

Aguas radiactivas, ¿fe peligrosa o beneficio demostrado?

Marta NAVARRO GÓMEZ⁽¹⁾, Ana Isabel MARTÍN MEGÍAS⁽²⁾

⁽¹⁾Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid. Avenida Puerta de Hierro s/n, 28040 Madrid (España).

⁽²⁾Instituto de Mayores y Servicios Sociales (Imserso), Avenida de la Ilustración s/n, 28029 Madrid (España).
anabelmartin@imserso.es

Resumen

La población, en general, está expuesta a lo largo de su vida a radiaciones ionizantes tanto de origen natural (procedente de la propia naturaleza) como de origen artificial (fundamentalmente de actividades médicas), no obstante existe un gran temor a las repercusiones que pudieran tener las radiaciones sobre el organismo humano. Las aguas radiactivas (con gas radón disuelto) han sido el blanco de una gran discrepancia acontecida a lo largo de los años y que hoy día persiste. Si bien es cierto que muchos estudios avalan la hormesis y los efectos beneficiosos que conlleva, los detractores se apoyan en el principio de ALARA y en los estudios de alta prevalencia de cáncer de pulmón en personas expuestas a altas dosis de radón y de forma continuada. Considerando que no hay un límite unificado permisible de exposición al radón, que la exposición es algo frecuente e inevitable, que tiene una vida media muy corta y es inerte, se han creado diversos balnearios avalando y difundiendo sus efectos beneficiosos. Sin embargo no hay que olvidar que aún existe mucha reticencia a su uso por parte de los curistas.

Palabras claves: Radón, Radiactividad, Controversia, Cáncer pulmonar, Hormesis, Dosis, Progenie.

Radioactive water, dangerous faith or demonstrated benefit?

Abstract

All populations are exposed throughout their lives to ionizing radiations normally of natural origin (from nature itself) or of artificial origin (mainly due to medical activities), however, in general there is great fear of the effects of radiation on human organisms. Radioactive water (with dissolved radon gas) has originated long debates throughout the years and they still exist. Even though many studies support hormesis and its beneficial effects, detractors express their doubts because of the ALARA principle and studies registering higher incidence of lung cancer in people who have received high radon doses during prolonged periods. Since the limit of permissible radon radiation has not been established unanimously

and considering that exposition to radon radiation is frequent and inevitable and that it has a very short half life and that it is inert, several spas are offering and promoting its beneficial effects. This doesn't mean that there are still many curists that are very skeptic.

Key words: Radon, Radioactivity, Controversia, Lung cancer, Hormesis, Doses, Progenie.

REFERENCIA NORMALIZADA

Navarro M, Martín AI. Aguas radiactivas, ¿fe peligrosa o beneficio demostrado?. (Radioactive water, ¿dangerous faith or demonstrated benefit?). *Anal Hidrol Med*, 2008-2010, vol. 3, 109-129.

INTRODUCCIÓN

La radiactividad ha estado presente de forma natural desde la misma creación del Universo pese a no conocer su existencia hasta hace poco más de cien años gracias a los trabajos de Curie y Rutherford¹. No obstante el hombre tenía una concepción errónea de la radiactividad al entender ésta como algo artificial resultado de la manipulación del átomo y sin advertir que también es una constante de la naturaleza en la que tanto partículas como gases radiactivos son vehiculizados por el ciclo del agua hasta capas telúricas impermeables para posteriormente aflorar nuevamente al exterior.

El radón es un gas noble, incoloro, inodoro e insípido² que procede de la desintegración del Uranio (que se encuentra en la naturaleza como una mezcla de U^{238} , U^{235} y U^{234} y del Torio³⁻⁴). Atendiendo a sus series de desintegración comprobaremos que el radón procede del radio y tiene un período de desintegración bajo⁵. Emite radiación alfa con bajo poder de penetración aunque gran poder ionizante y energético (4 a 6 MeV) que le confiere la acción sobre el organismo. No obstante, no hay que olvidar que pese a que el enriquecimiento orgánico es progresivo, éste no sobrepasará un óptimo logrado entre los 40 y 60 minutos de exposición aunque igualmente va descendiendo a las 3 o 4 horas⁶.

Además, el radón presenta una alta difusividad en la naturaleza y más particularmente si se origina o discurre en terrenos graníticos o antiguas zonas volcánicas⁷. Es por ello por lo que el radón puede aparecer disuelto en agua, considerándose aguas radiactivas a niveles de 67.3Bq/l o superiores⁸, o bien mezclado con el aire⁵.

Otro aspecto importante a valorar sería si la radiactividad que presentan las aguas mineromedicinales es temporal o permanente. Lo normal es que sea una radiación espontánea y breve con una actividad debida al radón de 3.82 días⁷, de ahí que sólo se manifieste en el punto de emergencia y no produzca riesgo de acumulación orgánica, riesgo que sí se produciría en el caso de que fuese permanente.

La radiactividad utilizada como terapia siempre ha estado envuelta en polémica. Si bien es cierto que algunos autores reivindican que uno de los errores más impor-

tantes en la historia de la medicina física fue el uso de materiales radiactivos como terapia, otros consideran que los mismos podrían curar todo tipo de enfermedades⁹.

Ya en 1989 Paul W. Frame¹⁰ con su artículo "*Radioactive curative devices and spas*" describe los usos otorgados a la radiactividad en distintos productos, pero basados, todos ellos, en la idea de presentar propiedades curativas *milagrosas*. De hecho el radón fue considerado un elemento vital del agua a la que diversos doctores de la época atribuyeron la capacidad de prevenir la locura, retardar la vejez, aliviar lesiones crónicas de la piel, dispepsias gástricas, diarreas crónicas, envenenamientos metálicos, gota y reumatismo entre otros procesos, sin olvidar la explicación científica para las curas del profesor Bertram Boltwood de Yale en la que afirmaba que "*la radiactividad lleva la energía eléctrica a las profundidades del cuerpo y allí somete a jugos, citoplasmas y núcleos celulares a un inmediato bombardeo de explosiones de electrones, lo que estimula la actividad celular y activa todos los órganos excretorios y secretores...eliminando así los residuos. Además esto es un mecanismo para la destrucción de las bacterias*".

La fe ciega que mostraban diversos adeptos al milagro de la curación por la simple exposición a la radiactividad hizo que muchas personas se desplazaran miles de kilómetros para permanecer un tiempo en minas de minerales radiactivos, beber agua con contenido radiactivo o mantener en contacto con el cuerpo rocas radiactivas⁹, popularizándose diversas minas como las de Basin (Montana) o las de la Viuda Feliz, considerada esta última una mina de salud pese a que, por entonces, la comunidad médica en EEUU se mostraba totalmente contraria a estas declaraciones ya que postulaban que la exposición a altas dosis de radiación conllevaba efectos bionegativos bien documentados hasta el momento¹¹.

