

LAS AGUAS MINERALES RADIATIVAS

y su representación aragonesa

Prof. F. Solsoa

Introducción

Las aguas minerales pueden contener en disolución elementos radiactivos, sólidos o gases. Estos elementos son casi siempre naturales y, en menor medida, artificiales, derivados de explosiones termonucleares. Los naturales pueden pertenecer a cualquiera de las tres familias radiactivas existentes en la naturaleza (familias del uranio-radio, del actinio y del torio) o bien no corresponder a ninguna de las tres familias (potasio 40, rubidio 87, indio 115, lantano 138, lutecio 176 y otros). Las aguas minerales radiactivas pueden recuperar su antigua importancia biológica en razón del efecto de hormesis que las pequeñas dosis de radiación del agua y del ambiente de emergencia pueden determinar en los seres vivos.

BREVE RECUERDO FÍSICO DE LA RADIATIVIDAD NATURAL

Historia y concepto

Es clásico recordar las circunstancias del descubrimiento de la radiactividad natural. En 1896, Henri Becquerel, siguiendo la hipótesis de Poincaré, tuvo la idea de exponer a la luz solar cristales fluorescentes y depositarlos sobre una placa fotográfica envuelta en papel. Pensaba que por la acción de la luz solar, el uranio, sustancia fluorescente, adquiriría propiedades capaces de impresionar la placa fotográfica. La experiencia quedó en suspenso por no aparecer el sol en París durante varias semanas. Cuando lo hizo, Becquerel quiso poner en juego la experiencia, pero su rigor científico le llevó a comprobar una muestra del material fotográfico tantas semanas almacenado junto al uranio en un cajón; halló con sorpresa que dicho material estaba impresionado. Concluyó que el uranio emitía espontáneamente radiaciones y que éstas tenían propiedades semejantes a los rayos X, poco ha descubiertos.

Esta experiencia, descrita el 2 de marzo de 1896 y presentada en la Academia de Ciencias de París en noviembre de ese año, habría de tener el enorme alcance que hoy día conocemos. Los trabajos de investigación comenzaron. Pierre y Marie Curie descubren, en julio de 1898, el polonio y en diciembre del mismo año el radium, mil veces más activo que el uranio. Pierre Curie dedicó los siete últimos años de su vida, trágicamente segada por accidente de tráfico, al estudio de las propiedades de esta sustancia; Marie Curie trabajó en su purificación química; ambos recibieron, en 1904, el premio Nobel de Física; y Marie, en 1911, además, el de Química.

En 1899, Debierne y Gieser descubrieron el actinio y, en 1900, Hahn el mesotorio. Todos estos elementos emiten espontáneamente radiaciones sin que podamos acelerar o frenar el proceso. Esta propiedad fue denominada por los esposos Curie radiactividad y a los cuerpos que la poseen, radiactivos. Becquerel creyó que tenían igual naturaleza que los rayos X, pero pronto se comprobó que parte de las radiaciones del uranio eran desviadas por

un campo electromagnético. Se llegó así a separar tres tipos de radiación, designadas, por Rutherford, alfa, beta y gamma, corpusculares las dos primeras y electromagnética la tercera.

En 1919, se logró por vez primera la producción de radioelementos artificiales, que presentan, en común con los naturales, muchos aspectos. Pero de ellos no corresponde hablar aquí.

Radiaciones emitidas por los radioelementos naturales

Cada desintegración conlleva la emisión de una partícula alfa o beta. La emisión gamma es un fenómeno asociado. La *emisión alfa* supone el 92 % en la desintegración de la familia del uranio-radio; una partícula alfa está constituida por dos protones y dos neutrones; por ello el elemento hijo tendrá, respecto del padre, el peso atómico disminuido en 4 y el número atómico en 2; cuando las partículas alfa abandonan el radioelemento lo hacen a velocidad entre 15.000 y 30.000 kms/seg, teniendo así gran poder de ionización por lo que al atravesar la materia consumen pronto su energía.

