

- González Soutelo S (2007). En los orígenes de los balnearios, spas y centros de talasoterapia. Los establecimientos termales en el mundo antiguo. Parte II. *Tribuna Termal*, 6:34-9.
- González Soutelo S (2008). Los baños de agua de mar en el mundo antiguo: Una propuesta de estudio. *Gallaecia*, 27:227-41.
- González Soutelo S (en prensa). Spas in the Roman Age: Characteristics and use of establishments with mineral medicinal water. *Medicine in the Ancient Mediterranean World. International Congress 27-29 Sept 2008 (Nicosia, Cyprus)*. Chipre.
- González Soutelo S (en prensa). La configuración arquitectónica de los balnearios de aguas mineromedicinales en época romana: Una propuesta de estudio. *Bollettino di Archeologia On-line*. Roma.
- González Soutelo S (en prensa). Thermal spas in the Roman Age: An approximation to the architectonic configuration of baths with mineral medicinal water in Hispania. *Boersma, International Frontinus Symposium (Aachen, 18-22 March 2009)*.
- González Soutelo S (en prensa). *El valor del agua en el mundo antiguo. Sistemas hidráulicos y aguas mineromedicinales en el contexto de la Galicia romana*. Colección Galicia Histórica. Fundación Pedro Barrié de la Maza. A Coruña.
- Mora G (1981). Termas romanas en Hispania. *A.E.Arq.*, 54:37-90.
- Mora G (1992). La literatura médica clásica y la arquitectura de las termas medicinales. *Espacio, Tiempo y Forma. Serie II, 5, Hª Antigua*. T. V, 121-32.
- Oro Fernández MC (1993). *Aguas mineromedicinales y balnearios de la Hispania romana. Aspectos médicos, funcionales y religiosos. Tesis Doctoral Inédita*. Valencia.
- Oro Fernández MC (1996). Balneario romano: aspectos médicos, funcionales y religiosos. *Balneario romano y la Cueva negra*. Murcia: 23-151.
- Oro Fernández MC (1997). Aguas mineromedicinales en la medicina de la antigüedad. *Termalismo antiguo. I Congreso Peninsular (La Rioja, 1996)*. Madrid: 229-34.
- Pérex Agorreta MJ (ed) (1997). *Termalismo antiguo. I Congreso Peninsular (Arnedillo, La Rioja. 3-5 Octubre 1996)*. Casa de Velázquez-UNED. Madrid.
- Pérex Agorreta MJ, Bazzana A (coord.) (1992). *Termalismo antiguo. Actas de la mesa redonda. Aguas mineromedicinales, termas curativas y culto a las aguas en la Península Ibérica (Madrid, 28-30 Noviembre 1991)*. ETF, Historia Antigua. Serie II, 5. Madrid.
- Rodríguez Míguez L (1993). *Termalismo en Galicia: Evolución histórica. Tesis Doctoral de Medicina*. Santiago de Compostela.

Las aguas termales de Galicia

PA. Araujo-Nespereira, JA. Cid-Fernández, I. Delgado-Outeiriño, JA. Rodríguez-Suárez, B. Soto

Grupo de Investigación "Geotermia e Hidrogeología". Facultad de Ciencias de Ourense. Universidad de Vigo

Introducción

El potencial hidromineral de la comunidad autónoma de Galicia es uno de los más representativos de toda España, con 18 balnearios activos y más de dos centenares de afloramientos de agua minero-medicinal y termal sin aprovechamiento en todo su territorio. Según los datos del Instituto Geológico-Minero de España del año 2006, 83.647 agüistas utilizaron terapéuticamente las instalaciones balnearias de esta comunidad, ocupando

el segundo lugar en uso por detrás de Cataluña (143.774). Ese mismo año, Galicia envasó para su comercialización 360 millones de litros de Agua Mineral.

Los sistemas hidrotermales gallegos

Galicia se encuentra, geológicamente hablando, dentro del Macizo Hercínico (mitad occidental de la Península Ibérica), caracterizado por un substrato litológico de tipo ígneo (granitos) y metamórfico. Los materiales detríticos sedimentarios se concentran en el curso de los grandes ríos gallegos o como rellenos terciarios de fosas tectónicas (A Limia, Terra Cha...).

