

# Aspectos hidrogeológicos en la definición de perímetros de protección de acuíferos termales fisurales del NW de España

---

Cid-Fernández, J.A., Araujo Nespereira, P.A., Rodríguez Rajo, F.J.  
Facultad de Ciencias de Ourense – Campus Auga. Universidad de Vigo  
[jid@uvigo.es](mailto:jid@uvigo.es)

Cómo citar: Cid-Fernández, J.A., Araujo Nespereira, P.A., Rodríguez Rajo, F.J. (2025). Aspectos hidrogeológicos en la definición de perímetros de protección de acuíferos termales fisurales del NW de España. *REvista de Derecho, Agua y Sostenibilidad (REDAS)*, 10, 1-18.

**SUMARIO:** 1. Introducción. 2. La hidrogeología de los yacimientos termales del NW de España. 3. Condiciones hidrogeológicas de los perímetros de protección en la legislación nacional. 4. Condiciones hidrogeológicas de los perímetros de protección en la legislación autonómica gallega. 5. Criterios hidrogeológicos para la definición de los perímetros de protección de aguas termales. 6. Conclusiones. 7. Bibliografía.

**RESUMEN:** La delimitación de las zonas de protección de manantiales termales se fundamenta en una combinación de criterios hidrogeológicos que tienen por objetivo proteger, en cantidad y calidad, el cuerpo principal del acuífero de posibles afecciones externas. La legislación vigente de aplicación, nacional y autonómica, señala con claridad los estudios necesarios, que varían en función de las características del acuífero termal. El conocimiento del funcionamiento hidrológico del acuífero y el seguimiento de su explotación permitirá delimitar áreas de protección eficaces y con una extensión adecuada. Los yacimientos geotérmicos urbanos como Ourense requieren de una planificación de la explotación y de la protección conjunta, considerando los distintos circuitos termales.

**PALABRAS CLAVE:** Hidrogeología, Agua, Termal, Legislación, Perímetro, Protección.

**ABSTRACT:** Delimitation of protection zones in thermal springs is based on a combination of hydrogeological criteria that aim to protect, in quantity and quality, the main body of the aquifer from external affections. National and Galician regional legislation clearly indicates the

necessary technical studies, which differ according to the characteristics of thermal aquifers. The knowledge of the hydrological functioning of the aquifer and the monitoring of its exploitation will make it possible to delimit effective protection perimeters with a justified extension. Urban geothermal reservoirs such as Ourense require joint exploitation and protection planning, considering the different thermal circuits.

**KEYWORDS:** Hydrogeology, Water, Thermal, Legislation, Perimeter, Protection.

## 1. Introducción

Las aguas minerales, mineromedicinales y termales conforman el Grupo B de los yacimientos minerales y demás recursos geológicos que regula la Ley 22/1973 de Minas de España.

Se trata de un recurso minero singular, en el que, para un aprovechamiento sostenible de los acuíferos es necesario prever la protección del recurso minero del medio en donde se manifiesta. Para el resto de recursos geológicos que forman un yacimiento es, al contrario: se planifica la protección del medio natural frente a las labores de explotación industrial del recurso minero.

Los perímetros de protección de los acuíferos termales son un instrumento jurídico-administrativo que tiene por objeto proteger la integridad y calidad del cuerpo principal del acuífero en sus zonas de descarga y recarga, además de garantizar el derecho del titular que solicite y obtenga el aprovechamiento, poder abastecerse de estos manantiales. Se trata de un área del territorio en la cual, de forma graduada, se restringen o prohíben las actividades potencialmente contaminantes para el/los acuífero/s a aprovechar.

Su regulación aparece en los artículos 26 y 28 de la *Ley 22/1973 de 21 de julio de Minas* y en los artículos 41 y 43 del *Real Decreto 2857/1978, de 25 de agosto por el que se aprueba el Reglamento General para el Régimen de la Minería*, como normas básicas nacionales vigentes, además de las regulaciones complementarias de las Comunidades Autónomas al tratarse de una competencia transferida. En el caso de Galicia, los perímetros de protección de aguas mineromedicinales y termales se reflejan en el artículo 13 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* y el artículo 12 del *Decreto 402/1996, de 31 de octubre, por el que*

se aprueba el Reglamento de aprovechamiento de aguas mineromedicinales, termales y de los establecimientos balnearios de la Comunidad Autónoma de Galicia.

## 2. La hidrogeología de los yacimientos termales del NW de España

Acuífero: Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad.