La *radiación beta* (4,8 % de la emisión) es un electrón negativo. Puede penetrar en la materia a mayor profundidad que la alfa, con alcance máximo de 15 mms. Su emisión supone que no varíe en el hijo el peso atómico, pero sí que aumenta en 1 el número atómico.

La *emisión gamma* (3,2 % de la desintegración) acompaña a la emisión alfa o beta. Identificada, en 1898, por Villard, como radiación electromagnética, tiene, por tanto, igual naturaleza y las mismas propiedades que los rayos X, entre ellas su velocidad de 30 0.000 kms por segundo.

Transmutaciones radiactivas. Constante de desintegración. Periodo de semidesintegración

De una manera general se agrupa bajo la denominación de radiactividad toda transformación espontánea del núcleo atómico. Una sustancia radiactiva está cambiando constantemente de naturaleza. La emisión de radiaciones que la acompaña se realiza de modo continuo a costa de la masa nuclear del átomo que se desintegra; que, por tanto, se modifica, se transforma en otro, se transmuta. Las transformaciones radiactivas son, pues, propiedades nucleares y, contrariamente a las propiedades químicas, no dependen de las condiciones exteriores (temperatura, presión).

El curso temporal de los fenómenos de desintegración radiactiva está regulado por la *ley de desintegraciones radiactivas* por la que el número de átomos que se desintegran en unidad de tiempo es proporcional al número de átomos inicialmente presente y varía de un radioelemento a otro; la desintegración es un fenómeno espontáneo, inmodificable, que se realiza a una velocidad determinada para cada radioelemento. El número de átomos que se transmutan por unidad de tiempo y de masa de un radioelemento constituye la *constante de desintegración radiactiva* (que se designa con la letra griega lambda, λ).

Llamamos *periodo de semidesintegración* (T) al tiempo que debe transcurrir para que de una cantidad de átomos inicialmente presente de un radionúclido se hayan desintegrado la mitad, lo que quiere decir que queda sin desintegrar la otra mitad. Por tanto constante y periodo son inversamente proporcionales.

Cuadro 1. Las tres familias radiactivas naturales

Familia del uranio-rádium				Familia de actinio				Familia del torio			
Peso atómico	Periodo de semidesintegración	Rayos	Nombre	Peso atómico	Periodo de semidesintegración	Rayos	Nombre	Peso atómico	Periodo de semidesintegración	Rayos	Nombre
238	4,5.10 ⁹ a	α	uranio I								
234	24,5 d	β γ	uranio X1								
234	6,7	β	uranio Z								
234	1,14 m	β γ	uranio X2								
234	3,105 a	α	uranio II 3%	230	24,6 h	β	uranio Y	232	12.10 ⁹ a	α	torio
230	76000 a	α	ionio								
226	1580 a	α	rádium	230	32000 a	α	protactinio	228	6,7 a	B	mesotorio I
222	3,83 d	α	radón	226	12,5 a	β	actinio	228	6,2 h	β γ	mesotorio II
218	3,05 m	α	rádium A	226	18,9 d	α β γ	radiactinio	228	1,9 a	α β	radiotorio
214	26,8 m	β γ	rádium B	222	11,2 d	α	actini X	224	2,64 d	α	torio X
214	19,5 m	α β γ	rádium C	218	2,9 seg	α	actinón	220	54,5 seg	α	torón
214	10 ⁻⁶ seg	α	Ra - C ₁	214	0,002 seg	α	actinio A	216	0,14 seg	α	torio A
210	1,3 m	β γ	Ra - C ₂	210	36 m	β γ	actinio B	212	10,6 h	β γ	torio B
210	22 a	β γ	rádium D	210	2,16 m	α β γ	actinio C	212	60,8 m	α β	torio C
210	4,9 d	β γ	rádium E	210	0,005 seg	α	act. C	212	10 ⁻⁹ seg	α	tor. C.
210	136,5 d	α	polonio	206	4,76 m	β γ	act. C	208	3, m	β γ	tor. C.
206	estable	-	plomo	206	estable	-	plomo	206	estable	-	plomo

Se denomina *vida media* (V.m.) al promedio de vida de todos los átomos de un radioelemento (o sea, la suma de las vidas de todos ellos dividido por el número de átomos inicialmente presentes). Vida media y periodo no son iguales; la vida media es = 1,44 T.

