



**Agència Catalana
de l'Aigua**



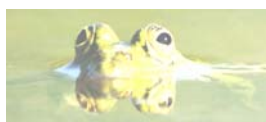
AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA

Document de síntesi

GUIA "CLIMACA"

Climatització d'edificis a partir de l'energia del subsòl (baixa temperatura)

19 de gener de 2010



Generalitat de Catalunya
**Departament de Medi Ambient
i Habitatge**



RESUM

La climatització d'edificis per mitjà de **bombes de calor que realitzen el bescanvi d'energia amb el subsòl, o sistemes geotèrmics**, és una tècnica emergent degut als avantatges d'estalvi energètic i econòmic que comporta (Sanner et al., 2003; Banks, 2008). En anglès, es denominen "Ground-source heat pumps" (GHP), terme que acostuma a traduir-se com a '*bombes de calor geotèrmiques*'. Aquesta traducció pot emmascarar el fet que un sistema geotèrmic utilitza una bomba de calor convencional però no fa el bescanvi d'energia amb l'aire o un fluid sinó que treu profit de les propietats del subsòl, com ara: gran volum, inèrcia tèrmica, temperatura poc afectada per la superfície, menys oscil·lacions, major rendiment, existència i flux d'aigua subterrània.

És per això que el **factor crític a valorar és la viabilitat i sustentabilitat a futur d'una instal·lació geotèrmica en funció de l'operació prevista i de les característiques de l'emplaçament** triat. Es diferencien dos tipologies (Figura 1):

Sistemes oberts: s'extreu aigua subterrània (*única opció considerada en aquest document*) com a fluid per al bescanvi d'energia, i l'aigua escalfada/refredada (refrigeració/calefacció, respectivament) ha de ser gestionada, preferiblement injectant-la a l'aquífer d'on s'ha captat. La dissipació del calor en el subsòl es fa bàsicament pels mecanismes de convecció i conducció, cosa que pot causar afeccions hidràuliques i tèrmiques en el medi (Figura 2).

Sistemes tancats: el fluid dels bescanviadors de les bombes de calor circula a través d'un circuit sub(horitzontal) o vertical de tubs. No capten aigua subterrània, sinó que aprofiten el mecanisme de conducció. El circuit pot assolir quilòmetres de llargada total, en funció de la càrrega tèrmica a dissipar. En funció de com estiguin construïts, poden també tenir incidència en el subsòl (Figura 3).

Davant la proliferació d'aquests sistemes i la manca de normativa i criteris tècnics, l'Agència Catalana de l'Aigua (*l'Agència*) impulsà l'elaboració d'una Guia que ajudés a definir els permisos preceptius i garantir la protecció del medi i d'altres usuaris, que podrà a més contribuir a desenvolupar futures reglamentacions. La denominada Guia CLIMACA es basa en una revisió de la normativa i criteris tècnics a d'altres països, i conté una avaluació de tècniques analítiques i numèriques i de codis que poden ser aplicats en la valoració de la viabilitat d'instal·lacions geotèrmiques. Els projectes in-situ ja realitzats (BST) i en marxa (MDV) hauran de contribuir a una millora de les propostes de la Guia.

