

RADIOACTIVIDAD NATURAL Y SALUD: ¿HA LLEGADO EL MOMENTO DE PRESTARLE MÁS ATENCIÓN?

NATURAL RADIOACTIVITY AND HEALTH: IS IT THE MOMENT TO PAY MORE ATTENTION?

Enrique Estrada Vélez

Delegado de SESA en Castilla y León. Jefe de la Sección de Higiene de los Alimentos y Sanidad Ambiental, de la provincia de Valladolid.

RESUMEN

En la actualidad es frecuente que se tengan noticias de problemas de salud que en el pasado no se conocían o no eran preferentes. Hemos superado enfermedades prioritarias y la esperanza de vida ha aumentado, lo que aconseja empezar a prestar una mayor atención a la radioactividad natural por incidir en la oncogénesis y la teratogenicidad y, por otro lado, estar vinculada a factores y procesos nuevos como los edificios inteligentes en los que está implicado el radón por un lado y, sobre todo, a exposición debida a la explotación del agua fósil por otro.

La radioactividad natural no origina procesos agudos, siempre está ligada a procesos crónicos, en los que el daño incide en los sistemas de información genética: el ADN como molécula individual y el cromosoma como un todo, dando origen a procesos oncológicos, por lo que es un cancerígeno *per se* de gran importancia.

En este artículo se hace una llamada de atención sobre la implicación de la radioactividad natural en los edificios, en el agua, etc., de ciertas zonas geográficas con altos niveles de radioactividad natural.

PALABRAS CLAVE: radón; exposición radioactiva; agua radioactiva; radioactividad natural.

INTRODUCCIÓN

Es muy frecuente que hoy día se tengan noticias de problemas de salud que en el pasado no tenían importancia, o teniéndola no se les daba. Las causas son variadas: cambios en el comportamiento, cambios en el hábitat, nuevos conocimientos, nuevas sustancias, nuevas tecnologías, disminución de procesos patológicos que enmascaran otros, procesos acumulativos junto a una mayor esperanza de vida, etc. Sobre algunas de ellas se volverá, pero antes se debe fijar el objetivo de este artículo: sensibilizar sobre el hecho de que

ABSTRACT

At the moment, it is more usual to be aware of health problems, which were not given priority in the past. We have overcome previous health problems to which we have given importance and life expectancy has increased and in consequence we do now require to give more attention to natural radioactivity because it affects oncological and genetic problems.

On the one hand, it is connected with new processes or factors regarding, for example building techniques and materials which include radon and on the other hand, to exposure by exploitation to fossil water.

Natural radioactivity does not produce acute illness but it is always linked to chronic illness, in which to damage affects the genetic information: the AND as a simple molecule and the chromosome as a whole, which gives rise to oncological processes. Therefore natural radioactivity is a cancer producing agent "per se" of mayor significance.

In this opinion paper we are seeking awareness of how natural radioactivity affects the buildings, water, etc. in there particular geographical areas with high levels of natural radioactivity.

KEY WORDS: radon; radioactivity exposure; radioactivity water; natural radioactivity.

es ya el momento de comenzar a prestar atención a los problemas de salud con origen en la radioactividad **natural**.

Se destaca la palabra *natural* ya que se debe dejar claro desde el principio que no se trata en absoluto de centrales nucleares, cementerios nucleares, accidentes, etc. Y también inicialmente se debe señalar que el presente artículo sólo pretende ser una llamada de atención, una opinión de carácter divulgativo, que no quiere ni debe entrar en el tratamiento profundo del tema.

Correspondencia: Enrique Estrada Vélez · Consejería de Sanidad · Av. de Ramón y Cajal, 6; 47071 Valladolid · Tel.: (+34) 983 41 38 25 · Fax: (+34) 983 41 38 29 · estvelen@jcy.es

España es un país del primer mundo, una de las diez principales economías, por ello, y por disponer de una atención sanitaria muy buena, se han superado muchos problemas de salud antaño preocupantes que eran prioritarios. Lógicamente, además, se ha conseguido incrementar la esperanza de vida, y con ello incrementar el riesgo para todos aquellos peligros que por presentarse al azar su realización aumenta con el tiempo. Así que, volviendo al objetivo antes señalado, es el momento de comenzar a prestar la atención debida a este problema de salud que pudo ser en el pasado de menor entidad por comparación con otros mucho más acuciantes.