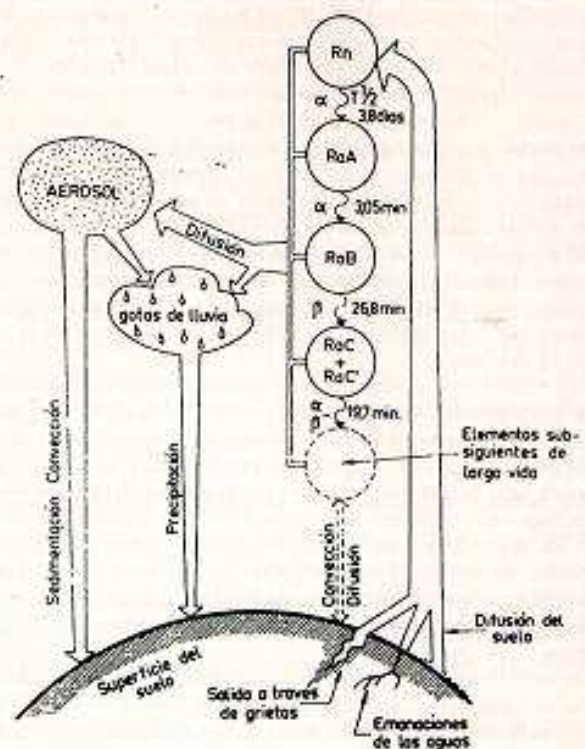
La desintegración radiactiva es un fenómeno exponencial; al cabo de un periodo se han desintegrado la mitad de átomos de los inicialmente presentes; al cabo de dos periodos lo han sido las tres cuartas partes y en cada periodo más la mitad de los que quedaban sin desintegrar. Para grandes números es un proceso (una curva en su representación gráfica) que tiende a 0 sin alcanzarlo nunca.

Los elementos radiactivos existentes en la Naturaleza

La mayor parte de los elementos radiactivos que existen en la naturaleza pertenecen a una de las tres grandes familias radiactivas (cuadro 1): la del uranio-radio, la del actinio y la del torio, derivando cada cuerpo de un antecesor, asimismo inestable, hasta remontarnos al primero de la serie. Se llama *padre nuclear* el núcleo de donde se origina el descendiente y *precursor* es el núcleo del cual derivan por desintegraciones sucesivas una serie de núclidos.

Estas sustancias se hallan en la corteza terrestre, en la atmósfera, en los materiales de construcción, por supuesto en cantidades que no afectan a la vida; incluso alguna sustancia natural, que no pertenece a ninguna de estas familias, el potasio 40, por ejemplo, forma parte de nuestro organismo.

La familia más interesante es la del uranio-radio, cuyo elemento precursor es el uranio 238, que, por sucesivas desintegraciones da lugar al radio, radón, radio A, radio B, radio C, radio D, radio E, radio F, hasta llegar al radio G, estable, isótopo del plomo.



Cuadro 2. Ciclo de la radiactividad natural.

Cada uno de estos elementos tiene constante específica de desintegración y un periodo distinto. En la familia del radio, todos los elementos son sólidos, menos el radón que es gas.

En la familia del uranio-actinio, también el elemento más característico, el actinio X, produce en su desintegración un núcleo gaseoso, el actinioemanación. Lo mismo pasa con la tercera familia, en la que el torio X da lugar al torio-emanación o torón. También el actinio y el torio terminan su cadena en un elemento estable, actinio 207 y torio 208, respectivamente, ambos isótopos del plomo y con número atómico 82.