Toda esta discrepancia genera no sólo desacuerdos entre detractores y defensores, sino la aparición de oportunistas inventores de aparatos caseros con radón, de tal éxito por aquel entonces que la Asociación Médica Americana empezó a establecer exigentes normas.

Lo cierto es que a lo largo de los años y actualmente mediante diversos estudios, a las aguas radiactivas¹²⁻¹³⁻¹⁴⁻¹⁵⁻¹⁶⁻¹⁷ se les han atribuido numerosos efectos beneficiosos para el tratamiento de diversas afecciones (Tabla 1) no obstante es preciso aclarar que todos los efectos atribuidos no se deben exclusivamente al radón sino que la presencia de determinados oligoelementos y la temperatura elevada del agua juegan un papel importante.

Sin embargo, las aguas radiactivas no son una excepción en cuanto a las contraindicaciones generales de las curas balnearias por lo que su uso dependerá de los datos aportados por el médico de cabecera y la situación observada por el médico del balneario en el momento de la entrada del curista a la consulta previa¹⁸.

Tabla 1 – Efectos beneficiosos atribuidos a las aguas radiactivas

Procesos inflamatorios crónicos: disminuye dolor y mejora movilidad articular. Enfermedades reumáticas, espondilitis anquilosante.	Tratamiento hiperuricemia (gota).	Afecciones dermopáticas: dermatosis pruriginosas, úlceras, heridas atónicas.
Poder calmante y antiálgico.	Mejora la microcirculación en diabéticos	Procesos inflamatorios ginecológicos crónicos: disminuye las inflamaciones.
Eliminan la excitabilidad. Tratamiento de estrés, ansiedad y depresión.	Aumento de la actividad tiroidea	Afecciones nerviosas: de índole funcional, neurosis. Regulador del sistema nervioso vegetativo.
Afecciones digestivas: gastritis dolorosas, enterocolitis y estados espásticos.	Descongestionante	Afecciones renales: nefropatías albuminúricas.
Antialérgico	Procesos respiratorios: bronquitis, rinofaringitis, asma.	Afecciones circulatorias: trastornos circulatorios no orgánicos

UTILIZACIÓN DE LA RADIATIVIDAD COMO TERAPIA

¿Está el uso de la radiactividad como terapia justificada o realmente supone un peligro para los organismos vivos?

Para poder entender la postura de defensores y detractores, haremos un breve recorrido por las principales ideas y estudios que sustentan su posición no sin antes hacer referencia a recomendaciones de diversos Organismos así como Legislaciones establecidas.

El tratamiento jurídico del radón a día de hoy es bastante desconcertante. El principal problema reside en que es un gas que se encuentra de forma natural e irregular en la naturaleza y puede variar incluso en un mismo lugar dependiendo del día o época del año¹⁹.

Numerosos estudios realizados desde los años setenta relacionan al radón con el cáncer de pulmón, y de hecho ha sido clasificado como agente cancerígeno del grupo I²⁰. Ya en 1986 la OMS declara ese carácter cancerígeno, confirmado por la IAFRC años más tarde, y estableciendo la OIT una relación directa con trabajadores de ciertos sectores. Posteriormente se establece una relación sinérgica entre radón y el hábito de fumar e incluso las líneas de alta tensión¹⁹. Sin embargo y pese a estos datos, no fue hasta 1990 cuando a través de una Recomendación Europea (90/143/EURATOM) se empiezan a establecer límites de exposición (400 Bq/m³ para construcciones antiguas y de 200 Bq/m³ en las nuevas)²¹. Años más tarde mediante la Recomendación 2001/928/EUROTOM los límites máximos son de 1000 Bq/l en suministros de agua individuales y de 100Bq/l en suministros comerciales y públicos²².

Pero para encontrar una referencia en la legislación española al control de los descendientes del radón debemos consultar el Real Decreto 783/2001, que en su artículo 62 considera las actividades laborales en las que tanto trabajadores como miembros del público estén expuestos a la inhalación de descendientes del torón, radón, a la radiación gamma u otras exposiciones en determinadas áreas²³. Este hecho ya se consideró en la Directiva 96/29/EURATOM en la que se establecieron normas básicas de protección y de la que en 1997 un grupo de expertos de la UE redactó una guía técnica²⁴, estableciendo de esta manera un nivel de actuación mediante medidas correctoras de 500-1000 Bq/m³ con una exposición de 2000 horas por año²⁵.

El Real Decreto 140/2003 fija el objetivo de establecer los criterios sanitarios que deben cumplir las aguas de consumo humano, las instalaciones de suministros y la obligatoriedad de realizar una serie de controles entre los que destacan los radiactivos, tomando así conciencia de la inexistencia de datos al respecto²⁶.

Si consideramos las recomendaciones de niveles de radón máximos de distintos países e Instituciones comprobamos que no existe un acuerdo en el establecimiento de unos límites (Tabla 2); de hecho, si valoramos los datos aportados podría llamar la atención los valores establecidos por la UE puesto que son más elevados en comparación con los de la EPA (EEUU), que pretende bajar los límites en el interior de las viviendas a 0.4 pCi/l (148 Bq/m³), objetivo que tecnológicamente no es posible en muchos casos²⁷. Pese a ello algunos estudios sugieren incluso que a concentraciones por debajo de estos niveles de referencia el radón podría incrementar notablemente el riesgo de cáncer pulmonar²⁸.

La OMS (Organización Mundial de la Salud), aún más restrictiva, propone unos límites de 100 Bq/m³³⁰.

Tabla 2 – Niveles máximos de radón recomendados por diversos organismos Internacionales¹⁻²⁹

PAÍS / ORGANISMOS INTERNACIONALES	pCi/L
EEUU / EPA (Environmental Protection Agency)	4.0
Reino Unido / National Radiological Protection Board	7.4
EEUU / NCRP (National Council for Radon Protection)	8.0
Alemania	9.2
Suecia y Suiza	10.8
Canadá	21.6
Inglaterra	5.4
Comunidad Europea (en viviendas antiguas)	14.8
Comunidad Europea (en viviendas nuevas)	7.4

Por tanto, pese a las cifras orientativas no unánimes de diversos Organismos, se deja a las autoridades competentes de cada Estado, la periodicidad y tipo de control que se considere más adecuado⁽³¹⁾, se realizan estudios dosimétricos para precisar la Dosis Equivalente Efectiva y se determina, en el caso del estudio de la radiactividad en aguas mineromedicinales, la concentración de Rn²²² y Rn²²⁶.³²

Aún existen muchos interrogantes en el uso de la radiactividad como terapia en diversas enfermedades y esto ha generado que muchos se opongan a su utilización para este fin, insinuando que las terapias estarían más justificadas en la fe que en la ciencia.