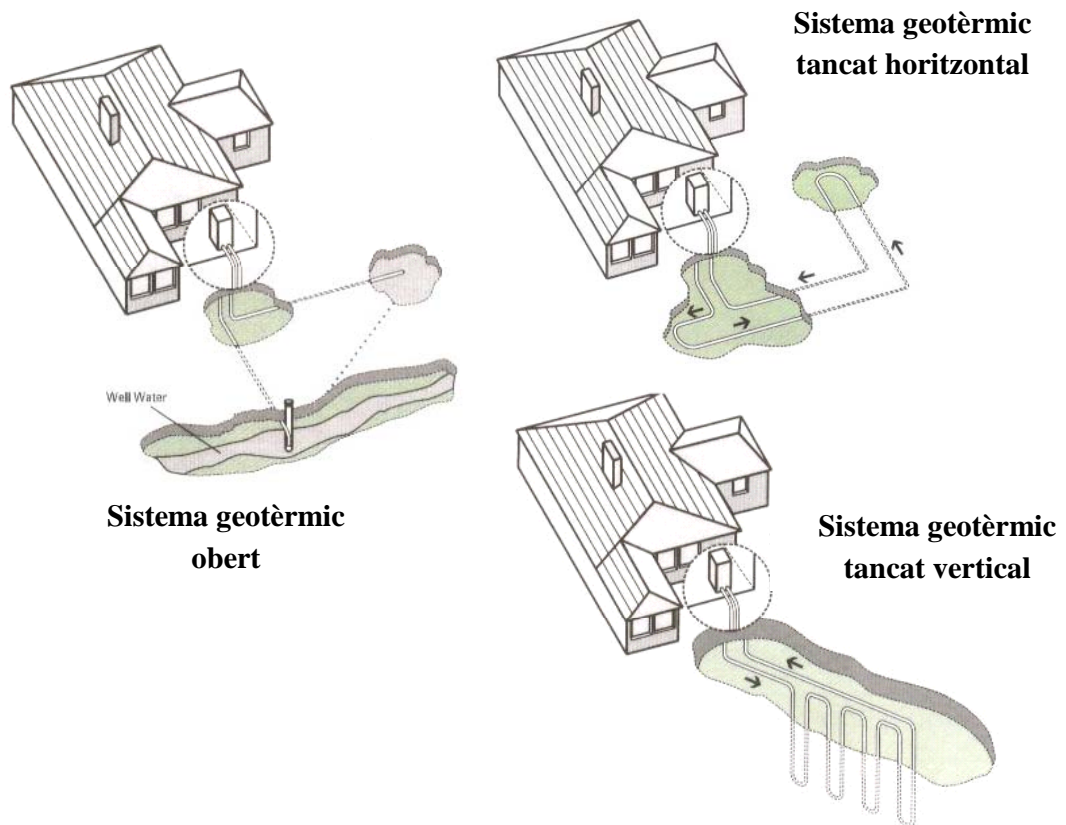


Figura 1. Esquema de funcionament de bombes de calor geotèrmiques per a climatització d'edificis: a l'esquerra, mitjançant circuit obert que requereix aigua (subterrània, en aquesta Guia breu); a la dreta, mitjançant circuit tancat horitzontal (a dalt) o vertical (a baix), que només bescanvia energia amb el subsòl per conducció.
Figures modificades de Natural Resources Canada's (2004).

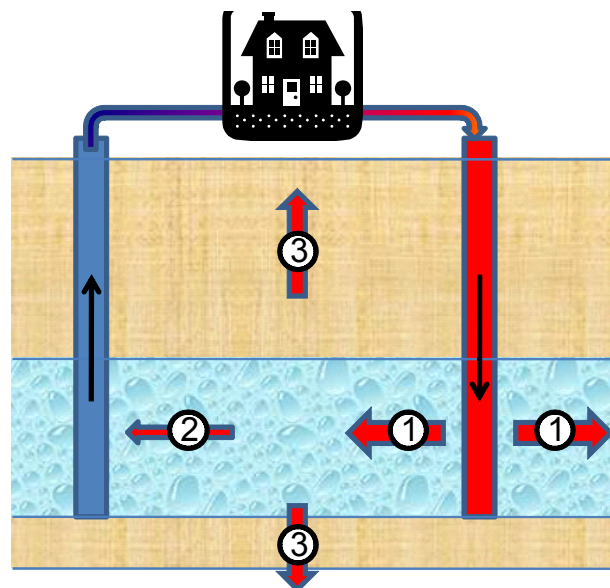


Figura 2. Mecanismes de transport de calor en el subsòl. En sistemes oberts, l'advecció o convecció (1) és generalment el procés dominant però hi pot haver problemes a causa de la recirculació al pou d'extracció (2) i de la conducció a través del sòl (3).