La serie más difundida es la del radio. Los elementos de esta serie existen en la corteza terrestre y en las aguas y cuando el radio se desintegra a radón, éste puede pasar a la atmósfera y produce en ella elementos sucesivos que se depositaran (cuadro 2) con el polvo y la lluvia en la superficie terrestre formando el ciclo de la radiactividad natural.

Otros radioelementos existentes en la naturaleza, no adscritos a ninguna de las tres familias antedichas vienen resumidos en el cuadro 3. Estos elementos son beta y gammaemitenes, salvo el bismuto-209 y el samario-147, que son emisores alfa. Sólo el potasio 40 y el rubidio 87 tienen un peso atómico inferior a 100; el bismuto 209 es el único que lo tiene superior a 200.

Filiación radiactiva. Equilibrio radiactivo

La desintegración de un radioelemento da origen, como hemos visto, a la aparición de otro núcleo, también inestable, radiactivo por tanto y así sucesivamente hasta que dé lugar a la aparición de un elemento estable. El mismo uranio I (cuyo periodo es de 4.500 millones de años, sólo superado por el torio232)

Cuadro 3. Elementos radiactivos naturales que no pertenecen a ninguna de las tres familias (uranio-radio, actinio, torio)

Elemento	Z	Radiaciones emitidas	Descendiente	Z
Bismuto	209	alfa	Talio	205
Renio	187	beta + gamma	Osmio	187
Lutecio	176	beta + gamma	Yterbio	176
Samario	147	alfa	Neodimio	143
Lantano	138	beta + gamma	Cesio	138
Telurio	130	beta + gamma	Xenon	130
Indio	115	beta + gamma	Estafio	115
Rubidio	87	beta + gamma	Estroncio	87
Potasio	40	beta + gamma	Calcio	40

en su desintegración da lugar a otro radioelemento (uranio X-1), que en sucesivos pasos da lugar al uranio X-2, uranio II, ionio y radio, también radiactivos como sabemos. Cada elemento esta caracterizado por su constante de desintegración; o, si se quiere, por el periodo de semidesintegración.

Al cabo de cinco periodos, si el periodo del elemento hijo es menor que el del padre, la actividad de ambos será muy similar; se dice, entonces, que se ha establecido el *equilibrio radiactivo*.

La *actividad* de un radioelemento esta caracterizada por el número de desintegraciones por segundo, lo que depende de la constante de desintegración para ese elemento y del número de átomos existente. La *unidad de actividad* es el *curie*, tradicionalmente, equivalente a la cantidad de cualquier sustancia radiactiva en la que se producen $3,7 \times 10^{10}$ desintegraciones por segundo. Sus submúltiplos son:

- (mCi) - millicurie = 0,001 curie (Ci)
- (µCi) - microcurie = 0,001 mCi
- (nCi) - nanocurie = 0,001 µCi
- (pCi) - picocurie = 0,001 nCi

Otra unidad es el *rutberford*, cantidad de cualquier sustancia radiactiva en la que se produce un millón de desintegraciones por segundo. Desde 1975, tiende a sustituirse el curie por el *becquerel* = 1 desintegración/seg.

Aguas mineromedicinales radiactivas

Las aguas radiactivas son aquellas que contienen en disolución elementos radiactivos sólidos o gaseosos, casi siempre naturales (podrían contener radioelementos artificiales derivados de las explosiones termonucleares), llevando en disolución elementos de las tres familias existentes en la naturaleza (uranio-radio; actinio; torio); también pueden contener algunos radioelementos naturales no pertenecientes a ninguna de estas familias.

Los tenores radiactivos son muy diversos de un agua a otra. La radiactividad de las aguas minerales es proporcional a la de los terrenos atravesados. Las aguas de terrenos básicos disponen de menor riqueza de radioelementos que las aguas de terrenos graníticos. Los granitos contienen por tonelada métrica alrededor de 3 gramos de uranio y 9 gr. de torio.

En rigor, todas las aguas mineromedicinales son radiactivas por haber atravesado terrenos con elementos radiactivos. Pero la denominación de agua radiactiva se aplica sólo a las que superan el umbral que según los acuerdos de Salzuffen es de 2,9 nC/litro para inhalación, 29 nC/litro para baño y 229 nC/litro para bebida. Violle señala como umbral 2 nC/litro y Grunhut 1,27 nC/litro.