En el siglo XVI Paracelso y Agrícola hicieron referencia a la elevada mortalidad que existía entre los trabajadores de las minas de plata de Schneeberg (Sajonia) pero no fue hasta el siglo XVIII cuando empezaron a aumentar dichos efectos conociéndose como “mal de la montaña de Erz o mal de Erzgebirge” y posteriormente como cáncer pulmonar. A partir de entonces numerosos estudios y mediciones en minas, e incluso en viviendas, confirmaban que los altos niveles de radón producían cáncer pulmonar¹.

Así hoy numerosos Organismos se hacen eco de la problemática del gas radón:

- La EPA (Agencia de Protección Ambiental) confirma tras diversos estudios que el radón es la primera causa de cáncer pulmonar entre los no fumadores y en general, la segunda de dicho cáncer por lo que lanza un manual informativo en

el que detalla los riesgos de la exposición al gas radón y las medidas correctoras y de prevención a aplicar³³. Esta misma Agencia ha creado una base de datos llamada Integrated Risk Information (IRIS) que contiene los efectos de salud por la exposición a determinadas sustancias³⁴ entre las que se encuentra el radón.

- La OMS en 2009, en el Proyecto Internacional contra el Radón (PIR), publica la obra “*Who handbook on indoor radón, a public health perspective*” en la que ofrece recomendaciones y normativas de aplicación para reducir los posibles riesgos sanitarios que estén vinculados a la exposición de radón en las viviendas³⁵.

Tabla 3 – Radón, tabaco y cáncer pulmonar³⁷

Riesgo que presenta el radón si se es fumador			
Nivel de radón	Si 1.000 personas que han sido fumadores se vieran expuestas a este nivel de radón durante toda la vida,	El riesgo de contraer cáncer por exposición al radón es comparable a	QUÉ HACER: Deje de fumar y
20 pCi/L	unas 135 personas podrían contraer cáncer de pulmón	<-- 100 veces el riesgo de morir ahogado	Repare su vivienda
10 pCi/L	unas 71 personas podrían contraer cáncer de pulmón	<-- 100 veces el riesgo de morir en un incendio en la vivienda	Repare su vivienda
8 pCi/L	unas 57 personas podrían contraer cáncer de pulmón		Repare su vivienda
4 pCi/L	unas 29 personas podrían contraer cáncer de pulmón	<-- 100 veces el riesgo de morir en un accidente aéreo	Repare su vivienda
2 pCi/L	unas 15 personas podrían contraer cáncer de pulmón	<-- 2 veces el riesgo de morir en un accidente de tránsito	Considere reparar entre 2 y 4 pCi/L
1.3 pCi/L	unas 9 personas podrían contraer cáncer de pulmón	(Nivel promedio de radón en el interior)	(Es difícil reducir los niveles de radón por debajo de 2 pCi/L)
0.4 pCi/L	unas 3 personas podrían contraer cáncer de pulmón	(Nivel promedio de radón en el exterior)	(Es difícil reducir los niveles de radón por debajo de 2 pCi/L)
Nota: Si es usted un ex fumador, su riesgo puede ser menor que el de alguien que fuma.			

- El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y la EPA consideran que el radón es carcinogénico en seres humanos⁴. Por ello la EPA³⁶ fija unos estrictos niveles de radón de 4 pCi/l en el aire del interior de los hogares, señalando que pese a que estos niveles son bajos existe la posibilidad de riesgo para la salud aunque reducido (Tabla 3 y 4), mientras que la Administración de Salud y Seguridad en Minas (MSHA) adopta un límite de exposición de 4 WLM (Niveles de Trabajo mensuales) para trabajadores de minas³⁶.

Tabla 4 – Radón y cáncer pulmonar³⁷

Riesgo que presenta el radón si no se fuma			
Nivel de radón	Si 1.000 personas que no han sido fumadores se vieran expuestas a este nivel de radón durante toda la vida,	El riesgo de contraer cáncer por exposición al radón es comparable a	QUÉ HACER:
20 pCi/L	unas 8 personas podrían contraer cáncer de pulmón	<-- El riesgo de ser asesinado en un crimen violento	Repare su vivienda
10 pCi/L	unas 4 personas podrían contraer cáncer de pulmón		Repare su vivienda
8 pCi/L	unas 3 personas podrían contraer cáncer de pulmón	<-- 10 veces el riesgo de morir en un accidente aéreo	Repare su vivienda
4 pCi/L	unas 2 personas podrían contraer cáncer de pulmón	<-- El riesgo de ahogamiento	Repare su vivienda
2 pCi/L	aproximadamente 1 persona podría contraer cáncer de pulmón	<-- El riesgo de morir en un incendio en la vivienda	Considere reparar entre 2 y 4 pCi/L
1.3 pCi/L	menos de 1 persona podría contraer cáncer de pulmón	(Nivel promedio de radón en el interior)	(Es difícil reducir los niveles de radón por debajo de 2 pCi/L)
0.4 pCi/L	menos de 1 persona podría contraer cáncer de pulmón	(Nivel promedio de radón en el exterior)	(Es difícil reducir los niveles de radón por debajo de 2 pCi/L)

Partiendo de la base de que agencias de salud hayan clasificado al radón como un “carcinógeno humano conocido” y que numerosos estudios avalan esta afirmación (Tabla 5 a y b) es de suponer que ésta sea la principal oposición a su uso y principal motivo de preocupación y control.

Tabla 5a – Estudios de casos y controles y análisis conjunto de estudios sobre radón residencia y cáncer de pulmón ²