Aunque esto es verdad, no es toda la verdad. Se pueden añadir otros factores novedosos que incrementan el riesgo de presentación de este peligro y, por tanto, la necesidad de estudiar y adoptar medidas preventivas al efecto. Trataremos estos nuevos factores de riesgo más adelante, por lo que sólo se van a citar: los edificios inteligentes y los nuevos materiales de construcción y el radón, por una parte, y la explotación del agua fósil, por otra.

ELEMENTOS RADIOACTIVOS Y RADIOACTIVIDAD NATURAL

Los átomos de algunos elementos presentan una inestabilidad natural, de forma que espontáneamente se transforman en otros elementos, que a su vez pueden ser también radioactivos —de hecho lo son con frecuencia—, con la emisión de ciertas partículas. El ritmo con el que se produce esta transformación espontánea obedece a una relación matemática muy sencilla: la velocidad con la que se transforma (número de átomos que cambia en un segundo) es proporcional a la cantidad del elemento de partida. La constante de proporcionalidad es característica del elemento en cuestión y se puede expresar de varias formas, que para esta comunicación siempre será el periodo de semidesintegración. El periodo de semidesintegración es el tiempo que transcurre para que una cantidad del elemento en cuestión quede reducida a la mitad (la otra mitad ya será otro elemento más las partículas emitidas), y, como se ha dicho, es una constante característica del elemento e independiente de la cantidad de la cual se parta.

Así, un elemento radioactivo se va transformado en otro, y si éste es radioactivo en un tercero, y así sucesivamente en cadena hasta que haya uno que sea estable. El primer eslabón de la cadena (cabeza) se va desgastando de forma que después de n periodos de semidesintegración queda una fracción 1/2ⁿ de la cantidad inicial, por lo que sería lógico razonar que a lo largo de millones de años de existencia del planeta todos los elementos radioactivos se habrían consumido. Esto sería así si no fuera porque hay algunos elementos ra-

dioactivos cuyo periodo de semidesintegración es comparable a la edad de la Tierra, y desde que ésta existe sólo se ha consumido una fracción de la cantidad inicial que entró en la formación de nuestra Tierra hace 4.500 millones de años. Son tres los elementos cuyos periodos de semidesintegración tienen estas cifras; cada uno de estos tres elementos es la cabeza de su correspondiente cadena. Así, las tres series radioactivas naturales comienzan con: ²³⁸U, ²³⁵U y ²³²Th (uranio-238 y uranio-235 y torio). Para el uranio-238 —se obvian las otras series para no recargar este artículo— el periodo de semidesintegración es de 4.500 millones de años; es decir, todavía queda la mitad del uranio que entró como componente de la Tierra cuando ésta se formó. Antes de que se consuma del todo se habrá apagado el Sol.

En realidad los isótopos radioactivos con vida media comparable o superior a la edad del planeta Tierra son 15 pero solamente las tres cadenas que hemos citado tienen importancia, y se entenderá que no es este artículo el adecuado para entrar a tratarlo.

Los minerales que contienen estos tres elementos y sus descendientes radioactivos —las tres series terminan en un isótopo estable del plomo— son la fuente de la radioactividad natural. Ciertamente es que hay otros pequeños sumandos, como por ejemplo la formación de núcleos inestables (por ejemplo, el carbono-14) por la acción de los rayos cósmicos en la alta atmósfera (radioactividad inducida), pero para lo que nos trae al caso carecen de importancia. Resulta que los minerales que contienen estos elementos son escasos pero ubicuos; bueno, quizás no tan escasos, ya que el uranio a nivel planetario es unas cuarenta veces más abundante que la plata y unas ochocientas más que el oro, estando ligados a rocas de carácter ígneo, en especial los grani-