Las aguas minerales contienen sólidos (radio y sus derivados, actinio X, mesotorio, torio Y torio X) y gases (radón, actinón y torón). La causa habitual de radioactividad es el radón, inestable, con periodo de 3,82 días (el periodo del torón es de 54 segundos y el del actinón 4 segundos). Por tanto, en razón de esta emisión gaseosa, el poder radiactivo ha de ser valorado en el manantial; transportadas las aguas pierden la radiactividad debida a los gases.

El radón tiende a difundirse por las fisuras de las rocas y es ligeramente soluble en el agua pasando a ella cuando el agua discurre por rocas radiactivas. Así, agua con tasas bajas de radio puede ser muy radiactiva gracias al radón, como por ejemplo la estación balnearia de Luchon, en Francia. El radón es emisor de radiación alfa como su descendiente, el radio A. Por desintegración es sucesivas se producirán otros elementos hasta llegar al radio G, estable e isótopo del plomo.

No basta con saber la cantidad de sustancias radiactivas disueltas. Hay que conocer también la radiactividad ambiental. Mejor que del débito cabe hablar de *bororradiactividad* del manantial (cantidad de emanación desprendida en una hora). Algunos balnearios, a pesar de alta concentración de material radiactivo por litro de agua, tienen poca bororradiactividad por su escaso caudal; otros, por el contrario, de tenor radífero bajo, lanzan a la atmósfera, en razón de su gran caudal, considerable cantidad de emanación. Este el caso de los balnearios de Alhama de Aragón y de Jaraba.

La acción radiante sobre el organismo es la suma de la acción radiante de los sólidos disueltos en el agua, la de los gases disueltos en el agua y la debida a la radiactividad ambiental.

La *unidad de medida de la radiactividad de las aguas* es el *curio/litro*. En la practica se utiliza el submúltiplo nanocurio/litro (nC/l.). Se han usado otras unidades en la medida de la radiactividad del agua:

- mgeminuto*, cantidad de emanación que produce 1 miligramo de bromuro de radio referido a 10 litros de agua o gas.
- mache* = 0,001 UEE = 0,364 nanocurios (1 nC = a 2,74 maches).
- eman* = actividad de 0,1 nC/litro.
- stat* = concentración en un litro que determina 1000 maches.
- v.b.l. (voltio bora litro)* = 0,00436 nC/litro (1 nC = 234 vhl).

El cuadro 4, señala la radiactividad, en orden decreciente de diferentes aguas muy representativas, sin tener en cuenta el caudal de la fuente.

Cuadro 4. Radiactividad en algunas aguas micromedicinales.

Fuente	nCi/l	Fuente	nCi/l
Lurisia (Italia)	1.150	La Bourboule (Francia)	20,5
Lacco Ameno (Italia)	1.035	Caldas de Bohí (Lérida)	16
Grubenwasser (Chequia)	750	Royat (Francia)	15,7
Valdemorillo (Madrid)	260	Caldas de Oviedo	12,6
Bad Gastein (Austria)	122	Bad Nauheim (Alemania)	10
Merano (Italia)	94	Besaya (Santander)	9,6
Curia (Portugal)	46	La Toja (Pontevedra)	6,6
Luchon (Francia)	41,5	Arnedillo (Logroño)	4,6
Alange (Badajoz)	34,5	Panticosa (Huesca)	4,5
Baden Baden (Alemania)	22	Fitero Viejo (Navarra)	3,1

Efectos biológicos de las aguas radiactivas

La química de las radiaciones estudia los efectos químicos producidos por radiaciones ionizantes (RI). La radioquímica es la química de los elementos radiactivos y analiza sus propiedades y reacciones. En ocasiones, se usa el vocablo radioquímica para designar los dos capítulos. Una parte pequeña de la radiación viene absorbida directamente por el soluto (a través de mecanismo directo). El efecto depende más de la energía absorbida en conjunto (mecanismo indirecto) que de la energía absorbida por el soluto. Son muchas las reacciones químicas provocadas por las RI. La radioquímica puede dar explicación a varios problemas:

