

## **LAS AGUAS MINEROMEDICINALES Y SUS PROPIEDADES TERAPÉUTICAS\* .**

### **Mecanismos de acción sobre el organismo de las aguas mineromedicinales aplicadas en balneación**

CARMEN SAN JOSÉ ARANGO

*Académica Correspondiente de la Real Academia de Doctores de España*

Las aguas mineromedicinales, desde un punto de vista físico-químico, se pueden considerar como una fase heterogénea constituida por compuestos inorgánicos y orgánicos en suspensión, que en un medio solvente como es el agua, forman una disolución más o menos diluida. Es en la molécula del agua, en su estructura y especiales características físico-químicas, así como en las sustancias que porta en disolución o en suspensión donde radica su importante función en las actividades vitales y sus propiedades terapéuticas.

Las aguas mineromedicinales son, por tanto, soluciones naturales que por sus acciones terapéuticas sobre el organismo sano y enfermo pueden ser declaradas de utilidad pública por los organismos oficiales competentes. Su administración orgánica se denomina crenoterapia, término derivado del griego «crenos», que significa fuente o manantial.

Dependiendo de la vía de administración o aplicación, las aguas mineromedicinales ejercen diferentes acciones sobre el organismo.

Así, se pueden administrar por vía oral o en bebida, denominándose entonces el tratamiento crenoterápico **cura hidropónica**. El efecto terapéutico de las aguas por esta vía se realiza fundamentalmente, y dependiendo de su mineralización, sobre el tracto gastroenterohepático, vías biliares, vías urinarias, hematopoyesis y metabolismo general.

También se pueden aplicar por vía inhalatoria o **inhalación**, con una acción terapéutica específica sobre el tracto respiratorio.

Por vía tópica o **balneación** actúan sobre el revestimiento cutáneo y pueden ser absorbidas, en parte, por la piel.

La concepción actual en la acción terapéutica de las aguas mineromedicinales radicaría, según PRATZEL y SCHNITZER (1992), en la incorporación al organismo de las sustancias mineromedicinales que forman parte de dichas aguas.

---

\* Discurso pronunciado en la Toma de Posesión como Académica Correspondiente de la Real Academia de Doctores de España.

Así, se ha demostrado que tras una aplicación tópica, la absorción cutánea de elementos mineromedicinales es directamente proporcional a su concentración en el agua del baño. También se podría pensar que cuanto más larga fuese la duración del baño, más cantidad de sustancias disueltas en el agua penetrarían en el organismo.

Sin embargo, diversos hidrólogos han probado que la duración del baño sólo tiene una influencia pequeña en el depósito de sustancias disueltas en el agua en la capa córnea. Además, a medida que se alarga la duración del baño, la absorción cutánea de sustancias del agua decae, es decir, el proceso absorción cutánea no es constante en el tiempo.

Además del proceso de la absorción de sustancias disueltas en el agua del baño, se produce la denominada «post-reabsorción» o reabsorción posterior de los depósitos que se han almacenado en la piel y que dura las siguientes 100 horas después del baño. Este fenómeno se explicaría por la notable capacidad para el almacenamiento acuoso de la capa córnea (SAN JOSÉ ARANGO, 1996).

El contenido de agua de la epidermis oscila, dependiendo de la humedad relativa del aire, entre un 3 y un 38 por 100 del peso del individuo y se eleva tras un baño de agua ordinaria, de 30 minutos de duración y a temperatura indiferente, alrededor del 73 por 100 sobre su valor inicial.

Basándose en una recopilación de distintos autores, se ha hallado una absorción acuosa cutánea de aproximadamente 2-4 ml/cm<sup>2</sup>/hora. Esto correspondería a 1'2-1'5 veces el propio peso de la capa córnea. Por tanto, en cada baño traspasan la capa córnea de la totalidad de la superficie corporal unos 20 ml de agua con todas sus correspondientes sustancias disueltas. Cuanto más concentradas estén estas sustancias en el agua del baño, mayor cantidad de éstas se depositarán en la capa córnea (SAN JOSÉ ARANGO, 2001).

El fenómeno de paso a través de la piel del agua del baño fue evidenciado mediante marcadores radiactivos, más concretamente, con agua marcada con Tritio. A los 10-15 minutos del comienzo del baño, ya se detectaba en sangre y orina el agua marcada radiactivamente (AMELUNG Y HILDEBRANDT, 1985).