La permeabilidad hidráulica de este tipo de materiales cristalinos se desarrolla a favor de la intensa red de fracturación que cuarteó el *Antepais Ibérico* (Norte-Sur; NW-SE) y que han sufrido una reactivación importante en tiempos recientes (De Vicente, *et al.*, 2004). Dentro de este modelo geológico, se desarrollan dos modelos de circulación de agua subterránea: flujo superficial y flujo profundo. La circulación profunda (1500-2500 m) y en periodos prolongados (6.000 - 10.000 años) del agua de lluvia a través de las fracturas del subsuelo, provoca su calentamiento (95-100 °C en profundidad) y una importante mineralización de las mismas. El agua aflora de nuevo en zonas topográficamente más bajas (usualmente en las riberas o incluso dentro de los cauces de los ríos) que la zona de recarga, impulsada por la propia carga hidrostática dentro del circuito y la presión de vapor que se alcanza en las zonas de almacén. La temperatura de surgencia es función de la temperatura máxima alcanzada, la velocidad de ascenso por la red de fracturas y la más que probable mezcla con aguas superficiales frías en los últimos tramos de su recorrido. Esto clasifica a los yacimientos geotérmicos gallegos dentro del rango de media-baja entalpía, cuyas posibilidades de aprovechamiento pasan por el uso directo del agua termal desde el punto de vista terapéutico (balnearios), industrial (envasadoras) o energético (uso directo mediante intercambio del calor subterráneo). La energía térmica disponible en los diferentes yacimientos gallegos es insuficiente para la generación eléctrica de manera económicamente rentable con las tecnologías que existen actualmente en el mercado, si bien existen ciertos ciclos binarios en fase experimental que podrían permitir el pensar en este tipo de uso en un futuro no muy lejano.

Las áreas geotérmicas gallegas de mayor temperatura, o potencial energético, se concentran principalmente en la provincia de Ourense (Baños de Molgas-Ourense Ciudad-O Carballiño), destacando la localidad de Lobios con temperaturas de afloramiento de 77,1°C, la más alta de España.

Hidroquímica de las aguas termales gallegas

La composición mineralógica de las aguas minerales es el resultado de la combinación de las características litológicas de los terrenos que atraviesan, del tiempo de contacto entre el agua y la roca, y del tipo de procesos físico-químicos y biológicos que

intervengan a lo largo de su recorrido subterráneo. Galicia, con un substrato litológico de tipo ígneo (granitos) y metamórfico, posee aguas termales con una composición química predominante (*facies hidroquímica*) Bicarbonatadas Sódicas, Bicarbonatadas Magnésicas y Cloruradas Sódicas.

Las facies bicarbonatadas sódicas y magnésicas derivan de la hidrólisis de feldspatos-plagioclasas y micas, y, en menor medida, el intercambio catiónico entre el agua y los minerales de la arcilla, y la disolución de carbonatos, halita, yeso y otras sales presentes en el seno de las fracturas. La procedencia del flúor parece estar en la disolución de fluorita o fluorapatito; la de los sulfuros en las piritas. El boro aparece como resultado de la hidrólisis de biotitas. Las aguas termales, cloruradas sódicas, parecen ser el resultado de la mezcla de agua de mar con agua de circulación profunda, que deben su composición tanto a la disolución de sales, como a la hidrólisis de aluminosilicatos como resultado de procesos de interacción con la roca granítica, después de un tiempo de residencia largo, velocidad de flujo más lenta, y, en consecuencia, mayor mineralización del agua. Los iones Ca^{2+} y Na^+ son los cationes dominantes en esta agua profundas (Corral Lledo, 2005).