1. El distinto poder zimosténico (activación de enzimas) de diversas aguas minerales.
2. Diferencias de acción entre agua mineral genuina y agua mineral compuesta en el laboratorio.
3. Las aguas minerales oligometálicas radiactivas con mineralización global inferior a 0,5 gr./litro y radiactividad entre 2 y 40 nCi/litro tienen efectos más intensos que otras aguas de mayor mineralización o radiactivadas artificialmente. Se atribuye esto a distintas razones (carga eléctrica, coloides, metales, otras sustancias en proporciones infinitesimales, pero sobre todo a su radiactividad). Sobre las aguas minerales, las radiaciones disocian, ionizan, desintegran o integran por estimulación de actividades químicas, fisicoquímicas y biológicas.

Todas las aguas naturales que caminan simultáneamente largo trecho por la corteza terrestre presentan radiactividad, aunque sea ínfima. El radón, por vía pulmonar, digestiva, cutánea y también por inyección subcutánea puede alcanzar el organismo; en cuyo interior, por desintegraciones sucesivas, produce Ra A, Ra B, Ra C, Ra D, todos de periodos cortos salvo el último que es de 25 años.

El radón tiene afinidad especial por los lipoides orgánicos (pulmón, hígado, piel, pelo, vaso y riñón) y se elimina por pulmón, orina, sudor y saliva. El torio y el torio X tienen afinidad por la médula ósea, músculo, corazón e hígado. El torón, a diferencia del radón, debido a su corto periodo se desintegra casi totalmente en el organismo (80%); el 20 % se elimina, en su mayor parte por intestino y una pequeña parte por orina y sudor. El actinio y el radio se comportan de modo semejante al torio X pero tienen menor afinidad por la médula. El radio tiene el mismo tropismo que el calcio; por vía digestiva parte se elimina por intestino.

Las aguas con varios nanocuries por litro tienen actividad terapéutica y sólo por ese hecho merecen ser llamadas aguas minerales. Tienen indiscutible acción sedante y todas afecciones dolorosas (aparato locomotor, sistema nervioso, ginecológicas y de colon) son justificables de las curas termales (Giberton 1972). También la atmósfera en los balnearios radiactivos (cuando el aforo es grande) es sedante, siendo notable el agradable sueño de los enfermos que acuden a un balneario radiactivo (Jaraba, Alhama de Aragón).

Las acciones biológicas de carácter general de las aguas radiactivas pueden esquematizarse así (Messini, Armijo, Di Lollo):

1. Estimulación de los cambios respiratorios y procesos oxidativos.
2. Modificación de la carga eléctrica coloidal, favoreciendo el grado de dispersión. Floculación y desnaturalización.
3. Aumento de la actividad enzimática (poder zimosténico)
4. Disminución del poder anafilactógeno.
5. Efecto espasmolítico y sedante.
6. Regulación del tono vegetativo
7. Hormesis, de impensable proyección e importancia en el futuro.

Se concibe la *bormests* como un proceso determinado por dosis bajas de un agente (al que con dosis medias sólo se le conocen efectos perjudiciales) que conllevan efectos estimulantes o beneficiosos. Este fenómeno se encuentra ya en la naturaleza o fuera de ella como respuesta biológica a agentes químicos, farmacológicos o físicos. Dosis bajas radiantes pueden producir, al menos, los siguientes efectos horméticos:

- a) aumento de la longevidad (ya entrevisto hace medio siglo por Lorenz)
- b) incremento del crecimiento de plantas y animales, cuyos estudios datan de principios de siglo.
- c) estudios canadienses muestran incremento de fertilidad en truchas con esperma irradiado.
- d) disminución de la frecuencia del cáncer, hecho enmascarado, a veces, por incremento de cancerogénesis debido al referido aumento de longevidad.

