

# Guía para el funcionamiento sustentable de los sistemas geotérmicos de climatización desde la perspectiva de la Agencia Catalana del Agua

**Alfredo Pérez-Paricio**, Departamento de Concesiones de la Agencia Catalana del Agua.  
**Eduardo Ruiz**, Amfpos 21.

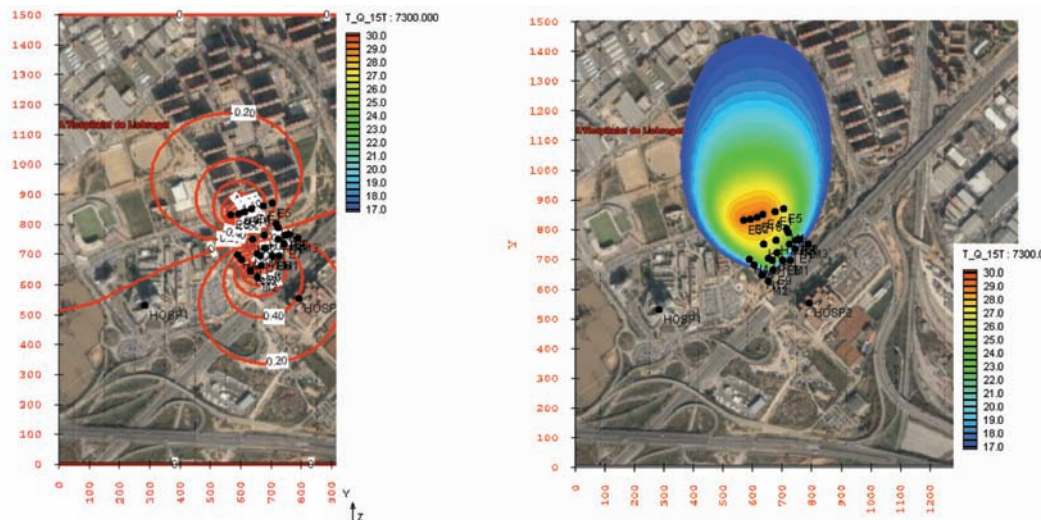
## Contexto de partida

La tecnología de las bombas de calor geotérmicas (“Ground-source Heat Pumps”, o GHP, en inglés) no es novedosa a nivel internacional (Gringarten y Sauty, 1975) pero está recibiendo un gran interés en Cataluña (Agència, 2008) y en el resto de España (FENERCOM, 2007) durante los últimos años. Este auge viene alimentado principalmente por dos factores: la previsión que será considerada como energía renovable en la Directiva Europea en preparación sobre la materia, y la mayor preocupación sobre los efectos del cambio climático, motivada sin duda por la constatación de que permite reducir de forma apreciable los costes energéticos anuales y amortizar la inversión necesaria.

La proliferación de las GHP obedece por tanto a criterios económicos y de balance energético global, pero su instalación podría dar lugar a impactos adversos en el medio o a terceros. Es por ello que la Agència Catalana de l’Aigua (en adelante, Agència), con competencias

plenas de ordenación y planificación del agua en las Cuencas Internas de Cataluña, debe asumir su rol para evitar afecciones similares a las que se han producido en diversos acuíferos del mundo. Aunque pocas de estas experiencias han sido publicadas, son bien conocidos casos como el de Winnipeg, en Canadá (Ferguson y Woodbury, 2006). La Figura 1 muestra un ejemplo teórico de cómo la extracción de agua y su posterior inyección en el mismo acuífero puede dar lugar a impactos tanto hidráulicos como térmicos con el tiempo.

El posible impacto en el medio depende de factores diversos, pero el tipo de GHP es probablemente el factor crítico. La Figura 2 muestra las dos opciones existentes. Por un lado, los sistemas abiertos, en los que se hace circular el agua subterránea (pozos) o superficial como fluido de intercambio, proceso durante el cual éste sufre un aumento o disminución de temperatura (salto térmico), en función de si opera en régimen de refrigeración o de calefacción, respectivamente. Por el otro, los sistemas cerrados, que no requieren la



**Figura 1. Impacto hidráulico (formación de un “dipolo”) y térmico (aumento de temperatura) que se puede producir, de centenares de metros de alcance, si la carga térmica es excesiva o no se define bien un sistema geotérmico abierto, en el caso simulado (Ortuño et al., 2006).**

captación de agua sino que basan su funcionamiento en la conducción del calor a disipar a lo largo del trazado de los tubos de intercambio, de forma análoga al serpentín de un frigorífico, por ejemplo.