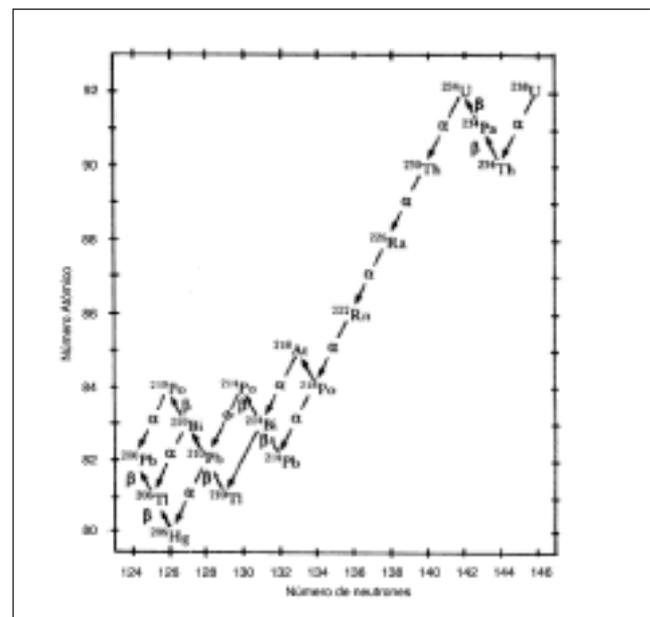


FIGURA 1. Cadena de desintegración del uranio-238.

tos. Por supuesto que también aparecerán en los suelos resultantes de la meteorización de estos granitos (arenas silíceas...); por eso, el mapa de suelos graníticos es un indicador grosero, pero cierto, del riesgo asociado a este peligro.

EFFECTOS DE LAS RADIACIONES

La transformación de un elemento en otro conlleva la emisión (o absorción) de partículas. Para lo que importa a efectos de radioactividad natural sólo se ha de estar atento a dos tipos de emisión: La emisión α (núcleos de helio, es decir, dos protones junto con dos neutrones) y la emisión β (un electrón). A estos dos tipos de emisión de partículas hay que sumar la radiación γ , que es un fotón de radiación electromagnética mediante el cual un núcleo se libera de energía sobrante tras algunas de las otras transformaciones. Todas ellas, las radiaciones α , β y γ , son muy energéticas y al alcanzar sistemas biológicos van a desencadenar una cascada de rupturas de enlaces moleculares hasta su completa absorción —¡Un elefante en una cacharrería!—. Si los daños en las moléculas de los sistemas estructurales y/o enzimáticos son suficientemente graves y los mecanismos reparadores no son lo suficientemente eficientes y rápidos, se desencadenará una afección aguda, incluso sobreaguda, con fallo multiorgánico. Pero la radioactividad natural no tiene suficiente actividad para llegar a estos casos. No hay que pensar en procesos sobreagudos o agudos ligados a la radioactividad natural, sino en procesos crónicos.

Si como se dice los daños estructurales y/o enzimáticos no son muy grandes van a ser reparados por el propio organismo; sin embargo, hay un tipo de daño molecular de difícil reparación que tiene una gran trascendencia para los organismos vivos tal cual es el daño en los sistemas portadores de la información genética: el ADN como molécula individual y el cromosoma como un todo. Así, las pérdidas, duplicaciones y/o cambios de bases en la molécula de ADN (mutaciones) y las translocaciones, duplicaciones, inversiones y otras alteraciones del cromosoma, van a ser el origen de procesos oncológicos y teratógenos. En definitiva, la radioactividad natural es un cancerígeno de gran importancia según qué zonas geográficas.

Que se rompa éste o aquel enlace de ésta o aquella molécula es una cuestión estocástica, y, como tal, la probabilidad de que un suceso concreto (ruptura de ADN o cromosoma) se realice es proporcional al tiempo: a mayor tiempo de vida mayor probabilidad de que se origine un cáncer por radiación. El riesgo de este peligro responde al binomio dosis-tiempo.

Ahora bien, para que las dañinas radiaciones alcancen tejidos profundos es necesario que entren en contacto íntimo; es decir, que se incorporen al ser vivo, ya que

de otra forma afectarían a la piel y poco más, lo que tendría importancia para los cánceres que la afectan pero no para otros. En el caso de la radioactividad natural son dos las formas principales mediante las cuales se incorporan a nuestro organismo: a través del aire respirado que contiene radionúclidos que están en suspensión o son gaseosos o a través del agua de consumo.

La radioactividad natural presenta, así, dos peligros principales:

- El radón en las edificaciones: un problema de creciente preocupación, de sencilla comprensión y también de sencillas medidas correctoras, y que se va a abordar inmediatamente en este artículo.
- La radioactividad en el agua de consumo: problema que vamos a tratar en la segunda parte y que se presenta con connotaciones sociopolíticas complejas.