Las acciones específicas a nivel de órganos y sistemas pueden resumirse así:

1. Aumento de la diuresis
2. Incremento de la eliminación del ácido úrico
3. Efecto retardador en la producción de adrenalina
4. Regulación diencefalohipofisaria
5. Disminución de la actividad tiroidea
6. Mejoría de la actividad de suprarrenales y gónadas
7. Disminución de la tensión arterial
8. Estimulación en la producción de hematies y leucocitos
9. Fluidificación de secreciones del aparato respiratorio
10. Aumento del poder digestivo del jugo pancreático.

Como ocurre en tantas ocasiones, estas acciones son claras, pero no siempre los mecanismos de producción.

La acción inmediata beneficiosa de las aguas minerales radiactivas es cierta. ¿No habrá, a largo plazo, algunas acciones desagradables producidas por las RI? La solubilidad de los compuestos de uranio de las aguas radiactivas es tan débil que sólo hay peligro por la dosis acumulada por ingestión prolongada y cotidiana del agua. El peligro es, por tanto, para el agua de pozo o urbana; no para la cura hidromineral de tres semanas. El peligro del radio es debido a su tropismo óseo (por semejanza metabólica con el calcio) en ingestión o inhalación; por el lento metabolismo óseo, los átomos de radio quedan mucho tiempo en el hueso y lo irradian. En baño o ducha no hay problema por la escasa penetración de radiación alfa o beta y por escasa in-

tensidad de radiación gamma. Las aguas minerales tienen concentraciones de radio por debajo de las permitidas biológicamente. Las aplicaciones breves de radón no dejan trazas. Por otra parte, el radón abandona el agua y la embotellada no contiene ni tampoco participa de la radiactividad ambiental (Jaraba, Alhama, Luchon, Royat). Quedan en el organismo solamente trazas de sus descendientes. No las hay de radón en el aire aspirado al cabo de cuatro horas de su administración.

Las dosis por radiación que llegan a gónadas y huesos a partir de fuentes externas naturales varían de unas a otras regiones del globo (75 mrem/año en la mayor parte de los territorios; 190 mrem/año en regiones graníticas de Francia; 315 mrem/año en las monazitas de Brasil; 830 mrem/año en la región de Kerala en la India). Son dosis que existen desde el principio del mundo con las que hombres y animales han venido conviviendo y estamos autorizados a pensar que son dosis sustanciales a la vida misma.

Organo crítico es aquel sobre el que la radiación muestra los efectos más desfavorables por mayor fijación, lenta eliminación y mayor sensibilidad. No obstante, cuando se habla de aguas mineromedicinales radiactivas se manejan dosis mil a cinco mil veces menores que las tóxicas.

Efectos terapéuticos

De las acciones señaladas se derivan los siguientes efectos terapéuticos:

1. Sedante (de reconocimiento universal en la recuperación del sueño).
2. Antiálgico, en particular en neuritis y neuralgias.
3. Antiespasmódico (aparatos respiratorio, digestivo y ginecológico).
4. Descongestionante (en procesos pélvicos, particularmente).
5. Cooperación importante en la solución de problemas inflamatorios.
6. Regulador funcional en
 - * sistema cardiocirculatorio (hipertensión, claudicación intermitente)
 - * sistema digestivo (colon irritable)
 - * sistema respiratorio (procesos asmáticos)
 - * sistema urinario (incremento de la diuresis)
 - * diversas distonias vegetativas
7. Procesos metabólicos (gota, sobre todo).
8. Mejoría de función endocrina.
9. Antialérgico (asma, dermatosis).
10. Por suma de efectos anteriores, tienen una indicación preeminente en los procesos reumáticos y en secuelas osteoarticulares.