Las aguas minerales, mineromedicinales y termales son un tipo de aguas singulares, con características físico-químicas (grado y mineralización y/o temperatura) que las diferencian del resto de las aguas subterráneas. Sus circuitos alcanzan gran profundidad, y su composición es el resultado de cientos/miles de años de interacción del agua de lluvia con la roca que las almacena, en unas condiciones especiales de pH y potencial redox, que favorecen la absorción de minerales y la generación de gases (CO<sub>2</sub>, SH<sub>2</sub>).

Los afloramientos minerales/termales del NW de España se asocian a la circulación/almacenamiento del agua en los sistemas de fracturas que rompen una roca base cristalina, originalmente impermeable. Algunas de estas fracturas alcanzan gran profundidad (del orden de kilómetros) y, disponiendo de una recarga de agua continua, es posible generar un circuito subterráneo en el que las aguas de lluvia descienden/ascienden a la superficie empujadas por la energía potencial generada por la diferencia de cotas entre las zonas de recarga y descarga. Por ejemplo, los manantiales de As Burgas (Ourense) son la zona final de descarga (112 msnm) de un acuífero fisural cuya zona de recarga se situaría en San Ciprián de Viñas (335 msnm). El agua de lluvia viaja por la roca a una velocidad de 1,5 mm/día hasta 1500 m de profundidad aflorando de nuevo 10-15000 años después.

En Galicia, lo habitual son zonas de descarga de, como mucho, 1 o 2 circuitos termales en cotas bajas y riberas de ríos con caudales máximos de explotación de 10 L/s y temperaturas desde 25 a 74 °C. Un caso especial es la ciudad de Ourense, en donde se concentran, en una misma área urbana, 5 circuitos termales diferentes con caudales de explotación conjunta entre 100 y 150 L/s y temperaturas entre 42 y 74 °C. El potencial geotérmico del yacimiento para usos terapéuticos, lúdicos y energéticos es el más alto de toda España.

El tipo de litologías existentes en Galicia (fundamentalmente rocas ígneas y metamórficas) generan aguas con una “facies hidroquímica” (sales principales) del tipo bicarbonatado sódico, la más habitual, con concentraciones altas de flúor, sílice, hierro, manganeso, arsénico y sulfuros y elevada temperatura (hasta 74 °C).

Las instalaciones de aguas minerales y mineromedicinales explotan sus acuíferos mediante captaciones protegidas de 70 a 200 m de profundidad. Las captaciones disponen de anillos estancos de protección que evitan el contacto total de los acuíferos superficiales con los profundos.

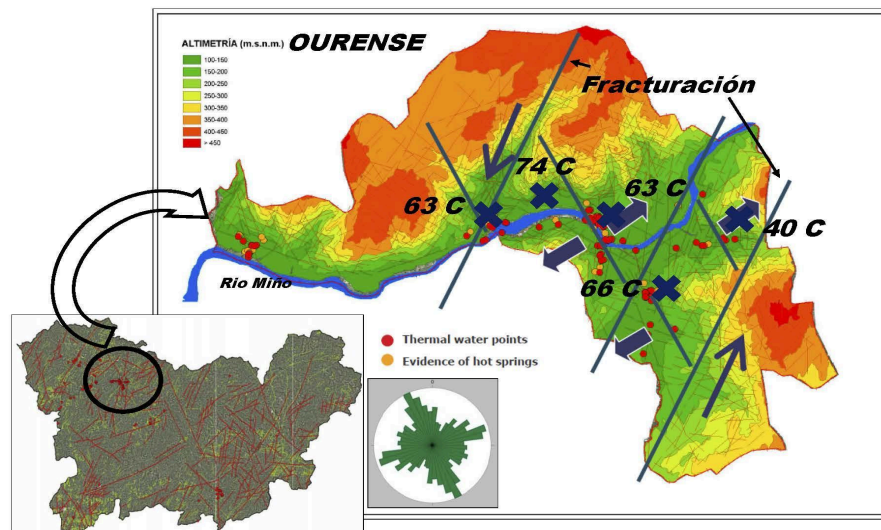


Imagen 1.- Relación de la estructura de fracturación y manantiales en el yacimiento geotérmico Ourense-ciudad (Cid Fernández, 2024)

### 3. Condiciones hidrogeológicas de los perímetros de protección en la legislación nacional

El artículo 26.2 de la Ley de Minas atribuye a la Delegación Provincial de Industria proponer un perímetro de protección

*“adecuado para garantizar la protección suficiente del acuífero en cantidad y calidad”*

La Dirección General de Minas aceptará o rectificará esa delimitación de acuerdo al informe del Instituto Geominero de España (IGME). El artículo 41.2 del *Reglamento R.D. 2857/1978* indica lo mismo: la delegación provincial debe analizar el proyecto de aprovechamiento y proponer el perímetro de protección.