Pero para los iones disueltos en el agua, la piel tiene una permeabilidad muy pequeña. Así pues, para que las aguas utilizadas en balneación determinen efectos terapéuticos por sus componentes químicos, son necesarias condiciones determinadas de temperatura y pH. Según PRATZEL (1982, 1987), si dichas circunstancias no se cumplen, la penetración de las sustancias minerales disueltas en el agua no se produce y por tanto sus efectos son nulos, por lo que estas aguas mineromedicinales no se podrían considerar como tales cuando se utilicen en balneación, aunque puedan serlo en ingestión, inhalación o por otras vías de administración.

Como en todo proceso de difusión, la cantidad de agua absorbida por la piel en un baño mineromedicinal es dependiente, además de la temperatura, de la concentración salina del mismo. Por tanto, la absorción cutánea acuosa disminuiría al aumentar la concentración iónica del agua del baño, ya que tendría lugar por un mecanismo simple de difusión por ósmosis, considerando la piel como una membrana semipermeable.

Pero hay que tener en consideración que la piel no actúa del todo como una membrana semipermeable, sino más bien a modo de obstáculo, de freno del paso del agua. Este fenómeno fisiológico de impedimento al paso del agua radicaría anatómicamente en la «pars conjunta» del estrato córneo cutáneo. Evidentemente, la capacidad de almacenamiento de agua en la capa córnea de la piel depende de este aislamiento orgánico que es el tegumento.

De este modo, la piel cuenta con una resistencia al paso del agua tan elevada que, suponiendo intacta la barrera del transporte acuoso, no cabría esperar ningún efecto relevante terapéutico de la pequeña cantidad de agua que se absorbe por vía cutánea en el baño.

Por otro lado, se da la circunstancia de que el medio acuoso de la capa córnea tiene una concentración de solutos equivalente a 60 gr/l, por lo que para que puedan pasar las sustancias disueltas en el agua por un mecanismo de transporte no activo de difusión o diálisis, se considera obligado que el agua del baño supere en solutos dicha concentración, lo que rara vez se produce en aguas mineromedicinales (PRATZEL, 1989).

Así, en las aguas mineromedicinales se dan concentraciones de sustancias que, aunque en bebida produzcan cambios en el contenido mineral y acuoso del organismo y provoquen ciertas reacciones fisiológicas, a través de la absorción cutánea parece muy poco probable, según los conocimientos actuales sobre las peculiaridades de la permeabilidad cutánea, que dichos cambios del balance mineral y acuoso tengan lugar en el organismo por la penetración de iones minerales procedentes del agua de la balneación (SAN MARTÍN y SAN JOSÉ, 1989).

En efecto, la concentración de sustancias minerales en gran cantidad de aguas mineromedicinales es demasiado pequeña para que tengan lugar dichos cambios. Precisamente esta circunstancia llevó a PRATZEL (1989), a sugerir una nueva clasificación de las aguas mineromedicinales utilizadas en balneación, basada en las concentraciones límite mínimas para asegurar la penetración a través de la piel.

Algunos de estos valores se recogen en la Tabla 1.

TABLA 1. *Concentraciones mínimas de diversos elementos para atravesar la barrera cutánea por balneación*

<b>Iones</b>	<b>Concentración límite mg/l</b>	<b>Cuota de resorción. nl/cm<sup>2</sup></b>	<b>Absorción por baño sin piel (microgr.)</b>
SODIO	600	169	2.000
POTASIO	700	44	600
CALCIO	300	18	100
MAGNESIO	20	200	80
HIERRO	20	2	0,8
CLORURO	1.000	22	40
FLUORURO	50	20	20
SULFATO	1.000	4	80
IODURO	10	40	8

## 1. MECANISMOS DE ACCIÓN DE LAS AGUAS CLORURADO SÓDICAS HIPERTÓNICAS O «SOLE»

Las aguas cloruradas sódicas son aquellas cuyo contenido total en iones cloruro y sodio sobrepasa el gramo por litro (>1 g/l).

Dentro de ellas destacan, según la nomenclatura alemana, las conocidas como aguas cloruradas sódicas hipertónicas o «sole», con una mineralización superior a 14 g/l de cloruro sódico, o bien que superen los 5,5 gr/l de ion sodio y 8,5 gr/l de ión cloruro. Esta denominación se acepta como tal en todos los países de nuestro ámbito socio-cultural.

Según AMELUNG y HILDEBRANDT (1985), la cantidad de agua absorbida por la capa córnea del organismo sometido a balneación en este tipo de aguas salinas e hipertónicas es menor que si se tratase de agua corriente.

Se ha comprobado que, además de quedarse la piel recubierta de un manto salado, el baño en aguas «sole» produce, ya desde los primeros minutos del baño, un paso al *stratum disjunctum* de la capa córnea de los iones sodio y cloruro, así como de otros iones que los acompañan en dichas aguas.