Marco legislativo de las aguas termales

La Constitución y los Estatutos de Autonomía reconocen la competencia para legislar de las Comunidades Autónomas en materia de aguas minerales. Las aguas minerales, termales y de manantial de la Comunidad Autónoma de Galicia se regulan a través de la *Ley 5/1995 de 7 de Junio de regulación de las aguas minerales, termales, de manantial y de los establecimientos balnearios de la Comunidad Autónoma de Galicia*. Esta Ley establece 3 categorías diferentes basadas en las características físico-químicas de las mismas y su posible uso final. Así, se distinguen Aguas Minerales, Termales y de Manantial. La clasificación de Agua Mineral hace referencia al especial contenido en minerales y oligoelementos de estas aguas, con posibilidades de uso terapéutico (minero-medicinales), uso industrial (minero-industriales) o simplemente naturales (minero-naturales). En cuanto al término termal, este hace referencia al parámetro físico de temperatura de alumbramiento (natural o artificial): si este valor es superior en 4°C a la temperatura media anual del aire del lugar de alumbramiento, y se mantiene constante a lo largo del año, puede adquirirse la condición de Agua Termal. La Ley se desarrolla en el Reglamento aprobado por *Decreto 402/1996 de 31 de Octubre de aprovechamiento de aguas minero-medicinales, termales y de los establecimientos balnearios de la Comunidad Autónoma de Galicia* y su modificación a través del Decreto 116/2001.

La legislación gallega establece una declaración inicial de agua minero-medicinal y/o termal, la cual implica su declaración de utilidad pública, previa al otorgamiento de su aprovechamiento como tal. Para ello, se ha de aportar un completo estudio hidrogeológico del área de afloramiento/s y del agua en sí, con las correspondientes analíticas físico químicas que acrediten la especial composición de las aguas alumbradas

(R.D. 1164/1991). Una vez que el/los manantiales adquieren la distinción de minero-medicinal y/o termal, se dispone de un año para presentar un Proyecto de Aprovechamiento en el que se describan las instalaciones, usos y procesos que se ejecutarán para poner en valor el recurso termal, y la delimitación de un Perímetro de Protección que asegure la sostenibilidad en el tiempo de las propiedades del agua y del circuito termal.

El yacimiento geotérmico, como cualquier otro punto de su entorno, no es un sistema aislado del medio donde se manifiesta. La circulación de fluidos calientes cede energía, genera la precipitación de nuevos minerales, aumenta la degradación de los planos de fractura de la litología que atraviesa y sufre mezclas con aguas frías superficiales. Es necesario preservar intactas la características originales del agua profunda, las de mayor tiempo de residencia en el subsuelo, que difieren sustancialmente de las aguas superficiales. El Perímetro de Protección establece la prioridad de preservar el recurso termal mediante la restricción de actividades en el entorno que pudiesen perjudicar el acuífero (zona de recarga y zona de descarga) y el aislamiento físico de la surgencia termal en aquel tramo que pueda ser afectado por la dinámica de los acuíferos superficiales y los vertidos antrópicos.

Usualmente, la ejecución de captaciones termales protegidas mejora los parámetros de composición, temperatura y caudal respecto a los afloramientos termales del entorno al extraer directamente del agua desde el interior de la roca, minimizando la influencia del entorno.

Para delimitar los Perímetros de Protección, la legislación gallega prescribe la aplicación del tiempo de tránsito, que define como: "*el tiempo que transcurre entre la entrada de una sustancia en el seno del acuífero y su extracción por la captación*" (Ley 5/1995, art. 13.2) estableciendo 3 zonas de diferente protección alrededor de la/s captación/es:

- Zona de restricciones máximas con tiempo de tránsito de 24 horas, y con la misión de proteger frente a vertidos o infiltración directa sobre la captación.
- Zona de restricciones medias con tiempo de tránsito de 50-60 días, y con la misión de proteger totalmente contra la contaminación microbiológica y permitir la eliminación y dilución de otros contaminantes o, al menos, para posibilitar una alerta con antelación suficiente.
- Zona de restricciones mínimas con tiempo de tránsito de 10 años, y con la misión de proteger frente a contaminantes de larga persistencia (metales pesados, hidrocarburos...). Se contempla con un plan de control de calidad del agua subterránea.