AUTOR Y AÑO	LUGAR	TAMAÑO MUESTRAL	RESULTADOS
Darby et al. 2005	Análisis conjunto de estudios europeos	14 estudios incluidos	El riesgo de CP por cada 100 Bq/m ³ aumenta en 1,16 (IC del 95%, 1,05-1,31).
Krewski et al. 2005	Análisis conjunto de estudios norteamericanos	7 estudios incluidos	El riesgo de CP por cada 100 Bq/m ³ aumenta en 1,11 (IC del 95%, 1,00-1,28).
Lubin et al. 2004	Análisis conjunto de estudios chinos	2 estudios incluidos	El riesgo de CP por cada 100 Bq/m ³ aumenta en 1,33 (IC del 95%, 1,01-1,36).
Bohicchio et al. 2005	Italia	384 casos y 404 controles	Riesgos de 1.30 (IC del 95%, 1.03-1.64); 1.48 (IC del 95%, 1.08-2.02); 1.49 (IC del 95%, 0.82-2.71), y 2.89 (IC del 95%, 0.45-18.06) para exposiciones de 50-99, 100-199, 200-399 y > 399 Bq/m ³ , respectivamente, al comparar con exposiciones <50Bq/m ³ .
Pavia et al. 2003	Metaanálisis	17 estudios incluidos	El riesgo para los expuestos > 150Bq/m ³ es de 1.24 (IC del 95%, 1.11-1.38). Riesgos de 1.57 (IC del 95%, 1.08-2.27); 1.93 (IC del 95%, 1.19-3.13), y 1.93 (IC del 95%, 0.99-3.77) para concentraciones de 50-80, 81-140 y >140 Bq/m ³ , respectivamente, tomando como referencia concentraciones < 50Bq/m ³ .
Kreienbrock et al. 2001	Antigua Alemania Occidental	1449 casos y 2297 controles	Riesgos de 0.85 (IC del 95%, 0.59-1.22); 1.19 (IC del 95%, 0.81-1.77); 1.04 (IC del 95%, 0.64-1.67), y 1.11 (IC del 95%, 0.59-2.09) para concentraciones de 50-100, 100-200, 200-400 y >400 Bq/m ³ , tomando como referencia a los expuestos a <50Bq/m ³ .
Baysson et al. 2004	Francia	486 casos y 984 controles	Riesgos de 2.73 (IC del 95%, 1.12-5.48); 2.48 (IC del 95%, 1.21-6.79) para expuestos a 37-55, 55-148 y >148 Bq/m ³ , respectivamente, tomando como referencia a expuestos a <37Bq/m ³ .
Barros-Dios et al. 2002	Galicia, España	163 casos y 241 controles	No hubo diferencias en los riesgos de CP para expuestos frente a no expuestos.
Letourneau et al. 1994	Canadá	738 casos y 738 controles	

CP: cáncer de pulmón. IC: intervalo de confianza

Tabla 5b – Estudios de casos y controles y análisis conjunto de estudios sobre radón residencia y cáncer de pulmón ²

AUTOR Y AÑO	LUGAR	TAMAÑO MUESTRAL	RESULTADOS
Letourneau et al. 1994	Canadá	738 casos y 738 controles	No hubo diferencias en los riesgos de CP para expuestos frente a no expuestos.
Alavanja et al. 1999	Missouri (EE.UU.)	783 casos y 742 controles expuestos durante 25 años a radón residencial	Riesgos de 1.3 para nunca fumadores y de 4.8 para muy fumadores.
Auvinen et al. 1996	Finlandia	517 casos y 517 controles	Riesgos de 1.03 (IC del 95%, 0.84-1.26); 1.00 (IC del 95%, 0.78-1.29); 0.91 (IC del 95%, 0.61-1.35), y 1.15 (IC del 95%, 0.69-1.93) para concentraciones de 50-99, 100-199, 200-399 y 400-1237 Bq/m ³ , respectivamente, tomando como referencia concentraciones <50Bq/m ³ .
Pershagen et al. 1994	Suecia	1360 casos y 2847 controles	Riesgos de 1.3 (IC del 95%, 1.1-1.6) y 1.8 (IC del 95%, 1.1-2.9) para expuestos a 140-400 y >400 Bq/m ³ , respectivamente, tomando como referencia a expuestos a <50Bq/m ³ .

CP: cáncer de pulmón. IC: intervalo de confianza

Uno de los estudios consultados se realizó en Galicia³⁸ entre 1992 y 1994 por FIS-Dirección Xeral de Política Universitaria y concluyó que los sujetos estudiados y que estuvieron expuestos a niveles superiores a 1pCi/l en su domicilio durante al menos 5 años, duplicaron el riesgo de cáncer pulmonar, siendo algo superior el riesgo a niveles de radón elevados. También se mostró una fuerte interacción de la exposición al radón con el consumo de tabaco puesto que el riesgo de cáncer era muy superior.

El mismo estudio hace referencia a diversos trabajos realizados a nivel Europeo en los que se alude un incremento de riesgo de cáncer pulmonar del 16% con un aumento de 100Bq/l, sin embargo en el mismo se comenta la existencia de otros estudios en los que se demuestra que el riesgo de cáncer pulmonar en la población no fumadora de 75 años expuesta a dicha dosis de radón apenas se incrementa en un caso por 1000.

Como es de esperar, la toxicidad del radón es debida a su radiactividad ionizante ya que emite partículas alfa que pueden provocar modificaciones a nivel celular e incluso destrucción celular.

Estas partículas, por inhalación, se introducen en el organismo pudiendo provocar lesión o destrucción de células a nivel del tracto respiratorio, lo que unido a la presencia de su progenie y su correspondiente emisión alfa puede desembocar en cáncer de pulmón³⁹.

Otros estudios, sobre todo realizados en mineros, apuntan que altas dosis de exposición pueden dar lugar a la aparición de fibrosis pulmonar y enfisema⁴⁰. Los efectos en la piel propiciados por la exposición al radón también han sido muy discutidos mientras que la úlcera y atrofia dérmica han sido descartadas por algunos estudios al considerar necesaria la irradiación de la dermis (hecho que no se da con partículas alfa puesto que su poder de penetración es muy pequeño y pierde su energía rápidamente⁴¹⁻⁴², aunque a muy altas dosis de radiación se han dado casos de eritema y necrosis epidérmica aguda implicando circunstancias fuera de lo normal⁴¹.

Por último y no menos importante, los detractores se apoyan en un principio básico y mundialmente conocido: el principio de ALARA. Éste promulga la idea de que la exposición debe limitarse hasta ser tan baja como sea razonablemente posible e insisten en que no existe un umbral de seguridad para la exposición a la radiactividad⁴³, de hecho la UNSCEAR (Comité de las Naciones Unidas sobre efecto de las radiaciones) emite un comunicado en 1994 resultado de un exhaustivo estudio de carcinogénesis radioinducida en el que advierte de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes incluso a dosis bajas poniendo así en tela de juicio el concepto de hormesis pese a que los efectos a dichas dosis no se obtuvieran de pruebas directas inequívocas⁴⁴.

Por la misma línea los defensores del uso del radón se apoyan en las virtudes encontradas tras el estudio de su uso en diversas afecciones. En contraposición con las afirmaciones de epidemiólogos y Agencias gubernamentales, algunos expertos defienden el hecho de que la radiación a determinadas dosis no sólo no es perjudicial sino que reportaría efectos beneficiosos⁴⁵⁻⁴⁶⁻⁴⁷. Además añaden que la radiación de fondo ha ejercido un papel fundamental en las mutaciones para la adaptación biológica de la vida en el planeta tierra⁴⁶.

En el centro termal ubicado al norte-centro de la isla de Cuba, Elguea, se han realizado numerosos estudios de sus aguas mineromedicinales radiactivas entre los que podemos destacar el realizado en mayo de 2007- junio 2008 sobre la "*Efectividad de la balneoterapia en la rehabilitación de pacientes con artritis reumatoide, atendidos en Elguea*"⁴⁸ que ha obtenido resultados muy favorables al añadir las curas balnearias a la terapéutica inflamatoria, no sólo a nivel sintomático, potenciando el efecto de los fármacos, sino también en la reducción de sus efectos secundarios.