*“previa inspección del terreno por cuenta del interesado”*

La protección del recurso termal implica la necesidad de estudiar los puntos de explotación y su entorno desde el punto de vista geológico, hidrogeológico, fisicoquímico, microbiológico y clínico. El *Real Decreto 1798/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula la explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial envasadas para consumo humano*, resulta de aplicación para aguas mineromedicinales y termales. En él, se indica el alcance de las investigaciones necesarias en cada uno de estos bloques.

*Tabla 1.- Relación de estudios de las aguas exigidos en el RD 1798/2010 para su declaración y/o aprovechamiento como agua mineral y/o mineromedicinal*

<b>Estudios Geológicos</b>	
<i>Parámetros de estudio</i>	<i>Finalidad</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estratigrafía</li> <li>- Mapa geológico de detalle</li> <li>- Litologías</li> <li>- Cortes geológicos</li> <li>- Análisis de fracturación</li> </ul>	Es necesario conocer el tipo y estado de los materiales geológicos que los manantiales atraviesan en su circulación subterránea. El análisis de la fracturación de detalle permite determinar los caminos de circulación de las aguas en acuíferos fisurales.
<b>Estudios hidrogeológicos</b>	
<i>Parámetros de estudio</i>	<i>Finalidad</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalaciones de captación</li> </ul>	Punto/s de bombeo en recintos 12-15 m <sup>2</sup> con aislamiento hidráulico de las aguas superficiales. Equipos de control de bombeo, muestreo, sensores multiparamétricos. Acceso restringido.
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudal del manantial/captación</li> <li>- Parámetros hidrodinámicos acuífero</li> <li>- Ensayo de bombeo</li> </ul>	El ensayo de bombeo es una prueba técnica que permite calcular la permeabilidad del acuífero termal, el caudal máximo sostenible, el radio de influencia y la respuesta físico-química del acuífero a bombes prolongados.

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inventario de puntos de agua</li> <li>- Mapa de isopiezas dirección y sentido flujo</li> </ul>	<p>El inventario de fuentes, manantiales y pozos superficiales y profundos en un radio de 2 km permite conocer el comportamiento del agua subterránea del entorno y sus características. Permite delimitar la intensidad de la anomalía si se dispone de los puntos de muestreo suficientes</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inventarios de focos potenciales de contaminación</li> </ul>	<p>En el área de la subcuenca de drenaje es necesario conocer las principales amenazas potenciales a los manantiales: depósitos hidrocarburos, vertidos, red de saneamiento, otros...</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudio de las zonas de recarga mediante la realización de análisis isótopos (<math>O^{18}</math> y deuterio <math>^2H</math>).</li> </ul>	<p>Los isótopos estables son variantes de un elemento químico que no experimentan desintegración radioactiva. En Hidrología, los que más se utilizan son el Oxígeno-18 (<math>O^{18}</math>) y el Hidrógeno-2 (<math>H^2</math> o deuterio). El estudio isotópico de estos dos elementos, y su comparación con la recta meteórica mundial, permiten orientar el origen de la recarga de acuíferos, su edad, diferenciación de aguas, patrones de flujo y contaminantes potenciales.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinación del tiempo de residencia del agua en el acuífero mediante análisis isotópicos (tritio)</li> </ul>	<p>El Tritio (<math>H^3</math>) es un isótopo radioactivo del Hidrógeno con un período de desintegración de 12,3 años. El control del Tritio en las precipitaciones se viene realizando a nivel global desde los años 50, desde el inicio de las primeras pruebas nucleares. Su concentración en las aguas permite diferenciar, entre otras cosas, la presencia de aguas de precipitaciones recientes (posteriores a 1955).</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- La relación existente entre la naturaleza del terreno y la naturaleza y el tipo de mineralización</li> </ul>	<p>La composición química las aguas profundas es el resultado de una larga interacción con el sustrato geológico que atraviesan. Ciertos indicadores se asocian a la circulación profunda de las aguas. Las aguas que atraviesan litologías graníticas en el NW de España suelen tener una "facies hidroquímica" del tipo bicarbonatada (anión mayoritario) sódica (catión mayoritario).</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las medidas de protección del manantial y zona circundante contra la contaminación, necesarias para la correcta protección cuantitativa y cualitativa del manantial o captación subterránea. En concreto deberá delimitarse la poligonal que define el perímetro de protección mediante coordenadas UTM</li> </ul>	<p>Combinando los estudios anteriores, se solicita delimitar una poligonal alrededor de los acuíferos que asegure su protección cualitativa y cuantitativa.</p> <p>El Perímetro de Protección debe integrar todos los estudios anteriores en un modelo hidrogeológico del circuito termal, seleccionando aquellas áreas importantes a proteger.</p>
<b>Estudios físicos, químicos y fisicoquímicos</b>	
<i>Parámetros de estudio</i>	<i>Finalidad</i>