La disminución de la cantidad de agua que se pierde o eluye a través de la piel recubierta de sal tras un baño en este tipo de aguas minero-medicinales, hace que la evaporación del agua cutánea disminuya, lo que conduce a un aumento de la temperatura cutánea en comparación con un baño de agua corriente.

Asimismo, por el efecto osmótico de estas aguas hipertónicas se produce una elución aumentada de sustancias que componen los tegumentos. Tal es el caso del ácido 4(5)-imidazolacril, producto de desecho de la histidina (a través de la acción enzimática de la histidasa) que se encuentra en el sudor humano, considerándose fotoprotector por absorber los rayos ultravioleta solares y como resultado de su elución se produce un aumento de la sensibilidad cutánea a los rayos ultravioleta (SAN JOSÉ ARANGO, 1997).

Además, el baño osmótico en una solución salina hipertónica modifica el contenido tisular cutáneo a través de dicha elución aumentada. Así, la elución del tejido córneo en un baño con una solución salina del 10 por 100 de concentración es cerca de 1,8 veces mayor en comparación con la que produce el agua dulce.

A través de la experimentación animal se observan cambios en las mitocondrias celulares que conducen a una reacción catabólica de las proteínas de la capa granulosa cutánea tras la aplicación tópica de este tipo de aguas (PRATZEL, 1991).

Experimentalmente, *in vitro*, en escamas de capa córnea se consigue una isotonía, es decir, una igualdad de presión osmótica entre los dos fluidos, el almacenado en la capa córnea y el del agua del baño, con una solución del agua del baño de una concentración de aproximadamente el 25 por 100 de sal común. Con esta concentración la queratina no absorbería más agua.

Sin embargo, en condiciones experimentales *in vivo*, se produciría un equilibrio entre la absorción de agua y la elución por la piel intacta con una concentración

aproximada del 6 por 100 de sal común en el baño. Los baños hipertónicos deben contener, por tanto, tal cantidad de sales minerales de forma que la presión osmótica sobrepase el 6 por 100 de sal común. Sólo entonces penetraría agua del baño a través de la piel (PRATZEL y SCHNITZER, 1987) (PRATZEL, 1989).

Por otra parte, diversos autores han demostrado que el tratamiento con baños de aguas «sole» produce una serie de estímulos cutáneos que conllevan una serie de reacciones vegetativas que actuarían sobre las funciones de diversos sistemas orgánicos. Se ha hablado siempre de ellas como «inespecíficas», entendiéndose por ello que el tratamiento con esta clase de aguas produciría unos estímulos inespecíficos que llevarían a unos cambios constitucionales del organismo que deben de tenerse en cuenta como tales (SAN JOSÉ ARANGO, 2001).

Así, destacaríamos un incremento de la secreción corticosteroidea y del metabolismo del nitrógeno, un efecto normalizador del tono neurovegetativo y del aparato circulatorio, así como una disminución de la excitabilidad nerviosa y, en su conjunto, indicios de una mejora en la regulación trófica del sistema vegetativo.

Cabe destacar que los baños «sole» estimulan y prolongan la eritropoyesis, producida por los climas de altitud, es decir, aumenta el proceso de formación de los glóbulos rojos de la sangre en la médula ósea. También se produce, tras una serie de baños de este tipo, un aumento significativo de la fosfatasa alcalina en el suero del agüista (AMELUNG y HILDEBRANDT, 1985).

## 2. MECANISMO DE ACCIÓN DE LAS AGUAS CARBOGASEOSAS

Desde un punto de vista meramente fisiológico, y partiendo de la base de que el  $\text{CO}_2$  es un producto de desecho del catabolismo normal del organismo que se elimina por los pulmones, su contenido orgánico está sometido a un proceso de regulación extraordinariamente estricto. Los quimiorreceptores, encargados de la vigilancia de la presión de  $\text{CO}_2$ , se encuentran en los tejidos (músculatura), en segmentos del sistema cardiovascular central, así como en el sistema nervioso central y posibilitan los sistemas de compensación graduales de rendimiento de la irrigación tisular (reflejo nutricional), de la circulación, de la respiración y la regulación química del mecanismo ácido-base.

La concentración límite tóxica para la inhalación de aire mezclado con  $\text{CO}_2$  varía según los individuos. En sujetos sanos, concentraciones de hasta el 10 por 100 producen, tras una corta fase de euforia, una intensa hiperventilación, sensación de angustia y alucinaciones. A mayor concentración aparece entumecimiento de la musculatura y pérdida de conciencia y a partir del 40 por 100 pueden causar la muerte. Como sobre la superficie de los baños carbogaseosos se pueden alcanzar concentraciones de  $\text{CO}_2$  que oscilan del 2-4 por 100 hasta el 25 por 100, es importante tomar medidas especiales para impedir la inhalación del aire conteniendo  $\text{CO}_2$  en los baños de este tipo, por ejemplo cubriendo la bañera.