Además de estos dos peligros, la radioactividad natural puede intervenir en otros riesgos de menor importancia, de los que hay que mencionar uno, aunque sólo sea por curiosidad: desde el espacio exterior están constantemente llegando a la Tierra partículas y fotones extremadamente energéticos, llamados rayos cósmicos, que descienden por la atmósfera chocando con los átomos de ésta, degradándose a partículas y fotones de menor energía que al final acaban absorbidos en su inmensa mayoría antes de llegar a la superficie. A nivel del suelo contribuyen con una cierta cantidad (pequeña) a la dosis comprometida que cada uno tenemos para toda la vida; ahora bien, para ciertas profesiones (azafatas, pilotos) que pasan mucho tiempo en la estratosfera la dosis recibida no es en absoluto poco importante.

EL RADÓN

El radón es un elemento radioactivo que aparece en las tres series radioactivas naturales, aunque el más importante es el ^{222}Rn , sexto descendiente en la cadena del ^{238}U , ya que los otros dos tienen periodos de semidesintegración muy pequeños comparados con el citado que es de 3,8 días. Pertenece al grupo de los gases nobles, y por tanto no presenta reactividad química; es importante también saber que presenta una alta solubilidad en el agua.

Los minerales radioactivos del suelo con un contenido mayor o menor de uranio producen continuamente radón, que por ser gas difunde a través del espacio poroso de las rocas hacia la atmósfera, donde hay un equilibrio dinámico entre la producción y su decaimiento. Ello contribuye a la radioactividad natural de la atmósfera, de muy pequeña entidad por su gran dilución, sin gran importancia para la salud, aunque por supuesto contribuye al compromiso (dosis comprometida) para toda una vida.

El problema se presenta cuando el radón difundido alcanza espacios cerrados (edificios), donde el equilibrio se establece a una concentración mucho más alta, y además, los descendientes, aunque no son gaseosos, permanecen en el polvo ambiental en suspensión.

La principal fuente de radón es el suelo donde se asientan los edificios, aunque conviene citar que los materiales de construcción también pueden ser una fuente apreciable, siendo en algunos casos muy alta. Ciertamente ocurre a veces que estos materiales son obtenidos de rocas con altos contenidos radioactivos (granitos, arenas silíceas...) y, lo que es más importante, en algunos casos, se emplean en la elaboración de cementos y cerámicas aditivos que son productos secundarios de procesos tecnológicos (cenizas y escorias de metalurgia) que concentran minerales radioactivos.

Hay suficientes datos de mediciones para conocer la situación en España. En particular para aquellas zonas más sospechosas. Así, en algunos edificios de la zona de Ciudad Rodrigo —donde de todos es conocido existe una veta de mineral de uranio— se han encontrado valores de hasta 7.000 Bq/m³, cuando los valores recomendados son de 200 Bq/m³ para edificios nuevos y 400 Bq/m³ para los ya construidos. Para una mayor información, el equipo del profesor Quindós, de la Universidad de Cantabria, es un referente. (<http://www.elradon.com>).

El resultado de todo ello es que elementos radioactivos entran en contacto íntimo con la matriz pulmonar y van a ser la causa de cánceres en este órgano. Sin lugar a dudas, ésta es la segunda causa de cáncer de pulmón, aunque debido a la alta incidencia del cáncer de origen por tabaco se encuentra enmascarado. Con la disminución de los cánceres de pulmón consecuente a la disminución del hábito fumador, los cánceres de origen radioactivo pasarán a ocupar, sin duda, el primer lugar.

Las medidas correctoras para este peligro, en aquellas zonas geográficas de exposición clara, son sencillas: o se impide que el radón alcance el interior de los edificios, o alternativamente se elimina. La primera opción tiene que ver con la construcción de los edificios: materiales plásticos en cimentación, cámaras de aireación en cimentación, etc. Por otra parte, la eliminación del radón se reduce simplemente a realizar una ventilación suficiente, forzada o no (no obstante, hay que tener cierto cuidado y siempre hacer un estudio individualizado del caso). Aquí tenemos una de las causas por las que este problema tiene una importancia creciente en el presente: sólo con las nuevas técnicas de construcción y con la importancia que se está dando al ahorro energético, los edificios están logrando unas estanciedades altas. En el pasado se ventilaba sistemáticamente y, además, los elementos de construcción tenían ajustes muy laxos. A este respecto se debiera estudiar con mucha atención el diseño constructivo de

los edificios inteligentes, con ventanas de imposible apertura y renovaciones de aire mínimas que constituyen auténticas trampas de radón en aquellas zonas geográficas con suelos graníticos.