Tras obtener los resultados del estudio epidemiológico de casos y controles, se concluye que la combinación de los fármacos con las curas balnearias ha provocado un efecto antiflogístico, decontracturante, espasmolítico, relajante, analgésico, catalítico, inmunoestimulante, estimulador del eje hipotálamo-hipofisario, psicote-

rapéutico, y antioxidante, así como favorecedor de la movilidad. Sin embargo, también se debe reseñar que todos estos efectos no son debidos exclusivamente al radón, sino a la temperatura del agua y sus otros componentes (cloruro, sulfuro, bicarbonato, sulfato...) que juegan un papel fundamental en algunos de estos efectos.

Otro estudio destacable realizado en el balneario de Elguea es el concluido en 2005 sobre las “*Evidencias sobre la hormesis por radón-222 en el balneario de Elguea*”¹⁵ en el que se estudia al personal del balneario que ha estado recibiendo durante al menos 5 años la radiación alfa del mismo, siendo ésta entre 0.8 Sv hasta 5.65 Sv (aplicando los factores de conversión a dichas concentraciones se obtienen Dosis Equivalentes en “cuerpo entero” de 0.32Sv/año, dosis muy superiores a las establecidas por ICRP (Internacional Commission on Radiological Protection) de 50mSv/año).

Mediante chequeos médicos a los profesionales expuestos a inhalaciones de radón-222, se intenta estudiar las posibles afecciones que pudiesen surgir por la exposición (Tabla 6):

De los resultados obtenidos se puede inferir que las afecciones estudiadas han presentado índices muy bajos o nulos y, si bien es cierto que además se encontraron efectos hematopoyéticos, relajantes y horméticos, se ha de tener en cuenta que el tamaño muestral es significativamente bajo.

En el año 2002 se realizó un estudio en la Universidad de Cantabria sobre el “*Análisis de la influencia in vitro de bajas dosis de radiación producidas por radón-222 sobre proliferación celular, apoptosis y respuesta a agentes citotóxicos*”⁴⁹ en el que se emplearon fibroblastos de la línea 3T3 de ratón y células tumorales de mama de la línea MCF-7. Se observó que en la línea 3T3, bajo dosis de 0.01 y 10mGY, no se vieron variaciones significativas con respecto a las células control, sin embargo en las células de la línea MCF-7 se mostró un efecto de reducción del número final de células con todas las dosis empleadas. Si bien existe una relación dosis-efecto, dicha relación no fue lineal ya que se mostraron mayores efectos a las dosis intermedias que a las altas.

Igualmente, la misma Universidad presentó en 2004 el “*Estudio in vitro de terapia combinada con bajas dosis de radiación (Rn²²²) y quimioterapia (taxol)*”⁵⁰. Las experiencias muestran resultados muy parecidos a los obtenidos en el estudio anterior ya que se muestra que el radón tiene un papel importante al aumentar la sensibilidad al taxol y disminuir la supervivencia y viabilidad de las células pertenecientes a la línea estable MCF-7 (cáncer de mama humano), efecto que se observa cuando las dosis del taxol están entre 50 y 75nM, sin que se muestre diferencia entre 20 y 100nM. Además se infiere que empleando bajas dosis de radón no cambia el crecimiento de poblaciones de fibroblastos, dosis que coinciden con las recibidas anualmente por personas que viven en regiones de alto nivel de radiación natural o las recibidas en un balneario.

Tabla 6 – Resultados de los chequeos médicos del personal profesional expuesto a la acción del radón-222 en el balneario de Elguea¹⁵

N/O	Años de trabajo	Dosis Efectiva (Sv)	Tamaño muestra	Fumador		Chequeos médicos		A	B	C	D	E	F
				sí	no	anual	sem						
1	0-5	0.8	2	-	2	2	-	0	0	0	0	0	0
2	5-10	2.4	5	-	5	4	1	0	1	0	0	0	0
3	10-15	4.0	5	1	4	4	1	0	0	0	0	0	0
4	15-20	5.6	1	1	-	1	-	0	0	0	0	0	0
Totales			13	2	11	11	2	0	1	0	0	0	0
Indicadores de comportamiento						0.85	0.15	0	0.08	0	0	0	0

N/O	Años de trabajo	Dosis Efectiva (Sv)	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P			Q		
												in	n	pf	#	sn	h
1	0-5	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0
2	5-10	2.4	0	0	1	1	0	0	1	2	2	0	4	1	4	0	0
3	10-15	4.0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	5	0	6	1	0
4	15-20	5.6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Totales			0	1	3	1	0	0	1	2	2	0	12	1	12	1	0
Indicadores de comportamiento			0	0.08	0.23	0.08	0	0	0.08	0.15	0.15	0	0.9	0.1	0.9	0.1	0

- A: Anemias frecuentes
- B: Asma bronquial
- C: Estados gripales
- D: Tuberculosis
- E: Cáncer
- F: Muerte por cáncer
- G: Artritis reumatoide
- H: Neuropatías
- I: Alergias
- J: Intoxicaciones, problemas digestivos
- K: Diabetes
- L: Hepatitis
- M: Estados ansiosos
- N: Estados depresivos
- O: Desarreglos menstruales
- P: Relaciones sexuales: Intensas (in), Normales (n), Poco frecuentes (pf)
- Q: Hijos: número de hijos (#), Afecciones del sistema nervioso central (sn), Hereditarias (h).

Pero sin duda lo más destacado del uso del radón es el tratamiento de artritis reumatoide y espondilitis anquilosante. En el estudio “Effect of combined spa-exercise therapy on circulating TGF-β1 levels in patients with ankylosing spondylitis” realizado en Badgastein (Austria) a 83 pacientes con espondilitis anquilosante,

se obtuvo un aumento significativo de TGF- β 1 totales y activos tras el tratamiento balneario en combinación con la rehabilitación consiguiendo una reducción mayor del dolor gracias a la función antiinflamatoria de las TGF- β .⁵

De la misma manera se obtuvieron resultados muy favorables en el estudio aleatorio de doble ciego de 134 pacientes con artritis reumatoide sobre todo a partir del 6º-9º mes⁵¹.

En un metaanálisis realizado en 2005 en el que se incluyeron 5 ensayos clínicos con un total de 338 pacientes con espondilitis anquilosante, artritis reumatoide, enfermedad degenerativa espinal o trastornos no inflamatorios dolorosos de la columna cervical se mostraron resultados similares a los comentados, en los que aparece una diferencia significativa entre el grupo radón y grupo control en la reducción del dolor después de un tratamiento, aunque en este caso las diferencias más significativas se dieron entre los 3 y 6 meses¹⁶.