Para cada zona, la ley adjunta un listado de actividades prohibidas y condicionadas. En la práctica, la aplicación de estos criterios resulta complicada. Determinar el tiempo de tránsito en un sistema fisural en el que la permeabilidad hidráulica no es homogénea requiere de un estudio hidrogeológico de la captación y su entorno. Es habitual generalizar los datos obtenidos en los terrenos del promotor del aprovechamiento como representativos de todo el área, resultando perímetros de protección de mucha extensión que engloban otras surgencias de su entorno,

sin la certeza técnica de que existe una conexión hidráulica entre estas y el manantial a proteger.

Sin embargo, estos instrumentos de protección resultan poco efectivos máxime cuando la gestión de la hidrología superficial y la profunda dependen de organismos diferentes (Servicios autonómicos de recursos mineros y Confederaciones Hidrográficas), y los planes de Cuenca aprobados no recogen los perímetros de protección de las aguas geotérmicas, con lo que se suceden situaciones de propietarios privados que perforan indiscriminadamente en el entorno de un aprovechamiento termal.

Métodos de aprovechamiento de yacimientos geotérmicos de media-baja temperatura

Los recursos geotérmicos se definen como "...aquella parte accesible del recurso base que podría ser explotada económicamente y legalmente en un tiempo futuro definido" (Muller, 1978). Generalmente se identifica el recurso con el fluido geotérmico (agua termal) cuando en realidad son dos recursos económica y legalmente explotables: el agua y la energía calorífica que posee.

El aprovechamiento de los yacimientos gallegos se centran casi única y exclusivamente en el uso directo del agua termal en instalaciones balnearias, explotando las propiedades terapéuticas que estas aguas poseen en función de su especial composición. En ocasiones, y si caudal y temperatura del manantial así lo permiten, se utilizan las aguas para calefactar las instalaciones del propio balneario o para generar agua caliente sanitaria por medio del intercambio de calor.

Con las características físicas de los yacimientos gallegos, los usos energéticos posibles pasan por utilizar el calor aprovechable para calefacción, bien mediante el bombeo directo de fluido termal a un intercambiador o de manera indirecta a través de pozos de intercambio en circuito cerrado. Este segundo método se basa en colocar en pozos perforados en el área termal, un circuito de tuberías por las que circula agua en circuito cerrado, logrando captar el calor geotérmico del fluido termal sin la necesidad de extraer la fase líquida, que puede ser aprovechable para otros usos adyacentes.

Los aprovechamientos terapéuticos y energéticos de un mismo yacimiento termal son totalmente compatibles siempre y cuando no se sobrepasen los límites hidráulicos y energéticos del sistema termal. El estudio del yacimiento de manera conjunta permitirá redactar un Plan Director que establezca sus límites y ordene los aprovechamientos bajo criterios de sostenibilidad del conjunto. Si las captaciones se realizan con la debida cautela y bajo una dirección facultativa especializada, el agua termal conservará íntegramente su calidad mineralógica, caudal y temperatura. Además, el control continuo de las diferentes captaciones representa el mejor método de gestión del yacimiento termal, pues se dispondrán de datos en tiempo real del comportamiento del acuífero en diferentes puntos del mismo, permitiendo actuar de manera rápida y precisa si se produce cualquier incidencia

externa (vertidos, riadas, obras...) que pudiesen amenazar las captaciones termales.

En calefacción residencial (incluyendo edificios públicos), el intercambio de energía de forma directa con aguas termales es técnicamente viable siempre que la temperatura de la misma sea superior a 43-45°C y la productividad del acuífero sea suficiente (caudal máximo que evite la sobreexplotación). Se trata del método de aprovechamiento más eficiente, con bajo coste de instalación y mantenimiento, si bien se han de prever los costes derivados de la eliminación del agua termal extraída del acuífero si no se planifican otros usos posteriores. La reinyección del caudal en el acuífero no es aconsejable si existen aprovechamientos balnearios próximos. Los recursos termales con temperaturas menores a 43-45°C son aprovechables para el calentamiento de invernaderos, acuicultura, jardinería, procesos industriales con bajas necesidades caloríficas (precalentamientos, secado...), etc.