RADIOACTIVIDAD EN AGUA DE CONSUMO

La segunda forma importante para que los radionúclidos entren en contacto íntimo con nuestro organismo es la ingesta de agua con pequeños contenidos de éstos, aunque suficientes para originar a veces altas actividades. El origen es el mismo que para el problema del radón: los minerales (sobre todo ígneos) contienen cantidades variables de uranio-235, uranio-238 y torio-232 que originan las tres cadenas naturales de desintegración. El propio uranio (o el torio) y sus descendientes pueden —de hecho lo hacen— pasar en disolución al agua que discurre por entre estos minerales, incluyendo al gas radón que es además muy soluble. Por ello, es lógico pensar que las zonas de suelo y subsuelo graníticos tengan en general aguas con alguna (o mucha) radioactividad.

Aquí hay que hacer una distinción muy importante entre las aguas superficiales y las del acuífero superior, muy móviles, y las aguas profundas, aguas fósiles, muy poco móviles. Las aguas superficiales van lavando los terrenos por los que discurren a lo largo de millones de años, de forma que sólo los minerales muy poco solubles o el afloramiento de nuevos componentes por meteorización de la roca madre van a aportar elementos radioactivos al agua que mantiene un equilibrio dinámico entre los que disuelve y los descargados en el mar. Por ello, las aguas que discurren por terrenos ígneos contiene elementos radioactivos, pero a no ser que el contenido en minerales de uranio del suelo sea extremadamente alto, su cuantía no será excesivamente alta y el problema de salud será relativo. Esto no quiere decir en absoluto que no se evalúe y se tomen las medidas correctoras necesarias. Donde el problema se manifiesta en toda su gravedad es en las aguas del acuífero profundo, en las que las cifras pueden alcanzar valores más que preocupantes.

Esto es así por varias razones. Por ejemplo, dado que estas aguas son muy poco móviles la concentración de equilibrio de los minerales disueltos se establece en valores más altos ya que no se produce la descarga hacia el mar de una forma efectiva. También sucede que por estar a mucha profundidad la difusión del radón hacia la atmósfera no se efectúa. Ha transcurrido, además, suficiente tiempo para que la serie radioactiva esté en equilibrio secular y por lo tanto estén presentes todos los descendientes radioactivos.

Pero en algunas ocasiones la razón más importante es de naturaleza química: el ambiente que reina en la matriz porosa del acuífero profundo es reductor, y así lo

ha sido a lo largo de miles/millones de años. En tan largo tiempo todos los equilibrios químicos se han desplazado hacia los compuestos más estables en ambiente reductor, que según para qué elementos coinciden con los compuestos más insolubles, de forma que la concentración en equilibrio de la disolución es baja o muy baja. Cuando este ambiente reductor cambia drásticamente a un ambiente oxidante los equilibrios químicos cambian hacia compuestos más estables en esta nueva situación; resulta que a veces estos compuestos son más solubles y por lo tanto se establece un equilibrio de disolución en valores mucho más altos. Este cambio es lento a escala de tiempos de laboratorio pero muy rápido si la escala de tiempos es la geológica.

La causa del cambio del ambiente reductor a oxidante en la matriz porosa del acuífero es antrópica. Una vez que el hombre ha conseguido contaminar los ríos, acabar con el acuífero superficial y que se sequen las tres cuartas partes de los manantiales, hemos empezado a “picar” más y más profundo hasta alcanzar las inmóviles aguas fósiles. Con su extracción, baja el nivel freático dando lugar a que el espacio poroso, antes lleno de agua, pase a estar lleno de aire (con su correspondiente 21% de oxígeno) hasta la siguiente recarga primaveral que además se hace con agua directamente procedente de las nieves de las montañas o por percolación del acuífero superficial, en ambos casos con aguas muy oxigenadas.

El problema es totalmente similar al de la presencia de arsénico en el agua que todos los técnicos de aguas de consumo conocen perfectamente: las arsenopiritas (sulfuros de arsénico y otros metales) abundantes en rocas graníticas, muy insolubles y estables en ambiente reductor, pasan a arsenitos y arseniatos (dependiendo del pH) solubles con el cambio a un ambiente oxi-

dante. El problema es tan similar que de hecho se superponen ambas contaminaciones de forma que las más altas concentraciones de radioactividad se dan en sondeos con altas o muy altas concentraciones de arsénico. En parte esto aminora el problema ya que muchos sondeos con problemas de radioactividad resultan estar clausurados (o al menos declarados no aptos) por presencia de arsénico con valores altos.