- Caudal del manantial	Para manantiales naturales, este parámetro indica el volumen de agua aflorante por unidad de tiempo (L/s; m <sup>3</sup> /h). En captaciones subterráneas, la productividad sostenible máxima de la captación (L/s) se calcula en los Ensayos de Bombeo y debe ser superior al caudal de aprovechamiento solicitado.
- La temperatura del agua en los puntos de alumbramiento y la temperatura ambiente	Si la temperatura del agua subterránea supera en 4°C la temperatura media ambiente del lugar durante todo el año, las aguas profundas pueden ser clasificables como aguas termales. Su comprobación se realiza tomando 3 medidas de temperatura del agua el mismo día, espaciadas 2 horas entre ellas. Además, para cada toma analítica del agua (12 meses) se realiza una comprobación in situ de la temperatura, pH y Cond. Eléctrica de las aguas en boca de pozo.
- El residuo seco a 180 °C y 260 °C, - La conductividad o la resistividad eléctrica. - Concentración iones hidrógeno (pH), - Aniones y cationes - Elementos no ionizados - Oligoelementos - Radiactividad en los puntos de alumbramiento - Toxicidad de determinados componentes del agua	Los análisis de laboratorio mensuales durante un año completo permiten caracterizar químicamente las aguas, señalando las diferencias en sales minerales y térmicas respecto a los manantiales de aguas subterráneas de la zona.  En aguas mineromedicinales, los elevados tiempos de tránsito de las aguas en el subsuelo hacen que ciertos parámetros (Arsénico, Flúor, Manganeseo...) desaconsejen una ingesta continua al situarse por encima de los valores permitidos para aguas minerales de consumo humano.  Todas las analíticas incluyen la valoración de hidrocarburos en las aguas, contaminante más habitual en acuíferos subterráneos.
<b>Estudios microbiológicos</b>	
<i>Parámetros de estudio</i>	<i>Finalidad</i>
- Demostración de la ausencia de parásitos y de microorganismos patógenos	Indicadores de fuentes de contaminación externas que alteran las condiciones naturales de las aguas profundas.
- Ausencia de microorganismos revivificables indicativos de contaminación fecal	Ausencia total de <i>E. Coli</i> , <i>Streptococos fecales</i> , <i>anaerobios sulfito-reductores</i> y <i>Pseudomonas Aeruginosa</i> en cada uno de los análisis de las aguas.  El servicio provincial de Sanidad realiza un análisis propio para comprobar los datos aportados.
- Recuento total de microorganismos revivificables	Las aguas termales poseen su flora microbiana autóctona adaptada a las condiciones fisicoquímicas de las aguas profundas. No son

	aguas estériles y estos análisis muestran la concentración de colonias autóctonas.
<b>Estudios clínicos</b>	
<i>Parámetros de estudio</i>	<i>Finalidad</i>
- Efectos en el organismo humano	Mediante análisis y observaciones clínicas se asocian las características singulares de las aguas profundas con los efectos terapéuticos que producen a las personas.

Como se puede comprobar, los estudios necesarios para la Declaración de las aguas como minerales, mineromedicinales y/o termales son amplios y complejos, pues es necesario construir un modelo del funcionamiento del circuito termal. La normativa establece un periodo mínimo de 12 meses de análisis para acreditar la invariabilidad de los parámetros propios de los acuíferos profundos (año hidrológico), a diferencia de lo que sucede con los acuíferos más superficiales.

