33(1):80.
4. Quindós LS, Fernández P, Soto J. National survey on indoor radon in Spain. Environ Internat 1991;17::449-53.
5. Barros-Dios JM, Barreiro MA, Ruano-Raviña A, Figueiras A. Exposure to residential radon and lung cancer in Spain: a population-based case-control study. Am J Epidemiol. 2002; 156(6):548-555.
6. Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM et al... Versión on-line publicada o 21/12/2004. Radon in homes and lung cancer risk: collaborative analysis of individual data from 13 european case-control studies.Br Med J 2005;330: 223-26.
7. 4. Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM, et al. Residential radon and lung cancer: detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7,148 subjects with lung cancer and 14,208 subjects without lung cancer from 13 epidemiological studies in Europe. Scand Work Environ Health 2006; 32:suppl 1:1-84.
8. Adoración Pascual Benés. El radón y sus efectos sobre la salud,1999.
9. PHILLIPS, P.S., DENMAN, A.R. radón: a human carcinogen. Sci. Prog. vol. 80, p. 317-336 (1997).
10. GARZÓN, L. Radón y sus riesgos. Universidad de Oviedo. Servicio de Publicaciones, 1992.
11. CHOEN, B.L. Questionnaire study of the lung cancer risk from radón in homes. Health Phys, vol. 72, p. 615-622 (1997).
12. Advisory Group on Ionising Radiation AGIR (2009). Radon and public health. radiation,Chemicals and environmental hazards. Health Protection Authority.
13. Archer VE et al. (2004). Latency and the lung cancer epidemic among United States uranium miners. Health Phys, 87:480-489.
14. Auvinen A et al. (2005). Radon and other natural radionuclides in drinking water and risks of stomach cancer: a case-cohort study in Finland. Int J Cancer, 10:109-113.
15. Lubin JH (1999). Indoor radon and the risk of lung cancer. Proceedings of the

American Statistical Association Conference on Radiation and Health Radiation Research, 151:105-107.

16. Lubin JH, Boice JD Jr (1997). Lung cancer risk from residential radon: meta-analysis of eight epidemiologic studies. *J Natl Cancer Inst*, 89:49-57.
17. Krewski D et al. (2005). Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of 7 North American case-control studies. *Epidemiology*, 16:137-145.
18. Field RW et al. (1996). Residential radon-222 exposure and lung cancer: exposure assessment methodology. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 6:181-195.
19. George AC (1996). State of the art instruments for measuring radon/thoron and progeny in dwellings - a review. *Health Phys*, 70:451-463.
20. Durrani SA, Ilic R, eds. (1997). Radon measurements by etched track detectors: applications in radiation protection, earth sciences and the environment. World Scientific Publishing Company, Singapore.
21. Baysson H et al. (2003). Seasonal correction factors for estimating radon exposure in dwellings in France. *Radiat Prot Dosimetry*, 104: 245-252.
22. Henschel D (1993). Radon reduction techniques for existing detached houses: technical guidance for active soil depressurization systems (Third Edition), US Environmental Protection Agency (EPA/625/R-93/011), Washington, D.C.
23. Henschel D (1995). Re-entrainment and dispersion of exhausts from indoor radon reduction systems: Analysis of tracer gas data. *Indoor Air*, 5(4):270-284.
24. Henschel D, Scott A (1991). Causes of elevated post mitigation radon concentrations in basement houses having extremely high pre-mitigation levels. Proceedings of the 1991 International Symposium on Radon and Radon Reduction Technology 2, U.S. Environmental Protection Agency (Preprints IV.1-17), Research Triangle Park, NC.
25. Brennan T, Osborne M, Brodhead B (1990). Evaluation of radon resistant new construction techniques. Proceedings of the 1991 International Symposium on Radon and Radon Reduction Technology, US Environmental Protection Agency (5:8.1-13), Research Triangle Park, NC.
26. Synnott H et al. (2007). The effectiveness of radon remediation in Irish schools. *Health Physics*, 92(1):50-57.
27. Krewski D et al. (2005). Residential radon and risk of lung cancer. A combined analysis of seven North American case-control studies. *Epidemiology*, 16:137-145.
28. Lubin JH et al. (2004). Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies. *Int J Cancer*, 109:132-137.
29. Barros-Dios JM, Barreiro MA, Ruano-Raviña A, Figueiras A. Exposure to residential radon and lung cancer in Spain: a population-based case-control study. *Am J Epidemiol* 2002; 156(6):548-555.

Ciencias y Letras