Con sólo echar un vistazo al mapa del proyecto MARNA que se adjunta (ver figura 2) se puede deducir las áreas con mayor riesgo para este peligro: las provincias de Pontevedra y Orense, los Arribes del Duero, la Vera, etc., pero sobre todo las provincias de Ávila y Salamanca porque además de la intensidad de radiación hay una carencia de suficiente agua superficial (y de manantial) lo que hace que se tenga que utilizar aguas de sondeos profundos para el abastecimiento público.

En materia del agua hay menos datos analíticos que para el radón; no obstante, son suficientes para conocer el problema y en algunos casos tenerlo bien acotado. En las estribaciones del Sistema Central son muchos los sondeos profundos que están por encima del máximo legal de actividad alfa (100 mBq/L), siendo frecuente encontrar valores por encima de diez veces el máximo y no siendo excepcional localizar valores que superan veinte veces dicho máximo.

Al igual que para el problema del radón, los radionúclidos incorporados a nuestro organismo con el agua de consumo se comportan como cancerígenos para aquellos órganos que entren en contacto con ellos, bien directamente, bien a través de las rutas metabólicas o de eliminación que sigan según sus propiedades químicas. A modo de ejemplo, el quinto descendiente del uranio-238

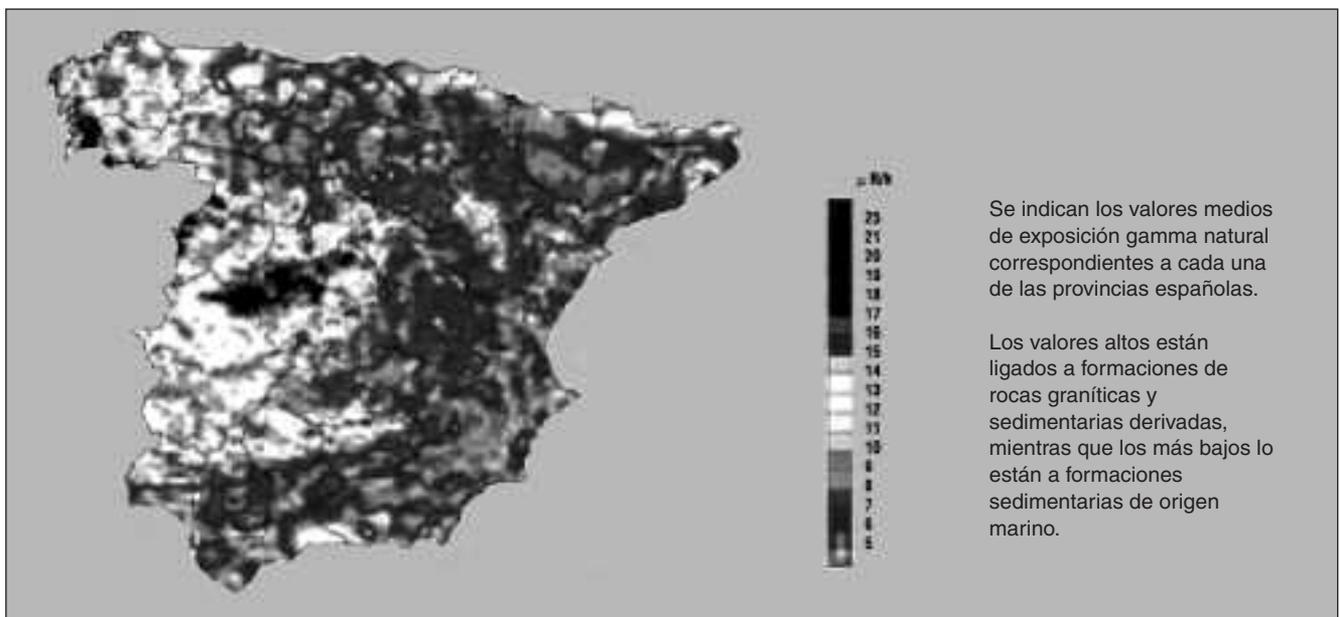


FIGURA 4. Mapa radiométrico. Proyecto Marna.

es el radio, que como elemento alcalinotérreo compite con el calcio y sigue rutas metabólicas similares.