La normativa nacional no establece una metodología concreta para la delimitación de los perímetros de protección de los acuíferos. En cambio, los técnicos redactores deben estudiar el acuífero y su entorno en todos los aspectos anteriores para obtener la Declaración de las aguas. Los mismos datos recogidos permiten proponer un perímetro desde un punto de vista científico, que proteja el cuerpo principal de acuífero en las zonas de descarga (máximas y medias) y sus zonas aledañas (mínimas).

En cualquier caso, el promotor de una solicitud de Declaración de aguas minerales, medicinales y/o termales, antes de iniciar los estudios en su totalidad, debería asegurarse de:

- 1) Disponer de una captación protegida en la que se produce el alumbramiento de las aguas con características minerales, mineromedicinales y/o termales.
- 2) No ubicarse en una zona de protección de otros manantiales (consumo humano, minerales, mineromedicinales).
- 3) Disponer de la propiedad de los terrenos en los que se ubica la captación (zona de restricciones máximas).
- 4) Posibilidad de desarrollo urbanístico en la parcela para los fines que se desean (envasadora de aguas, balneario, lúdicos).

## 4. Condiciones hidrogeológicas de los perímetros de protección en la legislación autonómica gallega

En Galicia, en el ámbito de las aguas mineromedicinales y termales, la legislación vigente de aplicación difiere en función del uso final de las aguas:

### a) Usos terapéuticos

- *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.*

La referencia a los perímetros de protección de las aguas se indica en el art. 13 otorgando la responsabilidad de proponer la delimitación del perímetro al promotor, acompañado de un estudio justificativo de la necesidad del mismo y la extensión propuesta. Establece la obligatoriedad de dividir el perímetro en 3 zonas (máximas, medias y mínimas) e introduce el criterio hidrogeológico del “*tiempo de tránsito, que se define como el tiempo que transcurre entre la entrada de una sustancia en el seno del acuífero y su extracción por la captación*” como criterio diferenciador de las zonas de protección.

- *Decreto 402/1996, del 31 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de aprovechamiento de aguas mineromedicinales, termales y de los establecimientos balnearios de la Comunidad Autónoma de Galicia.*

Para el reconocimiento de la declaración de un agua como mineromedicinal y/o termal, remite a la documentación exigida en el anexo II del R.D. *Real Decreto 1164/1991 por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de aguas de bebida envasada* (derogado por el R.D. 1074/2002 y derogado por el R.D. 1798/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula la explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial envasadas para consumo humano y el R.D. 1799/2010 por el que se regula el proceso de elaboración y comercialización de aguas preparadas envasadas para el consumo humano). Es precisamente en el Anexo III del R.D. 1798/2010 en donde se solicitan los estudios descritos en el apartado anterior, es decir, los mismos que para el reconocimiento de aguas minerales de consumo humano.

El Decreto aclara que las concentraciones máximas de ciertos elementos (Arsénico, Flúor) admitidos para aguas de consumo humano no se aplicaran para aguas mineromedicinales con usos terapéuticos, siendo concretados por Sanidad. Las aguas mineromedicinales (y habitualmente también termales) suelen presentar una mayor concentración de sales minerales, por su mayor tiempo de permanencia en el subsuelo, lo que hace que, en ocasiones, no sean aptas para consumir habitualmente como agua de bebida por su alto contenido en ciertos solutos. En pequeñas dosis, estos solutos producen efectos terapéuticos en el ser humano.

El Decreto establece una relación de actividades prohibidas o condicionadas en las 3 áreas del perímetro de protección propuesto:

*Tabla 2.- Restricciones en las áreas de protección de perímetros de protección de aguas mineromedicinales y termales de Galicia (D 402/1996)*

<b>MÁXIMAS</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>MÍNIMAS</b>
<b>Prohibido</b>	<b>Prohibido</b>	<b>Prohibido</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vertidos en pozos negros, balsas o fosas sépticas</li> <li>- Vertidos en lechos públicos</li> <li>- Vertidos de residuos sólidos urbanos</li> <li>- Vertidos de residuos líquidos industriales</li> <li>- Vertidos de residuos sólidos industriales</li> <li>- Depósitos productos radiactivos</li> <li>- Inyección residuos industriales en pozos y sondeos</li> <li>- Conducciones de líquidos industriales</li> <li>- Conducciones hidrocarburos</li> </ul>		
<b>MÁXIMAS</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>MÍNIMAS</b>
<b>Prohibido</b>	<b>Prohibido</b>	<b>Condicionado</b>