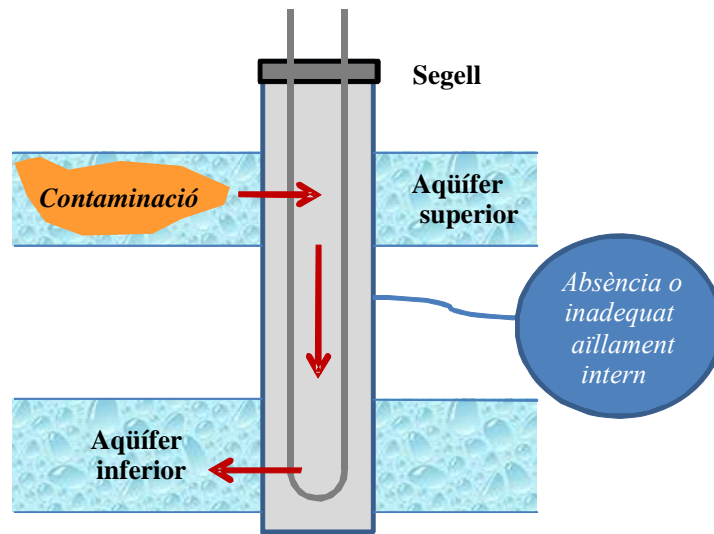


Figura 3. Alguns dels riscos derivats de la instal·lació de sistemes tancats.

La Guia CLIMACA fou elaborada per la consultoria hidrogeològica ENVIROS SPAIN SL (actualment, AMPHOS XXI CONSULTING SL) sota la direcció de la Unitat Tècnica de de Concessions de l'Agència, en el marc del contracte CT06001578.

Aquesta Guia abreujada en resumeix les dades i resultats considerades de major interès, i ha estat desenvolupada directament per la Unitat Tècnica de Concessions, amb finalització a 19 de gener de 2010. Qualsevol consulta pot ser dirigida a Alfredo Pérez-Paricio (aperezpa@gencat.cat).





ÍNDIX DEL DOCUMENT

RESUM	3
1. REVISIÓ INTERNACIONAL: NORMATIVA	9
2. REVISIÓ INTERNACIONAL: NORMATIVA I CRITERIS EN SISTEMES OBERTS ..	11
3. TRAMITACIÓ ADMINISTRATIVA PER A GEOTÈRMIA	13
4. TEORIA DEL TRANSPORT DE CALOR	15
4.1. Equacions del transport de calor	15
4.2. Solucions analítiques d'interès	16
5. APLICACIÓ DE MODELS NUMÈRICS DE TRANSPORT	21
6. SOSTENIBILITAT DE LA GEOTÈRMIA DE BAIXA T ^a : CRITERIS	23
REFERÈNCIES.....	25





1. REVISIÓ INTERNACIONAL: NORMATIVA

La conclusió principal de les consultes efectuades a nivell internacional és que **són pocs els països en què existeix una legislació específica per a instal·lacions de sistemes geotèrmics oberts de climatització** (Taula 1).

Taula 1. Normativa en els països estudiats.

EUA:	“Class V UIC study fact sheet”, de l’Environmental Protection Agency (www.epa.gov): hi ha apartats específics per a cada Estat (<i>shallow injection wells</i>). Pot consultar-se les regulacions de cada estat per a les bombes de calor geotèrmiques a www.geoexchange.com .
Suècia:	Hi ha legislació específica i els documents: <i>Normbrunn’97</i> i <i>Värmepumpar de Mijösamverkan</i> .
França:	La llei d’aigües del 1992 conté limitacions de temperatura i s’han desenvolupat unes recomanacions per a aquests sistemes (AQUAPAC). També, existeix la garantia AquaPAC, l’“Arrêté du 23 février 2001” i la “Méthodologie relative aux déclarations de mise en place des pompes à chaleur sur nappe en Ile-de-France”, de l’ADEME.
Suïssa i Àustria:	L’ús de bombes de calor és bastant comú. Han optat a desenvolupar una legislació específica per a l’ús d’aigua com a font energètica, que no estava disponible en el moment de tancar aquest document
Alemanya:	S’hi han establert alguns estàndards, però la utilització de sistemes oberts és menys comú i per tant la legislació més escassa. S’ha pogut consultar el VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. VDI 4640 part 1, 2, 3 i 4.
Grècia i Romania:	Legislació inexistent per sistemes oberts perquè la utilització de bombes de calor és recent i gairebé exclusiva de sistemes tancats
Regne Unit:	Consta de tres documents de l’Environment Agency (Descripció, Marc tècnic i Eines), més un de Legislació que no és totalment públic. Obtingut a: www.environment-agency.gov.uk .
Noruega:	Hi ha les actes en relació al sector de fonts d’energia i aigua de Noruega del “Det Kongelige Olje- OG Energidepartement” del “Royal Ministry of Petroleum and Energy”.