Aunque se ha citado ya, conviene incidir de nuevo sobre el hecho de que el agua de consumo, en general, es un problema con connotaciones sociopolíticas complejas que no se deben abordar en este artículo, pero que sí conviene recordar, ya que complican enormemente la vigilancia y control de la aptitud. En particular, la radioactividad tiene una vigilancia y control francamente deficiente según que zonas.

UN PROBLEMA AÑADIDO: EL URANIO

Aunque ya se ha dicho, hay que insistir en que esta agua con pequeñas cantidades de minerales radioactivos disueltos puede presentar actividades muy altas según los casos. Conviene recordar que por *actividad* se conoce la medida de la velocidad de desintegración, su unidad es el becquerel que se corresponde con una desintegración al segundo. También conviene llamar la atención sobre el hecho de que para las actividades normales en radioactividad natural bastan concentraciones extremadamente pequeñas, a veces indetectables por medios químicos para núcleos con periodos de semidesintegración pequeños. Incluso para núcleos con periodos tan largos como el uranio-238 (4.500 millones de años) bastan tan sólo 81 µg/L para que se desintegre un átomo de uranio por segundo (en media).

Ahora bien, es necesario aclarar algunas cuestiones referentes al párrafo anterior. El uranio-238 decae a torio-234 mediante una emisión α , y éste a su vez a protactinio-234 mediante una emisión β , y así sucesivamente hasta llegar al átomo de plomo-206 que es estable, y que constituye el final de la cadena del uranio-238 (lo mismo se podría hablar para las otras dos cadenas naturales). La cadena completa del uranio-238 tiene 13 descendientes más el uranio y el plomo, de los que 8 son α -emisores y 6 β -emisores. Cuando medimos la actividad α en un litro de agua, medimos la actividad α total y no discriminamos si es la correspondiente a la transición del uranio al torio u otra de sus descendientes; por otra parte si ha transcurrido el suficiente tiempo desde el ingreso en el agua del uranio (miles e incluso millones de años) se habrá establecido un equilibrio dinámico entre todos los elementos de la cadena por lo que, salvadas las fluctuaciones debidas al azar, por cada átomo de uranio que decae se formará un átomo de plomo estable; o lo que es lo mismo, por cada átomo de uranio que decae la cadena contribuye con 8 partículas α a la actividad total. Es por eso que para obtener una actividad α total de un becquerel bastan sólo aproximadamente 10 µg/L de uranio, siempre que se haya establecido el equilibrio (aguas fósiles). Estos valores hay que tomarlos con precaución: no siempre está establecido el equilibrio (aguas superficiales), la solubilidad de los diferentes descendientes es muy variada,

además del uranio-238 están las otras series, el radón es un gas que puede escapar, etc. Pero con una aproximación suficiente podremos decir que para cada unidad de actividad por litro de agua, el uranio disuelto previsiblemente estará entre 10 µg/L y 80 µg/L.

Todo ello se esgrime porque aún siendo ajeno al objeto de este artículo no se debe perder la oportunidad de hablar sobre el peligro del uranio como elemento químico (no como radionúclido). Ciertamente, el uranio es un tóxico para el riñón de gran envergadura, y aunque nunca se alcanzarían las concentraciones de nefrotoxicidad de respetarse las dosis máximas de radioactividad que son mucho más exigentes, la situación real es que se está obviando no sólo la vigilancia de la radioactividad sino también las declaraciones de aptitud y la adopción de las oportunas medidas correctoras, por lo que estamos ante un peligro cierto según qué concentraciones.

El límite máximo que recomienda la OMS para el peligro de nefrotoxicidad por uranio es de 15 µg/L, y los límites establecidos en las diferentes legislaciones oscilan entre 15 µg/L y 30 µg/L (excepción hecha de Argentina con 100µg/L). En la legislación europea no se establece límite para el uranio ya que no es necesario si se cumple con los criterios de radioactividad. El límite máximo para la actividad α es de 0,1 Bq./L.

Si hubiese —¡los hay!— valores que superasen en 20, 30 ó 40 veces el límite máximo de actividad α estaríamos alcanzando valores que empezarán a ser preocupantes para la nefrotoxicidad aguda o crónica.