Técnicas de aplicación

Las aguas minerales radiactivas pueden aplicarse:

1. Per os (en bebida), mejor por la mañana y en ayunas (dosis de 750 nC)
2. Por inhalación en régimen individual o colectivo (aprovechando los gases desprendidos del agua, como en la Gran Cascada de Alhama de Aragón, en el manantial S. Luis de Jaraba o en el vaporarium de Luchon).
3. En baños totales o parciales (a 38-39 grados centígrados y duración de 30 minutos).
4. Aplicaciones de fangos obtenidos de barro y agua radiactivos.
5. En irrigación (rectal, vaginal).

6. Por inyección de gas termal (para hipertensión arterial y arteritis de extremidades inferiores) de espectacular éxito en algunos balnearios (Royat).

Aguas mineromedicinales radiactivas aragonesas

El cuadro 6 señala la radiactividad en las diversas fuentes de la mayor parte de balnearios aragoneses. No disponemos de datos de Camporrells (Huesca), Fuensanta de Vilhel (Teruel), Segura de Baños (Teruel) ni de El Paraíso de Manzanera (Teruel), los tres primeros temporalmente sin funcionamiento, por avanzada edad de los propietarios.

Cuadro 6. Radiactividad y aforo de diversos balnearios aragoneses.

Balneario	Fuente	temp.	nC/l.	litros/día
Panticosa	La Laguna	26	3,3	270.000 *
	Del estómago	32,5	1,3	
	Del hígado	26,6	4,0	
	De los herpes	26	1,7	
	San Agustín	28,5	4,7	
Benasque	Tiberio	51	4,5	1.220.000 *
	Bañeras	36,5	0,33	
	Lavadero	37,5	0,26	
	Opiladas	31	0,64	
	San Cosme	32,5	0,32	
Turbón	San Marcial	31,8	0,29	86.400
		9	0,76	
Paracuellos		18	0,33	700.000
Alhama *		33	0,12	30.000.000 *
Jaraba *		34	0,11	12.000.000 *
Camarena		19,5	0,47	130.000

* aforo global para todas las fuentes
* varios manantiales con senecante radiactividad

La radiactividad por litro en las aguas aragonesas es, como se puede apreciar, muy baja. Pero en algunos balnearios el importante caudal (Jaraba, una de cuyas fuentes, la de San Luis proporciona 7.000.000 de litros por día; Alhama de Aragón en donde sólo la Gran Cascada supone 23.000.000 de litros al día) permite una considerable hororradiactividad que puede ser fundamental en la interpretación del efecto hormético beneficioso de estas localidades que habrá de ser bien estudiado (baste saber la alta edad de defunción en estas poblaciones) y, si se confirmase, atraería clientela a estas localidades y la implantación de centros de investigación nutridos por geólogos, físicos, biólogos y clínicos. ●

BIBLIOGRAFIA

- Armijo Valenzuela, M. Compendio de Hidrología médica. Editorial Científico Médica, Barcelona, 1968.
- Di Lollo, Compendio di Idrologia Medica. Capelli ed. Bolonia, 1969.
- Gans, I. Radiactividad y aguas minerales naturales. Actas del Symposium Internacional sobre Criterios de calidad de las aguas minerales naturales. pp. 43-46. Palma de Mallorca, 1991.
- Gibertón, A., Nirard, B. Radiobiologie et cures thermales. En el libro de J. M. Bert et al "Thérapeutique thermale et climatique" (pp. 81-84). Masson et Cie, Paris, 1972.
- Messini, M. Trattato di Idroclimatologia. Capelli ed., Bolonia, 1951.
- Selman, J. The fundamentals of X-ray and Radium Physics, quinta edición. Ch. Thomas Pub., Springfield, 1976.
- Solsona, F. Posible hormesis de la radiactividad natural de las aguas minerales. Actas del Symposium Internacional sobre Criterios de calidad de las aguas minerales naturales. pp. 47-51. Palma de Mallorca, 1991.
- Solsona, F. Balnearios aragoneses. Diputación General de Aragón, Zaragoza, 1992.
- Wulf, Th. Die Bausteine der Körperwelt. Berlin, 1935.
- Yarza J. C. y Solsona, F. Física para radiólogos. Zaragoza, 1979.