Otros estudios avalan estas afirmaciones y ejemplo de ello es un estudio controlado de 100 pacientes con espondilitis anquilosante en el que, aplicando estas aguas con estufas terapéuticas y con rehabilitación, se obtenía una mayor efectividad en el alivio del dolor y movilidad articular e incluso una mejoría en la motilidad de la columna cervical, descenso de los parámetros sanguíneos de inflamación, inhibición de actividad de las células de Langhershans en enfermedades cutáneas alérgicas, y un efecto antiespasmódico, antianafiláctico y fluidificante en enfermedades como bronquitis y asma crónico⁵.

DISCUSIÓN

El radón se encuentra irremediablemente en la naturaleza y constituye la fuente de radiación terrestre más abundante (65%)¹, considerándose el 31% de la radiación que recibe en un año una persona residente en España⁵². Las principales Agencias de Salud consideran al radón carcinogénico por lo que establecen límites de exposición muy restrictivos y crean así guías informativas entre las que cabe destacar la Guía de Radón para el comprador y vendedor de viviendas de la EPA³⁶ en la que afirma que el radón causa miles de muertes por cáncer de pulmón sobre todo cuando el radón entra en sinergia con el tabaco aumentando la probabilidad de dicho cáncer³³. Esto es particularmente cierto teniendo en cuenta que fumar cigarrillos es la primera causa de muerte por cáncer pulmonar, de hecho, datos reportados por el National Cancer Institute indican que causa 87% de muertes por cáncer de pulmón y 3000 muertes por la misma causa entre fumadores pasivos, sin olvidar otras causas no menos importantes como la exposición al asbesto, arsénico, cromo, níquel, hollín, alquitrán, la propia contaminación del aire, antecedentes tanto familiares como personales así como la edad superior a 65 años⁵³.

Pese a la gran preocupación y temor que el radón ha originado en EEUU llegando a límites tan extremos como es el disponer cada familia de medidores de este gas para sus viviendas, en España no ha trascendido más allá de unos cuantos estudios realizados mayoritariamente en zonas como Galicia cuyo tipo de suelo genera emanaciones de radón superiores a otras zonas de España, así como la elaboración de un proyecto de evaluación de los niveles de radiación gamma natural en España desarrollado por el CSN y ENUSA llamado Proyecto MARNA⁵⁴.

Paralelamente diversas investigaciones encuentran en el radón un buen aliado para el tratamiento de determinadas enfermedades crónicas, consiguiendo una reducción del uso de fármacos que llevan implícitos ciertos efectos secundarios e incluso posibles complicaciones sanitarias, aunque se ha de admitir que síntomas como el dolor son muy subjetivos por lo que sacar conclusiones en cuanto a la concentración de radón óptimo es bastante complicado⁵⁵.

Si bien es cierto que aún queda mucho camino por recorrer en cuanto a las consecuencias originadas en períodos de exposición a largo plazo y en la unificación de dosis de exposición, es un hecho probado que el radón es carcinógeno para seres humanos y que con medidas tan simples como el airear sitios cerrados donde se acumulen altos niveles de radón, se podría evitar. Tampoco hay que olvidar que la dosis en que se encuentra es importante, que es un gas inerte cuya vida media es baja, que la presencia de su progenie ofrece mayores riesgos de acumulación orgánica y sobre todo que se tenga en cuenta que al realizar estudios de interacción radiactividad-humano y fijar límites de exposición, no se generalice puesto que no todos los tipos de radiactividad tienen los mismo efectos y no se comportan por igual.

No obstante se deber recalcar que una terapia balnearia (incluida la radiactiva), sirve de apoyo al tratamiento farmacológico y siempre se aplicará bajo consejo y supervisión médica ya que no siempre es aconsejable. Su uso puede ayudarnos a aliviar ciertos efectos patológicos pero en ningún caso constituirá un milagro de curación.

CONCLUSIONES

La controversia siempre surge con la palabra radiactividad puesto que los prejuicios iniciales dejan poco margen de actuación a los investigadores que parten ya con un rechazo de la población.

A lo largo de los años se han hecho investigaciones en las que el principal protagonista ha sido el radón puesto que se han asociado las altas concentraciones de dicho gas con una mayor prevalencia de cáncer. De hecho Organismos tales como la OMS, la ATSDR, la EPA, la IARC entre otros, advierten de los peligros de las altas concentraciones del radón en edificios y agua corriente recomendando medidas de prevención y control del mismo, teniendo en cuenta que la emanación de

radón es muy variable y depende de muchos factores (tipo de suelo, la época del año...).

Es necesario admitir que la radiactividad es peligrosa sea cual fuere su origen pero el grado de peligro reside en la dosis (altas dosis versus bajas dosis), tipo (radón exclusivamente o progenie), cantidad y duración de la exposición (esporádica o continuada), y del conocimiento sobre cómo manejar la radiactividad.

Paracelso decía: «¿Qué cosa no es un veneno? Todas las cosas son veneno, y nada existe que no sea veneno. Sólo la dosis determina que una cosa no es un veneno.»⁵⁶ Esta afirmación ha sido claramente confirmada por la hormesis, concepto objeto de estudio durante muchos años. Pese a que hoy día permanece muy discutida la curva de la relación dosis-efecto⁵⁷ el concepto de hormesis nos da a entender que al igual que las altas dosis de radiación podrían provocar la muerte o daños celulares graves, los bajos niveles no sólo pueden ser considerados inofensivos sino que pueden llegar a ser beneficiosos para la salud.

También podría ser destacable la matización que se realiza en la propia definición del principio de ALARA en el que muchos detractores encuentran la justificación más clara: “*política que se usa para minimizar un riesgo, manteniendo las radiaciones lo más razonablemente bajas posible, teniendo en consideración los costos económicos, el avance tecnológico, y los beneficios de la seguridad y la salud pública*”³⁴.

Por este mismo hecho diversos estudios avalan la utilización de las aguas radiactivas como terapia de ciertos procesos patológicos entre los que cabe destacar los procesos inflamatorios en los que está demostrada la reducción de sus síntomas, y más concretamente del dolor, hasta tal punto de poder reducir la dosis de fármacos.

En este punto se hace necesario comentar que, como se ha recalcado a lo largo de la revisión, el radón es un gas radiactivo que se encuentra de forma natural en la naturaleza por lo que estamos constantemente expuestos a él. También se debe considerar que las dosis y tiempos de exposición de radón en balnearios son relativamente bajos y no continuos por lo que no constituirían un problema. No obstante, pese a los efectos beneficiosos demostrados, aún existe cierta reticencia en la sociedad por lo que muchos balnearios eluden su presencia.

Si bien es cierto que es un reconocido agente cancerígeno a determinadas dosis y bajo una exposición continuada, se debe considerar que la presentación clínica o patológica de un carcinoma pulmonar por esta causa no difiere del debido a otras causas. Es por ello por lo que es complicado conocer exactamente el papel desempeñado por el radón en el desarrollo de dicho carcinoma puesto que distintos agentes del medio laboral e incluso la interacción de los mismos contribuyen. Otros factores a tener en cuenta son el tabaco, el período transcurrido entre la exposición y el desarrollo de la enfermedad, y la falta de conocimiento de determinadas sustancias a las que se puede estar expuesto y que pueden contribuir a ello²⁰.