MEDIDAS CORRECTORAS

También este artículo, aunque sea de opinión, quiere llamar la atención sobre la necesidad de adoptar las medidas correctoras y/o previsoras en las siguientes direcciones:

1. En cuanto a la vigilancia y control:
 - Vigilar y controlar el agua de consumo para este parámetro. En particular se deben clausurar los sondeos con altas cifras de radioactividad y buscar soluciones alternativas.
 - Tomar medidas legislativas para controlar los materiales de construcción en cuanto a su origen y aditivos que puedan añadir actividad radioactiva. El desconocimiento de la exposición es otra de las causas de la poca atención prestada en el pasado.
 - Legislar adecuadamente sobre los códigos técnicos de edificación. Es lamentable que se haya perdido la oportunidad cuando se ha publicado recientemente el nuevo código de edificación.
2. En cuanto a la investigación:
 - Investigar sobre la incidencia de los cánceres pulmonares cuyo origen más probable está en la ra-

dioactividad, y que sin lugar dudas ocuparán el segundo puesto en el ranking tras los de origen tabáquico. Aunque ya se ha insinuado, otra de las causas por las que se ha dado poca importancia histórica a este problema es por que el número de cánceres originados por el tabaco es tan alto que enmascara los de origen radioactivo, situación que ha de cambiar en un futuro cercano (esperemos).

- Conocer certeramente la exposición geográfica en función de las diferentes rocas del suelo. Como una aproximación para el lector se tiene la emisión gamma detectada desde medios aéreos que lleva a cabo el Consejo de Seguridad Nuclear. Se aprecia claramente la gran intensidad de radiación en Gredos (Sistema central) y sus estribaciones. Deseo aprovechar estas líneas para sumar mi protesta a la de los ciudadanos insulares por no estar incluida esas regiones en el Proyecto MARNA.
 - Investigar en los procesos de tratamiento. ¿Son efectivos para el uranio los compuestos de hierro o titanio que se utilizan para la eliminación del arsénico? ¿Qué cantidad de radionúclidos se pueden hacer flocular? ¿Cuánta actividad rebaja el burbujeo (para eliminar parte del radón)? ¿Cuál es la efectividad de la tecnología de membranas?...
3. En cuanto a la formación e información:
- Informar al ciudadano de las zonas con alta exposición de la necesidad de ventilar adecuadamente viviendas y edificios. No por ocultar un problema el problema deja de existir. El sistemático silencio de las administraciones sobre el problema de la radioactividad (que en el caso del agua es mucho más grave) no es propio de un país del primer mundo.
 - Formar a los profesionales que se dedican a salud

en temas que por su propia formación desconocen. A la vez que es necesario promocionar la pluri-profesionalidad para el trabajo en salud. Cuando algún colectivo concreto se siente propietario exclusivo de la salud tenemos un problema de salud

BIBLIOGRAFÍA

- Quindós Poncela LS. Radón, el enemigo invisible. Universidad de Cantabria.
- Barros Dios JM, Amparo Barreiro M, Ruano Ravina A, Figueiras A. Exposure to residential radon and lung cancer in Spain: A population based case control study. *American Journal of Epidemiology* 2002; 156:548-555.
- Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros Dios J, Baysson H, Bochocchio F, Deo H, Falk R, Forastiere F, Hakama M, Heid I, Kreienbrock L, Kreuzer M, Lagarde F, Makelainen I, Muirhead C, Oberaigner W, Pershagen G, Ruano Rovina A, Ruosteenoja E, Rosario AS, Tirmarche M, Tomásek L, Whitley E, Wichmann HE, Doll R. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 european case-control studies. *British Medical Journal* 2002; 330(7485):223.
- Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros Dios J, Baysson H, Bochocchio F, Falk R, Farchi S, Hakama M, Heid I, Hunter N, Kreienbrock L, Kreuzer M, Lagarde F, Makelainen I, Muirhead C, Oberaigner W, Pershagen G, Ruosteenoja E, Rosario AS, Tirmarche M, Tomásek L, Whitley E, Wichmann HE, Doll R. Residential radon and lung cancer detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. *Scandinavian Journal of Work. Environment and health* 2006; 32 (Suppl.1):1-84.
- Quindós Poncela LS, Fernández PL, Gómez Arozamena J, Sainz C, Fernández JA, Suárez Mahou E, Martín Mataranz JL, Cascón. Natural gamma radiation map (MARNA) and indoor radon levels in Spain. *Environment International* 2004; 29:1091-1096.
<http://www.elradon.com>