- Uso de fertilizantes
- Uso de herbicidas
- Uso de pesticidas
- Almacenamiento esterco
- Vertido restos animales
- Ganadería intensiva
- Ganadería extensiva
- Almacenamiento materias fermentables alimentación animales
- Bebederos e refugio animales
- Silos
- Vertidos aguas residuales urbanas sobre o terreo
- Cementerios
- Asentamientos industriales
- Almacenamiento hidrocarburos
- Explotación canteras e minas
- Campings
- Ejecución novas perforaciones e pozos
- Trabajos subterráneos ajenos a propia salida a la superficie

- *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.*

Ante la imposibilidad práctica de aplicación de las restricciones contenidas en el anexo I del Decreto 402/1996 y la interferencia con otras competencias ya reguladas, se reduce el número de actividades prohibidas y condicionadas a residuos y vertederos, quedando el resto de actividades a realizar dentro del perímetro de protección condicionadas al criterio del Servicio Provincial de Minas.

Tabla 3.- Restricciones en las áreas de protección de perímetros de protección de aguas mineromedicinales y termales de Galicia (D 116/2001)

MEDIAS	MÍNIMAS
<b>Prohibido</b>	<b>Prohibido</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Producción de residuos peligrosos</li> <li>- Almacenamiento e estaciones de transferencia de residuos peligrosos</li> <li>- Eliminación valorización e/o vertedero de residuos peligrosos</li> <li>- Almacenamiento de residuos radioactivos</li> <li>- Vertederos superficiales: relación I de sustancias, segundo o RD 849/1986</li> </ul>	
MEDIAS	MÍNIMAS
<b>Prohibido</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Depósitos controlados de residuos urbanos o municipales</li> <li>- Almacenamiento e estaciones de transferencia de residuos urbanos ou municipales</li> <li>- Plantas de valorización o tratamiento de residuos urbanos o municipales</li> </ul> <p>Vertederos o almacenamientos profundos, mediante pozos, zanjas, galerías, inyecciones o acúmulos en estructuras subterráneas</p>	

- *Orden de 5 de noviembre de 1996 por la que se regula la autorización sanitaria de los establecimientos balnearios de la Comunidad Autónoma de Galicia.*

b) Usos lúdicos

- *Ley 8/2019, de 23 de diciembre, de regulación del aprovechamiento lúdico de las aguas termales de Galicia*

La reciente Ley de Usos Lúdicos de las aguas termales de Galicia, puesta en vigor en enero del año 2020, es única en España. La norma habilita un nuevo uso de los recursos del grupo B de la Ley de Minas estatal basados en la termalidad de las aguas y obviando la composición química de las mismas.

La figura del perímetro de protección aparece indicada en el art.8.c, el cual limita a un radio de 300 m. (se supone que del manantial) debiendo justificarse debidamente la necesidad de una superficie superior. La Ley da libertad para seleccionar el criterio de

definición del perímetro, debiendo articularse en 3 zonas (máximas, medias, mínimas) al igual que en la Ley 5/1995 de Balnearios de Galicia.

Los estudios hidrogeológicos que se indican como necesarios para la justificación del perímetro son los siguientes (*Anexo Ley 8/2019 de Usos Lúdicos*):

*Tabla 4.- Estudios hidrogeológicos exigidos por la Ley 8/2019 de Usos lúdicos de las aguas termales de Galicia*

<b>Estudios Hidrogeológicos</b>	<b>Apartados</b>
- Morfología de la cuenca	
- Geología regional y local	
- Hidrología superficial	- Estimación de recarga. - Balance hidrológico. - Componentes del ciclo hidrológico
- Estudio hidrogeológico	- Caracterización hidrodinámica del medio geológico. - Identificación de acuíferos. - Funcionamiento hidrodinámico de los mismos
- Estudio termal	- Caracterización termal de las aguas a partir de las doce medidas mensuales de pH, conductividad, Eh, temperatura y oxígeno disuelto realizadas en un año hidrológico aportadas para su declaración. - Origen. - Tiempo de residencia
- Estudio de vulnerabilidad	- Inventario de puntos de agua. - Posibles puntos y áreas de contaminación difusa conservativa y no conservativa. - Existencia de otros manantiales termales
- Cálculo del perímetro de protección	- Metodología para la definición del perímetro y la estimación del mismo.