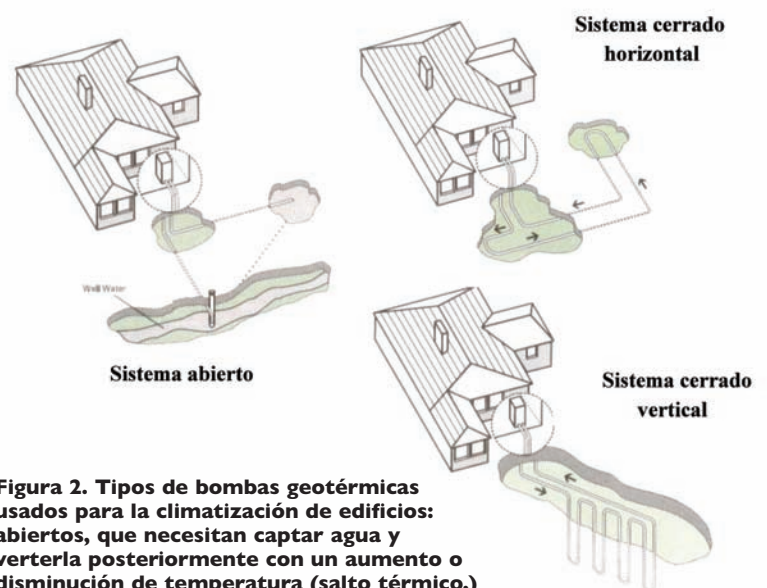
Es por esto que la Agència vio la necesidad de plantear cómo regular ambos sistemas, que obligan a hacer un tratamiento diferenciado atendiendo a las diferencias apuntadas sobre si existe o no captación de agua. La inexistencia de un marco normativo claro e incluso de criterios técnicos bien establecidos llevó a la realización de la denominada Guía CLIMACA (Agència, 2008), basada en una exhaustiva revisión del estado del arte en los países más desarrollados en la materia pero con una contribución importante a la hora de proponer criterios técnicos y procedimentales (Pérez-Paricio et al., 2008). El presente artículo sintetiza dicho trabajo, que en el momento actual únicamente está disponible en idioma catalán, y apunta cuál es el enfoque actual en las Cuencas Internas de Cataluña.

### Estructura de la Guía CLIMACA

La Guía consta de un primer capítulo dedicado a la revisión de normativa y criterios internacionales, esencialmente relacionados con los sistemas abiertos, el cual está estructurado en cuatro temas: salto térmico admitido, uso de aditivos, limitaciones en cuanto al retorno del agua al acuífero, y áreas restringidas a la instalación de bombas de calor geotérmicas.

El siguiente capítulo analiza la situación normativa estatal y catalana, de forma que se acaba proponiendo cómo gestionar los dos tipos de bomba de calor desde la perspectiva del organismo de cuenca, tal como pretende la Agència en las Cuencas Internas de Cataluña.

Los capítulos posteriores abordan la cuantificación de los procesos de transferencia de calor a partir de su formulación matemática (conceptual), con un doble objetivo: recopilar las



**Figura 2. Tipos de bombas geotérmicas usados para la climatización de edificios: abiertos, que necesitan captar agua y verterla posteriormente con un aumento o disminución de temperatura (salto térmico), y cerrados, en los que no hay intercambio de fluido sino directamente de energía con el medio en que se hallan (modificado de Natural Resources Canada's, 2000).**

soluciones analíticas aplicables para hacer estimaciones preliminares y comparar algunos de los códigos numéricos disponibles (Visual Modflow, SUTRA y Visual Transin) para identificar sus ventajas e inconvenientes a la hora de efectuar simulaciones que pueden tener una complejidad numérica considerable. Las conclusiones principales de la Guía son presentadas a continuación.

## Conclusiones de la Guía CLIMACA

### Revisión internacional

En lo que respecta a los cuatro criterios analizados en otros países, en general no hay limitaciones normativas para el salto térmico sino valores indicativos y la recomendación de hacer estudios de viabilidad. Se pide que el agua utilizada en sistemas abiertos sea retornada al mismo acuífero del que fue extraída, preferiblemente de los niveles superiores en acuíferos multicapa. No se permite instalarlos en áreas próximas a captaciones de abastecimiento urbano ni en zonas protegidas o contaminadas, y en ciertos lugares se exige un seguimiento posterior a su implantación. En definitiva, existe poca legislación para sistemas abiertos, consecuencia del hecho de que predominan los sistemas cerrados (Sanner et al., 2003).

### Cuantificación

En sistemas abiertos, la utilización de ecuaciones sencillas debe limitarse a la fase inicial de diseño y sólo como ayuda en la definición de la viabilidad de la explotación prevista. En sistemas cerrados, los cálculos estándar son más fiables, pero conviene hacer pruebas de campo del tipo ensayos de respuesta térmica para precisar las necesidades de la instalación.

Los códigos numéricos comparados son válidos para analizar y prever la viabilidad de los sistemas abiertos aunque adoptan enfoques diferentes y tienen dificultades también diferentes.