En **balneación**, estas aguas están indicadas en el tratamiento de enfermedades cardiocirculatorias. Los efectos primarios característicos de este tipo de aguas, por vía tópica, son el resultado de una difusión del  $\text{CO}_2$  disuelto a través de la piel.

La mayor parte de la absorción de CO<sub>2</sub> depende de la diferencia de presión parcial entre el agua del baño y la piel y de la irrigación sanguínea de la misma. De esta forma, en un baño completo y sobre una piel isquémica, la cantidad de CO<sub>2</sub> absorbido no sobrepasa los 10 ml/min, mientras que sobre la piel hiperémica puede ascender a más de 80 ml/min. El término medio, es decir, lo más corriente en baños de aguas carbogaseosas es una absorción de aproximadamente 30 ml/min/m<sup>2</sup> de superficie corporal (PRATZEL y SCHNIZER, 1992).

Estas cantidades de CO<sub>2</sub> absorbidas por balneación a través de la piel son demasiado pequeñas para producir efectos locales o centrales significativos. Pero la inhalación del CO<sub>2</sub> procedente del agua del baño sí puede producir efectos indeseables, especialmente al comienzo del mismo. Para impedir éstos, el paciente debe introducirse en el baño de forma que la boca y la nariz queden por encima del borde de la bañera, quedando así el CO<sub>2</sub>, que es más pesado, a un nivel más bajo. Mayor seguridad ofrece una cubierta de plexiglás con la forma del cuello (AMELUNG y HILDEBRANDT, 1985).

Los efectos locales del CO<sub>2</sub> absorbido sobre la piel se hacen visibles a los pocos minutos de la inmersión, tomando la superficie cutánea un color rojo claro, que se mantiene localizado en las partes sumergidas y que es debido a un aumento local de la irrigación sanguínea.

A nivel microscópico tiene lugar una ampliación en el número de capilares sanguíneos y un aumento importante de la velocidad del flujo sanguíneo capilar. También existen indicios de una dilatación en la resistencia de los vasos arteriolares, así como de los plexos venosos cutáneos. El mecanismo íntimo de este incremento en la vascularización cutánea periférica no se ha establecido todavía, no sabiéndose con certeza si es debido a la actuación del CO<sub>2</sub> sobre reflejos axónicos o bien por la acción de acetilcolina, histamina y otras sustancias vasoactivas que se liberarían. La irrigación sanguínea de la musculatura no se altera, lo cual pone de manifiesto la limitación de los efectos hiperémicos de las aguas carbogaseosas a la superficie cutánea periférica con la que entran en contacto. Por la gran capacidad de almacenamiento de la piel, este efecto hipervascularizante cutáneo podría considerarse como una «autotransfusión sanguínea a la superficie corporal» (SAN JOSÉ ARANGO, 1996).

Las reacciones de compensación orgánicas se llevan a cabo mediante una disminución en la irrigación del territorio esplácnico, así como un aumento en el volumen de sangre circulante y disminución de la viscosidad sanguínea.

Aunque el volumen minuto cardíaco, sobre todo inicialmente, asciende en un 30-50 por 100, de igual forma que en los baños termoindiferentes en agua corriente, el efecto reductor del CO<sub>2</sub> sobre la resistencia circulatoria periférica produce una disminución gradual de la tensión arterial tanto sistólica como diastólica (AMELUNG y HILDEBRANDT, 1985).

La frecuencia cardíaca experimenta una reducción en los baños carbogaseosos. Esta bradicardia se debería posiblemente al enfriamiento del nódulo sinusal como consecuencia del descenso de la temperatura sanguínea.

Así, los baños carbogaseosos termoindiferentes producen un enfriamiento del organismo. El CO<sub>2</sub> actúa específicamente sobre los termorreceptores cutáneos dis-

minuyendo la sensibilidad de los receptores al frío y aumentando la de los receptores al calor.

La reducción de las aferencias nerviosas cutáneas al frío sería la responsable del descenso de la temperatura indiferente o de confort del organismo aproximadamente en 21° C.

Las indicaciones fundamentales de estos baños son la hipertensión esencial y la insuficiencia coronaria crónica, así como las arteriopatías obliterantes y los procesos ateromatosos periféricos (ARMIJO y SAN MARTÍN, 1994).