Para concluir y pese a que se ve clara una necesidad urgente de realizar más investigaciones clínicas controladas sobre todo a nivel de trabajadores expuestos a altas dosis en balnearios, minas, cuevas... diariamente durante su jornada laboral, y que es necesario realizar más investigaciones que aproximen posturas entre detractores y defensores unificando dosis o límites de exposición, lo que es claro es que a la hora de juzgar a un agente natural como el radón hay que tener en cuenta muchos factores tanto para adjudicarle efectos beneficiosos como perjudiciales por lo que se hace bastante complicado su estudio.

BIBLIOGRAFIA

1. Garzón G. El gas radón y la hormesis. Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS. Entorno Geográfico. Colombia. 1996. Disponible en: http://entornogeografico.univalle.edu.co/numero4/gas_radon.pdf.
2. Ruano-Ravina A, Barros-Dios JM. Radón y cáncer de pulmón. Implicaciones para profesionales sanitarios, ciudadanos y administraciones públicas. Medicina Clínica Barcelona. 2007. 128 (14):545-9.
3. ENRESA. “Los recursos Geológicos de la Tierra: un proceso con retorno”. Cuenca: Museo de las Ciencias de Castilla La Mancha. 2006.
4. Agency for Toxic substances and disease registry (ATSDR). ToxFAQS™ CAS#14859-67-7. EEUU. Septiembre 2008. Disponible en: http://www.atsdr.-cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts145.pdf.
5. San José C. La radonterapia en balnearios. Aspectos actuales. Medicina integral, vol.37, num.8, abril 2001. Sevilla.
6. Armijo M. Aguas Radiactivas. En: Compendio de Hidrología Médica. Barcelona: Ed. Científico-Médica. Barcelona. 1968, 197-208.
7. Ayala A. Medición de Rn-222 en Ambientes Geohidrológicos en la Fracción central de México [tesis]. México DF: Universidad Nacional Autónoma de México, 2009. Disponible en: <http://www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/tAliciaAyala0908.pdf>.
8. Sociedad Española de Hidrología Médica. El agua. Aguas radiactivas. Madrid. Disponible en: <http://www.hidromed.org/Elagua/AguasRadiactivas.aspx>.
9. Domínguez SF. Terapia radioactiva. Diario médico.com; febrero 2009. Disponible en: <http://medicablogs.diariomedico.com/samfrado/2009/02/04/terapia-radioactiva3/>.
10. Frame P. Radioactive curative devices and spas. Oak Ridge Associated Universities. 1989. Disponible en: <http://www.ornl.org/ptp/articlesstories/quack-story.htm>.

11. National Geographic. Folks come from all over to sit in a Montana mine and inhale radioactive gas. Is it good for what ails them? February 2004. Disponible en: <http://ngm.nationalgeographic.com/ngm/0401/feature7/index.html>.
12. Quindós LS, Sainz C, Fuente I, Quindós L, Soto J, Arteché JL. Fuentes de radiación natural. La radiación alfa. El Radón y sus descendientes. Técnicas de medida. Detectores de radiación alfa. Universidad de Cantabria. Disponible en URL: http://www.usc.es/radongal/actualizacions/1_fuentes_radiacion.pdf.
13. Maraver F. Importancia de la Medicina termal. *Balnea* 2008; 4, 35-50.
14. Saz P. Crenoterapia. Aguas minero-medicinales. Clasificación. Universidad de Zaragoza. Curso 2004-2005. Disponible en: http://www.unizar.es/med_naturista/hidroterapia/Crenoterapia.pdf.
15. Machado A, De Jesús P, Lantigua L. Evidencias sobre la hormesis por Rn-222 en el balneario Elguea. Memorias de la primera Convención de Ciencias de la Tierra. Cuba. Abril 2005. Disponible en: http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacionbal/ormesis_por_radon222_en_el_balneario_elguea.pdf.
16. García A. Aguas Minero-Medicinales. Balnearios. Jornadas sobre aguas minerales y de manantial. Zaragoza. 2006. Disponible en: http://portal.aragon.es/ptal/page/portal/SALUDPUBLICA/S_ALIMEN/AGUAS/JORNAAGU/PRESENTACI%C3%93N+JORNADA+MINEROMEDICINAL.PDF.
17. Garrida M. Estudio sobre el efecto de las Aguas del balneario Las Caldas de Partovia en la Psoriasis. Ourense. 2009.
18. Martín AI. Contraindicaciones del termalismo. En: Maraver F (dir.). *Vademécum de aguas mineromedicinales españolas*. Madrid: Instituto de Salud Carlos III. 2003, 37-45.
19. Real G. El Radón. Tratamiento jurídico de un enemigo invisible. San Vicente (Alicante): Ed. Club Universitario, 2002.
20. Pérez M, Fernández B. Carcinoma de pulmón de origen laboral. *An. Sist. Sanit. Navarra* 2005; 28, supl 1.
21. Commission Recommendation of 21 February 1990 on the protection of the public against indoor exposure to radon. 90/143/Euratom. Disponible en: http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/doc/legislation/90143_en.pdf. Fecha de acceso: 19/04/2010.
22. Diario oficial de las Comunidades Europeas. Diario oficial nº L 344/85 de 20/12/2001. Recomendación de la Comisión, de 20 de diciembre de 2001, relativa a la protección de la población contra la exposición al radón en el agua potable 2001/928/Euratom. Disponible en: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2001:344:0085:0088:ES:PD>.
23. RD 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. BOE nº 178. 26 de julio de 2001, 27284- 27303.