### Normativa

El marco normativo obliga a tratar de forma diferenciada los sistemas abiertos y los cerrados. La Guía postula el siguiente enfoque en las Cuencas Internas de Cataluña; en otros ámbitos, puede diferir para adaptarse a cada situación:

- En sistemas cerrados, el promotor o propietario deber obtener una autorización de obras en dominio público hidráulico si prevé que las perforaciones entrarán en contacto con el acuífero. En acuíferos o ámbitos sometidos a un régimen de especial protección, la autorización será obligatoria aunque no intercepten el nivel del agua subterránea. Discusiones posteriores plantean que esto sea aplicable sólo para perforaciones de profundidad superior a 10 m.
- En sistemas abiertos, la Agència tramitará en un único expediente la concesión (necesaria para poder extraer el agua) y la autorización de vertido (en principio, el retorno al mismo acuífero).

### Propuestas de gestión

Dejando de lado los sistemas geotérmicos profundos, la Tabla I recoge las propuestas que se han definido en la Guía para armonizar la previsible proliferación de los sistemas geotérmicos de climatización con la protección del medio.

### Tabla I. Propuestas para una implantación sustentable de los sistemas geotérmicos de climatización (bombas de calor geotérmicas)

1. Conviene realizar pruebas in-situ. En sistemas cerrados, ensayos de respuesta térmica ("thermal response test"); en sistemas abiertos, ensayos hidráulicos y, si es viable y conveniente, de trazadores, con el fin de disponer de información adicional sobre el transporte de contaminantes (concepto donde se incluye el calor).
2. Es necesario hacer un estudio de viabilidad, que podrá incluir simulaciones numéricas preferiblemente 3-D, si la potencia instalada supera el umbral de 50 kW (NOTA: para sistemas abiertos y cerrados, siempre en función del emplazamiento). Este umbral será reevaluado a partir de los resultados de los proyectos en desarrollo.
3. Si la potencia instalada del sistema es superior a 50 kW, se deberá hacer un seguimiento de la evolución del acuífero que podrá incluir las respuestas hidráulicas, bioquímica y térmica (NOTA: en sistemas cerrados verticales esto puede equivaler a sistemas entre 500 m y más de 2.500 m de perforación total si se toma un rango muy amplio de la extracción de calor específico, comprendido entre 100 y 20 W/m<sup>2</sup>, respectivamente –de aquí la importancia de las pruebas de campo).

4. Si se dispone de certificación de la eficiencia energética (constructiva) de una vivienda, la implementación de un sistema geotérmico únicamente será posible para instalaciones con calificación elevada.
5. Recomendaciones específicas para sistema abiertos:
  - Inyectar el agua utilizada en el mismo acuífero del que se ha extraído; la adopción de otras soluciones deberá ser siempre debidamente justificada.
  - Explotar preferiblemente el acuífero superior.
  - Limitar el gradiente térmico a un máximo de 6 °C, a menos que se justifique un valor diferente.
  - Prohibirlos dentro del perímetro de protección de captaciones destinadas a consumo humano y de zonas protegidas o contaminadas.
  - Ratificar los cálculos de distancias teóricas siempre mediante pruebas in-situ y/o modelaciones numéricas. Las ecuaciones analíticas tienen carácter estimativo.
  - Operar el sistema de climatización en modo dual (refrigeración y calefacción) siempre que sea posible para compensar las cargas térmicas sobre el acuífero
  - No utilizar aditivos, salvo justificación (p.ej., para prevenir la colmatación del pozo de inyección) y bajo control y seguimiento de su incidencia en el medio
6. Los umbrales y criterios anteriores deben ser tomados como orientativos. El emplazamiento escogido, la vulnerabilidad del medio y los usos actuales/potenciales de la zona condicionarán la viabilidad definitiva de la instalación. Para sistemas cerrados, se tendrá en cuenta si las perforaciones son verticales u horizontales y si se intercepta más de un nivel permeable, por ejemplo.

## Otras actuaciones de la Agència en materia de sistemas geotérmicos

Además de la Guía, se llevó a cabo un proyecto de demostración en Barcelona, el cual será descrito en comunicaciones futuras. Actualmente, se está desarrollando todos los pasos necesarios para hacer ensayos controlados de respuesta térmica en sistemas abiertos y cerrados en otro emplazamiento de la provincia de Barcelona, situado en Montornès del Vallès.

## Referencias

- Agència Catalana de l'Aigua (2008). "GUIA CLIMACA – Climatització d'edificis a partir de l'energia del subsòl". Realizada en el marco del proyecto CT06001578. En catalán. Disponible bajo petición a [aperezpa@gencat.cat](mailto:aperezpa@gencat.cat)
- Ferguson, G.; y Woodbury, A.D. (2006). "Observed thermal pollution and post-development simulations of low-temperature geothermal systems in Winnipeg, Canada". *Hydrogeology Journal*, 14: 1206–1215.
- Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, FENERCOM (2007). "Guía de la energía geotérmica". Realizada por G. Llopis y V. Rodrigo. Memoria disponible en la dirección: <http://www.fenercom.com/Publicaciones/Geotermia.pdf>. Los anejos están en la dirección: <http://www.fenercom.com/Publicaciones/AnexoGeot.pdf>