- *Guía para la elaboración del plan de autocontrol de los espacios termales: baños termales y piscinas termales de uso lúdico. dirección general de salud pública. Consellería de Sanidad Xunta de Galicia.*

## 5. Criterios hidrogeológicos para la definición de los perímetros de protección de aguas termales

La necesidad de definir un perímetro para la protección de los acuíferos minerales y mineromedicinales se indica por primera vez en la Ley de 1928, sobre explotación de aguas minero-medicinales. Actualmente se utilizan diferentes criterios para definir un perímetro de protección de aguas, seleccionando uno o varios en función de las características hidrogeológicas de los acuíferos a explotar:

Tabla 5.- Criterios utilizados para la definición de perímetros de protección de aguas termales

Criterio hidrogeológico	Principios
- Distancia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perímetro circular con centro en la captación.</li> <li>- Simple</li> <li>- Poco eficaz en acuíferos fisurales.</li> </ul>
- Descenso.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Área entorno a la captación en la cual desciende el nivel freático del agua subterránea debido al bombeo.</li> <li>- Determina un área de alimentación y un área de influencia del bombeo.</li> <li>- Una posible contaminación producida en cualquiera de las dos zonas puede alcanzar la captación en un tiempo que es función de la distancia a la misma.</li> </ul>
- Tiempo de tránsito	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliza el proceso de advección para evaluar el tiempo que un contaminante tarda en llegar a la captación.</li> <li>- Considera una porosidad eficaz del acuífero homogénea alrededor de la captación lo cual no se cumple habitualmente en los manantiales fisurales del NW.</li> <li>- Puede llevar a un sobredimensionamiento del perímetro si no se corrige con otros criterios (hidrogeológicos).</li> </ul>
- Hidrogeológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determina un área de alimentación global de la captación asumiendo que, dentro de ella, cualquier agua de lluvia que se infiltrase podría llegar a la captación.</li> <li>- Sobredimensiona las áreas de protección.</li> <li>- Difícilmente aplicable en acuíferos fisurales.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poder depurador del terreno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Basado en la capacidad depuradora del terreno (suelo) para atenuar la concentración de contaminantes.</li> <li>- Requiere de perfiles edafológicos detallados y su respuesta ante diferentes contaminantes.</li> </ul>
---	---

En función del objetivo de protección que se desee alcanzar, y las características de los acuíferos, se aplica uno u otro criterio, si bien lo habitual es utilizar varios que resulten en un modelo hidrogeológico lo más similar a la realidad posible.

*Tabla 6.- Objetivos de protección y criterios a utilizar para la definición de perímetros de protección de aguas termales (IGME)*

Objetivo	Criterio hidrogeológico
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evitar que en la captación se produzcan variaciones en el flujo del agua subterránea, debido al bombeo, en las inmediaciones de ésta que puedan provocar la llegada de sustancias indeseables a la misma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distancia.</li> <li>- Descenso.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asegurar que la contaminación será inactivada en el trayecto entre el punto de vertido y su lugar de extracción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poder auto depurador del terreno.</li> <li>- Tiempo de tránsito.</li> <li>- Distancia.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proporcionar un tiempo de reacción que permita el empleo de otras fuentes de abastecimiento alternativas hasta que se consigan niveles tolerables al efecto de una contaminación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo de tránsito.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Garantizar la protección de la calidad de las aguas subterráneas en la totalidad del área de alimentación de una captación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hidrogeológicos.</li> </ul>

Finalmente, los técnicos redactores proponen una delimitación de las tres áreas de protección de los manantiales de acuerdo a los siguientes principios:

Tabla 7.- Criterios de diseño de las áreas de protección de manantiales termales fisurales

Zona	Principios
Máximas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protección de la captación y sus instalaciones contra vertidos e infiltraciones.</li> <li>- 100 m<sup>2</sup>, la superficie de la parcela en la que se ubica la captación o el área obtenida de un radio de influencia calculado a partir de un tiempo de tránsito de 24 horas.</li> <li>- Restricción absoluta de cualquier actividad.</li> </ul>
Medias	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Representa el cuerpo principal del perímetro.</li> <li>- Radio de influencia para un tiempo de tránsito de 50 días (variable).</li> <li>- Protección total contra la contaminación microbiológica y alta contra la química.</li> <li>- Calculada a partir de los parámetros hidrodinámicos del acuífero (ensayo/s de bombeo prolongados).</li> </ul>
Mínimas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proteger la captación frente a contaminantes de larga persistencia metales (pesados, hidrocarburos).</li> <li>- Tiempo de tránsito de 10 años o limitado al área de alimentación de la captación. (criterio hidrogeológico).</li> <li>- Para acuíferos fracturados se añade otro criterio hidrogeológico que tenga en cuenta la estructura fisural del medio que condiciona la estructura hidrogeológica del acuífero termal a la morfología y tectónica de los materiales cristalinos de base.</li> </ul>

## 6. Conclusiones

1) Los perímetros de protección de los acuíferos de aguas minerales, medicinales y termales son un instrumento jurídico-administrativo que tiene por objeto proteger la integridad y calidad del cuerpo principal del acuífero.