24. European Commission. Radiation Protection 88. 1997. Disponible en: http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/doc/publication/088_en.pdf. Fecha de acceso: 6/04/2010.
25. Consejo de las Comunidades Europeas (1996). Directiva 96/29/Euratom del Consejo de 13 de mayo de 1996 por la que se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes. DOCE n° L 159 de 29/06/1996, 0001-0114.
26. RD 140/2003, de 7 de febrero por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE n° 46. 21 de febrero del 2003, 7228-7245.
27. Agencia de los Estados Unidos para la protección ambiental (EPA). El Radón: guía para su protección y la de su familia. N° 402-K93-005. Septiembre 1993.
28. Barros-Dios JM, Barreiro MA, Ruano-Ravina A, Figueiras A. Exposure to Residential Radon and lung Cancer in Spain: A population-based Case-Control study. *Elektron. Radón, un gas radiactivo de origen natural en su casa*. Barcelona. 2010. Disponible en: <http://tiendaelektron.com/manuals/radon.pdf>.
29. Noticiasmédicas.es. Un estudio en Torrelodones confirma al radón como segunda causa de cáncer de pulmón. Madrid. Octubre 2009. Disponible en: <http://www.noticiasmedicas.es/medicina/noticias/607/1/Un-estudio-en-Torrelodones-confirma-al-radon-como-segunda-causa-de-cancer-de-pulmon/Page-1.html>.
30. Oliver-Rodés B. Control de calidad de las aguas minero-medicinales. En: López-Geta JA, Pinuaga JI (editores). *Panorama actual de las Aguas Minerales y Minero-medicinales en España*. Madrid: ITGE, 2000, 75-86. Disponible en: http://www.igme.es/internet/web_aguas/igme/publica/art3.htm.
31. Cervantes PJ, Machado A. Dosimetría de Radón-222. En *Balnearios. Memorias de la primera convención de Ciencias de la Tierra en abril de 2005*. Disponible en: http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-bal/dosimetria_radon_222_en_balnearios.pdf.
32. EPA. A Citizen's Guide To Radon The Guide To Protecting Yourself And Your Family From Radon. Enero 2009. EPA 402/K-09/001. Disponible en: <http://www.epa.gov/radon/pdfs/citizensguide.pdf>.
33. American Cancer Society. Radón. 2010. Disponible en: <http://www.cancer.org/Espanol/cancer/Queesloquecausaelcancer/Otrosagentescancerigenos/radon-carcinogeno>.
34. OMS (World Health Organization). Radon and cancer. 2009. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs291/en/index.html>.
35. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Draft Toxicological profile for Radon. Cap. VI: Potential for human Exposure. p. 105-130. Atlanta (Georgia). September 2008. Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp145.pdf>.

36. EPA. “Guía del radón para el comprador y vendedor de viviendas”. EEUU. Julio 2002. Disponible en: <http://www.epa.gov/radon/pdfs/hmbuyguidsp.pdf>.
37. Figueiras A. Los mapas del radón. Experiencias internacionales. El caso del mapa del radón de Galicia: planificación y ejecución de un estudio de prevalencia sobre exposición domiciliar al radón”. Universidad Santiago de Compostela (Galicia). 2008. Disponible en: http://www.usc.es/radongal/actualizacions/11_prevalencia_radon.pdf.
38. Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España e Instituto de Seguridad e Higiene en el trabajo. NTP-533: El radón y sus efectos sobre la salud. Disponible en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/Fichas-Tecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_533.pdf.
39. ATSDR (Agency for Toxic Substances and disease Registry). División de Toxicología y Medicina Ambiental ToxFAQs™ 7440-14-4. Radón. Jul. 1999. Disponible en: http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts144.html.
40. García A. Radón. Cáncer de pulmón. Bases moleculares. Fundación Centro Oncológico de Galicia “José Antonio Quiroga y Piñeiro”. La Coruña. Curso de verano. Universidad Santiago de Compostela. 2008. Disponible en: http://www.usc.es/radongal/actualizacions/9_bases_moleculares.pdf.
41. Charles MW. Radon exposure of the skin: I. Biological effects. J.Radiol. Prot 2007: 27, 231-252.
42. Ceballos MA. Glosario de Hidrología Médica. Madrid: Universidad Europea-Cess Ed, 2001.
43. González AJ. Los efectos biológicos de las dosis bajas de radiación ionizante: una visión más compleja. Informes especiales. Boletín del OIEA 4/1994. P. 37-45. Disponible en: http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/-Bull364/Spanish/36405843745_es.pdf.
44. Luckey TD. Radiation Hormesis Overview. RSO Magazine, vol. 8, num.4. p. 22-41. 2003. Disponible en: <http://www.radpro.com/641luckey.pdf>.
45. Ragheb M. Radiation hormesis. Chapter 5. 2007. Disponible en: <https://netfiles.uiuc.edu/mragheb/www/NPRE%20402%20ME%20405%20Nuclear%20Power%20Engineering/Radiation%20Hormesis.pdf>.
46. Kauffman JM. Radiation Hormesis: demonstrated, deconstructed, denied, dismissed, and some implications for public Policy. Journal of Scientific Exploration 2003: 17(3), 389-407.
47. Luckey TD. Radiation hormesis: the good, the bad, and the ugly. Dose Response. 2006 Sep 27;4(3):169-90.
48. Milán EM. Efectividad de la balneoterapia en la rehabilitación de pacientes con artritis reumatoide, atendidos en Elguea [tesis]. Ciudad de la Habana: Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional. Facultad de Ciencias Médicas “Dr. Enrique Cabrera”, 2009. Disponible en: http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-bal/tesis_erlay.pdf.

49. Sainz C. Análisis de la influencia in vitro de bajas dosis de radiación producidas por ²²²Rn sobre proliferación celular, apoptosis y respuesta a agentes citotóxicos. [tesis]. Santander: Universidad de Cantabria, 2002. Disponible en: http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UC/AVAILABLE/TDR-0921105-103447//4-de9.CSFcap4.pdf.
50. Soto J, Sainz C, Cos S, González D. Estudio in vitro de terapia combinada con bajas dosis de radiación (Rn-222) y quimioterapia (taxol). Facultad de Medicina. Universidad de Cantabria. Santander. 2004. Disponible en: <http://www.abfm.org.br/c2004/trabalhos/mopo126.pdf>.
51. Franke A., Reiner L., Resch K-L. Long-term benefit of radon spa therapy in the rehabilitation of rheumatoid arthritis: a randomized, double-blinded trial. *Rheumatol Int* (2007) 27:703-713.
52. CSN. “Dosis de radiación”. Madrid. 2010. Disponible en: http://www.csn.es/images/stories/publicaciones/otras_publicaciones/serie_divulgativa/folleto_com-pleto_ok.pdf.
53. National Cancer Institute. “Fumar cigarrillos y el cáncer: preguntas y respuestas. EEUU. Mayo 2004. Disponible en: http://www.cancer.gov/images/documents/988177a2-b28f-46d5-ae13-8785a8ca08e2/Fs10_14s.pdf.
54. CSN, Xunta de Galicia, Enusa. Proyecto MARNA. Mapa de radiación gamma natural de España. 1991 Disponible en: <http://www.csn.es/publicaciones/TRIPTICOMARNA.pdf>
55. Falkenbach A, Kovacs J, Franke A, Jörgens K, Ammer K. Radon therapy for the treatment of rheumatic diseases-review and meta-analysis of controlled clinical trials. *Rheumatol Int* 2005; 25, 205-210.
56. Repetto M, Repetto G. Toxicología fundamental. Madrid: Ed. Díaz de Santos, 2009.
57. López G. Boletín del Servicio de Protección Radiológica. Universidad de Granada. Febrero 1999, num. 0. Disponible en: <http://www.ugr.es/~gabpca-radio-o.htm>.