### 3. MECANISMOS DE ACCIÓN DE LAS AGUAS SULFURADAS

El azufre es uno de los elementos fundamentales para la vida. Una carencia extrema de este elemento puede producir la muerte en plantas, animales e incluso en el hombre, pero el extremo contrario, es decir, demasiado azufre, puede resultar venenoso.

El azufre ha sido utilizado como remedio terapéutico en diversos campos de la medicina desde tiempos remotos. Una de estas aplicaciones es la balneoterapia con aguas sulfuradas.

Las formas de azufre que aparecen en el agua, dependiendo del pH y la temperatura, son las de hidrógeno sulfurado ( $\text{SH}_2$ ), es decir, como molécula no disociada en forma reducida (valencia  $-2$ ) y que confiere a estas aguas un característico olor a huevos podridos, como ion  $\text{SH}^-$  de igual grado de oxidación que el anterior, como sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) con valencia  $+6$  y como sulfitos ( $\text{SO}_3^{2-}$ ), con valencia  $+4$  (ARMIJO, 1990). También se puede encontrar el azufre en las aguas mineromedicinales en forma de tiosulfatos ( $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ), con un estado de oxidación de  $+2$ , e incluso en su forma elemental ( $\text{S}_8$ ) con un grado de oxidación nulo, en menor proporción, dependiendo así mismo del pH y la temperatura.

En las aplicaciones periódicas de los baños de azufre en una cura balnearia se producen sobre todo efectos normalizadores.

Así, en los pacientes con eczema crónico, reumatismo articular crónico y enfermedades circulatorias crónicas diversas se puede observar la normalización de la función capilar tras la balneoterapia sulfurada. La mejora de la circulación cutánea y sobre todo de la circulación de las extremidades se aprecia en los trastornos vasculares y heridas, así como después de amputaciones (SCHNIZER, 1985, 1988, 1989).

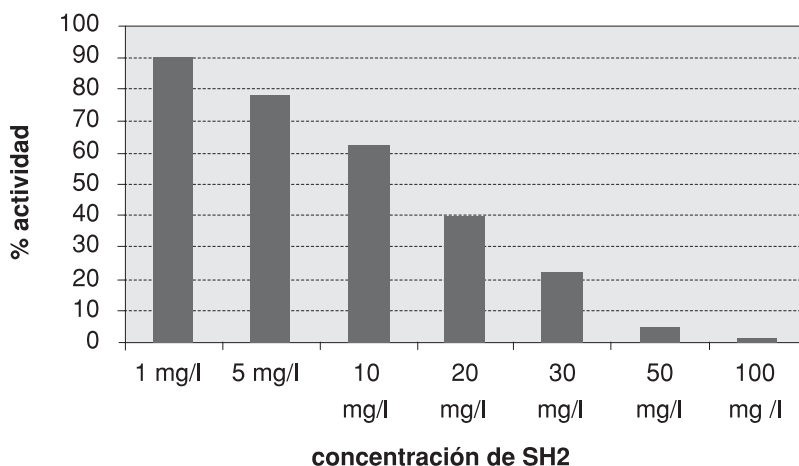
El descenso de la presión sanguínea que tiene lugar en el transcurso de las curas de baños sulfurados afecta tanto a la presión sistólica como a la diastólica tanto más cuanto más hipertónicos sean los baños. En los países de la antigua URSS es la hipertensión arterial una indicación primordial para los baños sulfurados (PRATZEL, 1990).

Por otra parte, la acción antiflogística de los baños con aguas sulfuradas es conocida desde hace tiempo, y precisamente el intento de descifrar el mecanismo íntimo de tal acción, ha llevado al Profesor PRATZEL, ex-Presidente de la Sociedad Inter-

nacional de Hidrología Médica y con quien he tenido la oportunidad de trabajar en el Instituto de Hidrología y Climatología Médicas de la Universidad Ludwig-Maximilian de Munich (Alemania), a realizar interesantes estudios sobre el efecto en la piel, primero de cerdos y posteriormente en humanos de todas las formas oxidadas del azufre a diversas concentraciones. De estas investigaciones cabe destacar que sólo los baños con hidrógeno sulfurado en concentraciones de 1 a 100 mg/l provocan una reacción inhibitoria de las células de Langerhans, que son células inmunocompetentes cutáneas de primer orden (ARTMANN y PRATZEL, 1987).

Concentraciones inferiores de hidrógeno sulfurado muestran una menor inhibición de dichas células, a la par que cantidades más elevadas las hacen desaparecer en su mayor parte. Así, con 20 mg/l se bloquean el 50 por 100 de las células de Langerhans de la epidermis (PRATZEL, BÜHRING, EVERS, 1990).

## INHIBICIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LAS CÉLULAS DE LANGERHANS



El hecho de que el número de estas células esté elevado en procesos inflamatorios cutáneos debido posiblemente a una activación de la respuesta inmune orgánica, explicaría el efecto terapéutico muy favorable de la balneoterapia con aguas sulfuradas en afecciones dermatológicas como las dermatitis atópicas y distintos procesos alérgicos cutáneos (PRATZEL, 1995).

Asimismo, cabe destacar la acción queratolítica del azufre, proveniente de la formación de átomos de polisulfitos en los puentes de unión cistínicos de la queratina cutánea, que producen una disminución de su estabilidad (SAN JOSÉ ARANGO, 2001).

Este efecto local lleva al almacenamiento de un depósito de azufre en la piel, lo cual se comprueba hasta un periodo de tiempo máximo de 20 horas, en el interior de las células de estrato granuloso cutáneo (SAN JOSÉ ARANGO, 2001).

El hidrógeno sulfurado penetra por las paredes celulares cien veces más rápidamente que el oxígeno (PRATZEL, 1995).



La penetración de hidrógeno sulfurado es proporcional a su concentración en el agua del baño, hasta aproximadamente 200 mg/l (PRATZEL y SCHNIZER, 1992).

Por otra parte, el radical sulfhidrido tiene una actividad específica estimulante de la regeneración epitelial. Pero cuando la reacción local es alcalina, el hidrógeno sulfurado desarrollado puede transformarse en sulfuro alcalino, dando lugar a una acción queratolítica del estrato córneo. Se ha demostrado también que a pH 7, el 50 por 100 del azufre marcado radiactivamente se encuentra en forma de hidrógeno sulfurado absorbible, a pH 6 es el 90 por 100 y a pH 5 todo el azufre radiactivo se encuentra en forma de hidrógeno sulfurado libre. Por lo tanto, los baños sulfurados son más efectivos en un medio ácido. Esto ocurre naturalmente en pequeña proporción por los componentes ácidos de la capa córnea cutánea.

El azufre actúa, por tanto, sobre la piel como reductor por sustracción del oxígeno. Esta acción se ejercita por medio de los vasos sanguíneos. Microscópicamente el eritema producido por las aguas sulfuradas se manifiesta como hiperemia a nivel capilar, con una proliferación y apertura de los capilares de reserva. Además, habría una liberación de sustancias vasoactivas (acetilcolina, histamina, sustancias H y peptonas) (PRATZEL y SCHNIZER, 1992) (RAMÍREZ y SAN JOSÉ, 2006).

Aunque la reacción de los vasos cutáneos al azufre reducido es indudable, se requieren concentraciones mínimas superiores a 4 mg/l para que la respuesta hiperémica cutánea tenga lugar. Así, a partir de 4-10 mg/l de  $\text{SH}_2$  y una temperatura de 32° C los baños sulfurados tienen un efecto hiperémico periférico. Precisamente esta reacción hiperémica constituye el test más sencillo para comprobar la concentración mínima de  $\text{SH}_2$  terapéuticamente efectiva en balneoterapia (PRATZEL y ARTMANN, 1990).

Por otra parte, el intercambio de carbohidratos cutáneo se ve influenciado por los baños de azufre. En sujetos sanos el contenido de azúcar cutáneo, es decir, la suma de la sustancia reductora de la piel, representa solo aproximadamente el 50 por 100 del contenido de azúcar de la sangre. En enfermos con forunculosis o eczema exudativo se ha comprobado que estos valores, que al principio de la cura estaban elevados al doble del valor que tenían en individuos sanos e incluso se elevaban hasta cuatro veces, se normalizaban completamente al final de la cura. Por el contrario, se ha confirmado que los baños de agua dulce no tienen ninguna influencia en el contenido de azúcar de la piel y que los baños clorurado-sódicos «sole» producen incluso una elevación de estos valores. El efecto de los baños de azufre se traduciría en una elevación del potencial redox, como consecuencia del enriquecimiento cutáneo de cuerpos sulfhidridos. Por todo ello, una indicación típica de estas aguas es el acné (PRATZEL y SCHNIZER, 1992).

Los efectos terapéuticos del tratamiento con aguas mineromedicinales sulfuradas en la poliartritis crónica se deben a la influencia de éstas en la regulación de metabolismo mesenquimal y conducen a efectos normalizadores. Los condroitín sulfatos son los elementos fundamentales del cartilago articular y del tejido conectivo y se renuevan en un tiempo medio de alrededor de dos semanas. La incorporación del azufre en la condroitina se lleva a cabo mediante un ácido azufrado activo. El gradiente de esta incorporación se incrementa en los casos de reparación tisular y en las inflamaciones locales (PRATZEL, 1995).