2) La delimitación de estas áreas de protección se contempla ya en la Ley de 1928, sobre explotación de aguas minero-medicinales. Un aprovechamiento sostenible de los acuíferos requiere planificar la protección del recurso geotérmico del medio en donde se manifiesta y capta. Para el resto de recursos geológicos que forman un yacimiento es, al contrario: se planifica la protección del medio natural frente a las labores de explotación industrial del recurso minero.

- 3) Es necesario conocer el funcionamiento del circuito hidrogeológico que da lugar a la anomalía construyendo un modelo matemático que simule la circulación natural de las aguas por el subsuelo. En el caso de acuíferos fisurales, además de los parámetros hidrodinámicos del punto de captación, es muy importante estudiar la fracturación regional y local en los puntos de descarga.
- 4) Existen diferentes criterios hidrogeológicos para la definición del perímetro que se combinan en función de las características de los acuíferos. En acuíferos fisurales, deben combinarse el tiempo de tránsito con criterios hidrogeológicos y estructurales para obtener áreas de protección adecuadas al cuerpo principal de la anomalía.
- 5) Los manantiales minerales y termales en entornos urbanizados suponen un reto en la planificación de la protección del recurso. Las amenazas potenciales se multiplican si bien son compensados por la multitud de usos finales posibles. En casos como la ciudad de Ourense con múltiples circuitos termales sería necesario pensar en asociar el perímetro de protección al circuito, y no al aprovechamiento final, comprobando la productividad hidráulica sostenible del conjunto.
- 6) La definición inicial del perímetro de protección debería actualizarse y/o revisarse periódicamente en función de los datos hidrogeológicos recogidos durante la explotación (variaciones de nivel piezométrico, caudales, precipitaciones, análisis...) y otros datos de campo de los que se pueda disponer. El control hidrogeológico del circuito termal y de su explotación debe ser continuo y centralizado, permitiendo disponer de los datos técnicos necesarios para la toma de decisiones respecto a ampliaciones o nuevos aprovechamientos del recurso termal.

## 7. Bibliografía

- Cid-Fernández, J.A. (2024): *Estudio de la potencialidad del yacimiento geotérmico Ourense-ciudad*, Tesis Doctoral, Universidad de Vigo, Facultad de Ciencias de Ourense.
- Corral Lledó, M.M., López-Geta, J.A., Fernández Portal, J.M., Mijares Coto, M.J. eds. (2010): *"Galicia: Historia y evolución científica y técnica del conocimiento de las aguas minerales"*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- Delgado Outeiriño, I., Araujo Nespereira P., Cid-Fernández J.A., Mejuto J.C., Martínez-Carballo E., Simal-Gándara, J. (2009): *"Behaviour of thermal waters"*

*through granite rocks based on residence time and inorganic pattern*". Journal of Hydrology 373 329–336.

Fernández Portal, J.M., Corral Lledo, M.M., Araujo Nespereira, P.A., Cid-Fernández, J.A., (2007): "*Caracterización de las aguas minerales y termales en el entorno del río Miño a su paso por la ciudad de Ourense*". XII Congreso Internacional de Energía y Recursos Minerales. Oviedo 7-11 octubre de 2007.

Instituto Tecnológico Geominero de España (1990). "*Guía metodológica para el establecimiento de perímetros de protección a captaciones de abastecimiento urbano*". IGME.

López Geta, J.A., Martínez Navarrete, C., Moreno Merino, L. (1991). "*Protección de la calidad de las aguas subterráneas de abastecimiento mediante perímetros de protección*". 9ª conferencia internacional sobre hidrología general y aplicada. Zaragoza, 139 - 145.

López Geta, J.A., Martínez Navarrete, C., Moreno Merino, L., Navarrete Martínez, P., Baeza Rodríguez-Caro, J. (1996): "*Guía para la elaboración de perímetros de protección de las aguas minerales y termales*". IGME.