Pero incluso cuando la temperatura del yacimiento termal es inferior a 40°C, es posible utilizar el intercambio geotérmico para la calefacción de espacios en superficie. Es el caso del Campus Universitario de Ourense, situado al Este de la ciudad, con temperaturas en el subsuelo de 25°C. El uso directo del calor geotérmico para calefacción no es aplicable en este caso, sin embargo, utilizando un equipo de bomba de calor agua-agua, se ha podido climatizar la Unidad Administrativa (340 m²) con ahorros del 60-70% respecto al sistema sustituido.

Los sistemas de bombas de calor geotérmicas (geotermia de muy baja temperatura), aplicables incluso en lugares sin anomalía geotérmica, representan una alternativa real a los sistemas de calefacción basados en combustibles fósiles, e inician su expansión en el estado español después de los buenos resultados obtenidos en las dos últimas décadas en el Norte de Europa y Estados Unidos. La Unión Europea ya reconoce estos sistemas como energía renovable, y recomienda su uso como método para alcanzar los objetivos de reducción de consumo energético y emisiones de gases con efecto invernadero en el territorio de la Unión.

Bibliografía

- Corral Lledó, González Fernández, Muñoz Pascual (2006). Hidrogeoquímica de las Aguas Minerales de Galicia. Congreso de Oviedo.
- De Vicente G, Vegas R, Guimerá J, Muñoz-Martín A, Casas A, Cloetingh S, Álvarez J (2004). Estructura Alpina del antepaís Ibérico. En: Vera JA (ed). *Geología de España*. Sociedad Geológica de España; IGME;585-630.
- Decreto 406/1996, Reglamento de aprovechamiento de aguas mineromedicinales, termales e dos establecementos balnearios da Comunidade Autónoma de Galicia. *Diario Oficial de Galicia* nº 226 de 19 noviembre 1996.
- Decreto 116/2001, de 10 de mayo, por el que se modifica el Decreto 402/1996, de 31 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de aprovechamiento de aguas minero-medicinales, termales y de los establecimientos balnearios de la Comunidad Autónoma de Galicia. *Diario Oficial de Galicia* nº 102 de 10 mayo 2001.
- Ferrero A (2003). *Galicia: Geología y Recursos Hidrominerales*. Inst. Geológico y Minero de España.
- Baeza Rodríguez-Caro J, López Geta JA, Ramírez Ortega A (2001). *Las Aguas Minerales en España*. I.G.M.E.

- I.T.G.E (2004). *Estudio de la relación entre los componentes físico-químicos de las aguas minerales y las características geológicas de Galicia*. Consellería de Innovación, Industria y Comercio de la Xunta de Galicia e Inst. Geológico y Minero de España.
- I.T.G.E (1996). *Guía para la Elaboración de Perímetros de Protección de las Aguas Minerales y Termales*.
- Ley 3/2008 de 23 de Mayo de Ordenación de la minería de Galicia. *Diario Oficial de Galicia* nº 109 de 6 de junio 2008
- Ley 5/1995 de 7 de Junio de regulación de las aguas minerales, termales, de manantial y de los establecimientos balnearios de la Comunidad Autónoma de Galicia. *Boletín Oficial del Estado* nº 173, de julio 1995.
- Xunta de Galicia (1995). *Las Aguas Minerales en Galicia*. Consellería de Industria y Comercio de la Xunta de Galicia.
- Muffler P, Cataldi R (1978). Methods for regional assessment of geothermal resources. *Geothermics*, 7:53-89.
- Sánchez-Guzmán J, García de la Noceda-Márquez C (2005). Geothermal energy development in Spain – country update report. En: *Procedimientos World Geothermal Council* 2005.

Docencia e investigación en Hidrología Médica

J. Teijeiro Vidal

Catedrático de Radiología y Medicina Física de la Universidad de A Coruña. Facultad de Ciencias da Saúde.