#### 4. MECANISMOS DE ACCIÓN SOBRE EL ORGANISMO DE LAS AGUAS RADIATIVAS

En la balneoterapia radiactiva se utiliza la radiación alfa del radón<sup>222</sup>. Este elemento es un gas y proviene de la desintegración radiactiva del radio<sup>226</sup>. El propio radio no se emplea médicamente en balneoterapia.

La absorción percutánea de radón y sus productos de desintegración han sido estudiadas por diversos investigadores en ratas y humanos. Tras un baño de 20 minutos permanece en la totalidad de la superficie cutánea una concentración activa del 20-30 por 100 de la concentración del agua del baño. En otros órganos distintos a la piel (menos en el tejido adiposo) la concentración permanece de 20 a 200 veces más baja (SCHMIDT, 1989).

El depósito cutáneo de radón se forma tras el baño, con un tiempo medio de 10 minutos, del cual se elimina por la respiración pulmonar el 60 por 100 y el 40 por 100 se difunde desde la capa córnea a la atmósfera circundante. Una pequeña parte del radón absorbido percutáneamente y de sus productos de desintegración se deposita en el tejido adiposo y en algunos órganos, como las gónadas y las cápsulas suprarrenales y se elimina por los pulmones con un tiempo medio de aproximadamente de 50 minutos.

Desde el punto de vista terapéutico, cabe señalar que los baños con aguas radiactivas se han venido usando desde principios de siglo para el tratamiento de diversas enfermedades de orden reumatológico.

La experiencia clínica demuestra que la balneoterapia con este tipo de aguas tiene un marcado efecto analgésico, y en relación con la terapia inespecífica de estímulo-reacción. Se desencadenan entonces una serie de reacciones hormonales en el organismo (PRATZEL y SCHNIZER, 1992).

Hay que señalar que la terapia con radón en forma de baños actúa mediante la radiación alfa sobre las capas externas de la epidermis. El radón se deposita fundamentalmente en la capa córnea. La radiación alfa que de allí procede tiene un radio de acción de hasta 70 microm, por lo que permanece en la epidermis. Las investigaciones sobre la influencia de la radiación alfa sobre las células de Langerhans de la epidermis han sido llevadas a cabo por PRATZEL y ARTMANN (1990). De manera parecida a la balneoterapia sulfurada, mediante la radiación ionizante se verifica una limitación funcional dosis-dependiente de las células de Langerhans epidérmicas. Esta coincidencia es significativa, ya que las indicaciones terapéuticas de la balneoterapia sulfurada y radiactiva son muy parecidas.

La radiación alfa es ionizante, de tal manera que se forman radicales primarios del agua, los cuales reaccionan subsecuentemente con diversas sustancias. El proceso de radiación biológica mediante radiación alfa ha sido descrito por diversos autores. A dosis terapéuticas se consigue una estimulación de los mecanismos de reparación biológica. Se trata de un comportamiento reactivo de las funciones biológicas frente a una pequeña noxa, que a la dosificación correcta lleva a la activación de las propias fuerzas curativas del organismo en determinadas enfermedades, sobre todo aquellas que cursan de forma crónica (SAN JOSÉ ARANGO, 2001).

En este sentido, destacan las investigaciones que se han llevado a cabo en Bad Brambach y Oberschlema, balnearios alemanes de aguas radiactivas, realizadas por el Profesor PRATZEL y cols. (1995).

En el primer caso, se trata de estudios comparativos a doble ciego en pacientes afectados por artritis reumatoidea sometidos, en dos grupos diferenciados, a tratamiento con las aguas del balneario y con aguas carbogaseosas artificiales. Se comparan los efectos terapéuticos en ambos grupos teniendo como parámetro la reducción del dolor articular, la mejora de la funcionalidad y movimiento articular y la reducción de la actividad inflamatoria reumática (REINER, FRANKE, PRATZEL, 1995).

En el segundo caso, se estudian los efectos terapéuticos de las aguas radiactivas de Oberschlema, comparándolas con un placebo en pacientes con el síndrome de dolor cervical.

Los resultados de ambas investigaciones indican una mejora sustancial del dolor articular, tanto en reposo como en movimiento, en los agüistas tratados durante tres semanas con aguas radiactivas (LEGER, BAUMANN, PRATZEL, FRANKE, 1995).

## BIBLIOGRAFÍA

- Amelung, W., Hildebrandt, G. (1985): «Balneologie und medizinische Klimatologie». *Band 2*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Armijo, F. (1990): «El azufre en las aguas mineromedicinales». *Bol. Soc. Esp. Hid. Med.* Vol. V, n.º 13, 38-42.
- Artmann, K., Pratzel, H. (1990): «Immunsuppression der Haut durch Schwefel-Bäder». *Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim.* 16, 170-189.
- Armijo Valenzuela, M., San Martín Baicaicoa, J. (1994): *Curas balnearias y climáticas. Talasoterapia. Helioterapia*. Ed. Complutense, Madrid.
- Gutenbrunner, C., Hildebrandt, G. (1994): *Handbuch der Heilwasser-Trinkkuren*. Ed. Sonntag, Stuttgart.
- Leger, B.; Baumann, K.; Pratzel, H., Franke, Th. (1995): «Wirksamkeitsnachweis von Radonbäder im Rahmen einer kurortmedizinischen Behandlung des zervikalen Schmerzsyndroms». *Health Resort Medicine*. Ed. I.S.M.H. Geretsried, 177-182.
- Pratzel, H. (1982): «Welche Bilanzänderung der Elektrolyte ist durch Baden in heilwässern möglich?» *Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim.* 11, 431-445.
- Pratzel, H., Schnitzer, W. (1987): «Medizinisch orientierte Grenzwerte für Badheilwässer auf der Grundlage von Gesetzmässigkeiten der Hautpermeation». *Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim.* 16, 367-373.
- Pratzel, H. (1989): «Die Bedeutung der Spurenelemente und ihre Wirkung auf das Hautorgan». *Z. Phys. Med. Bal. Med. Klim.* 18, 195-200.
- Pratzel, H.; Büring, M., Evers, A. (1990): *Schwefel in der Medizin*. Ed. Demeter. Gräfelting.
- Pratzel, H. (1990): «Die physikalische Medizin und Kurortmedizin in der USSR - Bericht einer Studienreise» *Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim.* 19, 249-250.
- Pratzel, H., Artmann, K. (1990): «Baños sulfurados y reacciones inmunológicas». *Bol. Soc. Esp. Hidrol. Med.*, vol. V, n.º 1, 26-27.

- Pratzel, H. (1991): «Chemische Wirkungen von Sole und Meerwasser beim Baden». *Thalassotherapie*. Actas del XX Congreso internacional de Talasoterapia. Ed. Grabe. Immenstadt, 49-52.
- Pratzel, H., Schnizer, W. (1992): *Handbuch der Medizinischen Bäder*. Ed. Haug. Heidelberg.
- Pratzel, H. (1995): *Sulfur in health resort medicine*. Ed. I.S.M.H. Geretsried.
- Ramírez, A., San José, C. (2006): «Azufre en la naturaleza». Vol. 10, n.º 2 de *Anales de la Real Academia de Doctores de España*, 533-546.
- Reiner, L.; Franke, Th., Pratzel, H. (1995): «Zur klinischen Wirksamkeit von Radonbädern bei Rheumatoid Arthritis». *Health Resort Medicine*. Ed. I.S.M.H. Geretsried.
- San José Arango, C. (1996): *Balnearios y Curhoteles andaluces*. Ed. Turismo Andaluz, S. A. Junta de Andalucía.
- San José Arango, C. (1997): *Chiclana y su balneario*. Ed. Cajasur, Córdoba.
- San José Arango, C. (2000): *Guía Médica de los Balnearios de España*. Ed. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
- San José Arango, C. (2001): *Hidrología médica y terapias complementarias*, 1.ª reimpresión. Ed. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
- San José Arango, C. (2004): *Curhoteles: el turismo de salud*. Ed. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
- San Martín y San José (1989): «Paso a través de la piel de las aguas mineromedicinales utilizadas en balneación». *Bol. Soc. Esp. Hid. Med.* Vol. IV, n.º 1, 27-32.
- Schmidt, K. L. (Hrsg.), (1989): *Kompndium der Balneologie und Kurtortmedizin*, Steinkopff Verlag. Darmstadt.
- Schnizer, W. (1985): «Physikalisch-medizinische Behandlungsverfahren bei Patienten mit chronisch-venöser Insuffizienz». *Theraphiewoche* 35, 3359-3361.
- Schnizer, W. (1988): «Physikalische Therapie bei der peripheren arteriellen Verschlusskrankheit: Thermo- und Hydrotherapie». *Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim.* 17, 275-276.
- Schnizer, W. (1989): «Physikalische und balneologische Therapie bei peripheren arteriellen Durchblutungsstörungen», en Schmidt, K. L.: *Kompndium der Balneologie und Kurortmedizin*. Ed. Steinkopff. Darmstadt, 359-367.