Correspondencia: J. Teijeiro Vidal. Facultad de Ciencias da Saúde. Campus de Oza. 15071 A Coruña. E-mail: jtv@udc.es

Se analiza la situación de la Hidrología Médica en los antiguos planes de estudio de Licenciado en Medicina y Cirugía, en la Universidad de A Coruña desde su creación en 1989, las consecuencias de la implantación del Espacio Europeo de Educación Superior (conocido como Proceso de Bolonia), la docencia de Grado y Postgrado (Máster Universitario); y analizar las posibilidades de investigación en Hidrología Médica en Galicia.

Docencia oficial en los estudios de Licenciado en Medicina y Cirugía 1945-1975

Los Planes de Estudios incluían como asignatura la Terapéutica Física en tercer curso, que incluía 2 ó 3 temas de Hidrología Médica, incluyendo las principales aplicaciones e indicaciones y los balnearios españoles de acuerdo con su especialización. Había temas de Climatoterapia y Talasoterapia, Hidrología Médica y Clasificación de las aguas minero-medicinales. Estos contenidos quedan reflejados en los textos de Terapéutica Física de los profesores Zaragoza Puellas (posteriormente Belloch Zimmermann), García Zarandí y Badell Suriol. El desarrollo de las ciencias radiológicas en esas fechas aconsejó un cambio de denominación y ubicación. Pasó a denominarse Radiología y Medicina Física. En los nuevos programas no se incluía ningún tema de Hidrología Médica. Las aplicaciones e indicaciones de la hidroterapia y termoterapia se limitaban a las hospitalarias

propias de los Servicios de Rehabilitación. Ya en 1998, en algunas Universidades, se han vuelto a incluir temas de Hidrología Médica, como aparece reflejado en el texto de Martínez Morillo, Pastor Vega y Sendra Portero.

Docencia de la Hidrología Médica en la Universidad de A Coruña

La Ley de Ordenación del Sistema Universitario de Galicia (LOSUG) de 1989, crea las Universidades de A Coruña y Vigo, por segregación de la Universidad de Santiago de Compostela.

En la Universidad de A Coruña los estudios de Ciencias de la Salud tuvieron, desde sus comienzos, un importante componente a la formación para la atención a las personas con discapacidad. En 1990 los Planes de Estudios incluyen una asignatura de Hidrología Médica con 4,5 créditos (equivalente a 45 horas).

En 1992 la Universidad de A Coruña creó la Cátedra de Hidrología Médica. Lo que supuso potenciar las actividades docentes, investigadoras y de gestión de esta especialidad.

La Hidrología Médica en el Doctorado en Medicina

La Universidad de A Coruña mostró gran interés en impartir el Doctorado en Medicina. La solicitud, de acuerdo con la legislación vigente, se tramitó con éxito y el Programa de Doctorado en Medicina fue autorizado por la Comisión Académica del Consejo de Universidades el 15 de junio de 1995. A partir del año académico 1996-1997 se incluye el curso de Hidrología Médica en el programa sobre *Medicina Clínica: Avances e Investigación*. Es un curso que tiene una gran demanda por parte de los Licenciados en Medicina y Cirugía. De los 80 nuevos Licenciados que entran cada año, 70 eligen el curso de Hidrología Médica. Lo que supone que unos 900 Licenciados en Medicina que se han formado como Médicos Especialistas en el Área Sanitaria han recibido formación en Hidrología Médica con una aproximación multidisciplinar.

El curso consta de contenidos teóricos y de una estancia en un Balneario de Galicia. Aquí toman contacto con la realidad del termalismo gallego. Conocen las características de sus aguas, las técnicas termales y aspectos multidisciplinarios de la cura balnearia. Como colofón han de realizar un trabajo fin de curso. Muchos de los Balnearios de Galicia contribuyen para facilitar las estancias y ofrecer las técnicas crenoterápicas a los Médicos del doctorado.

El Espacio Europeo de Enseñanza Superior

En la actualidad todas las enseñanzas universitarias han de basarse en las directivas dimanantes del denominado Espacio Europeo de Educación Superior (EEES). Su construcción recibe un impulso decisivo con la Declaración de Bolonia, firmada el 19 de junio de 1999 por Ministros con competencias en Educación