A nivell espanyol, cap destacar l’important esforç que està duent a terme la Fundació para la Energía de la Comunidad de Madrid, qui ve publicant guies i material d’interès (FENERCOM, 2007). Tanmateix, no hi ha normes encara disponibles.



2. REVISIÓ INTERNACIONAL: NORMATIVA I CRITERIS EN SISTEMES OBERTS

Taula 2. Revisió comparada dels criteris tècnics usats a d'altres països per als sistemes geotèrmics oberts.

GRADIENT DE TEMPERATURA <i>(diferència màxima entre aigües extretes i injectades)</i>	
NORMA	Limitat a 11°C en França, a 6°C a Alemanya, 3°C a Suïssa i 0,5°C per al pou d'extracció a Dinamarca
RECOMANACIONS	Més usual és a l'entorn de 5° (Canadà i Àustria). A Suècia tot hi haver-n'hi una legislació no s'especifica cap límit
ALTRES	A Idaho i Holanda, no s'hi especificat cap límit, s'exigeix un estudi per verificar la viabilitat del sistema i una afecció mínima a l'aqüífer
UTILITZACIÓ D'ADDITIUS <i>(per limitar creixements bacterians a l'aigua d'injecció al pou)</i>	
NORMA	Generalment, prohibida (Canadà, Delaware, Suècia, Suïssa, Holanda...)
RECOMANACIONS	A d'altres països, es recomanen algunes accions preventives (Suècia, Alemanya i Holanda)
ALTRES	En alguns casos es pot obtenir una derogació amb un estudi i petició adequada (França, Dinamarca, Idaho i Canadà)
AQÜÍFERS INVOLUCRATS <i>(limitacions relatives als pel que fa a l'aigua extreta i injectada)</i>	
NORMA	S'exigeix utilitzar un únic aquífer (Canadà, França, Delaware, Missouri, Alemanya, Suïssa o Dinamarca), a excepció de Suècia que no té limitacions
RECOMANACIONS	En alguns casos (Idaho i Holanda) es recomana preservar la qualitat i quantitat de les aigües subterrànies

(segueix Taula 2)

ÀREES PROHIBIDES <i>(zones on la instal·lació de bombes de calor amb sistemes oberts no és permesa)</i>	
NORMA	En molt casos, a les zones de subministrament d'aigua potable i/o mineral està prohibit construir una instal·lació de bomba de calor (Alemanya, Holanda...), o en zones de protecció com parcs naturals (França...). Tampoc es pot construir en algunes zones contaminades, o en aquells llocs on es trobin tancs sèptics (Estats Units o Suècia)
ALTRES	A França, és requereix addicionalment un control del pou d'injecció dels següents paràmetres: temperatura, pressió, anàlisi de l'aigua injectada i nivell freàtic. Es precisa que a Bavera (Alemanya) existeix una simplificació de la legislació quan es fa ús de les aigües subterrànies per ús exclusiu de calefacció i no climatització.

3. TRAMITACIÓ ADMINISTRATIVA PER A GEOTÈRMIA

Taula 3. Proposta de tràmits administratius per a sistemes geotèrmics de climatització.

SISTEMES TANCATS	
Tràmits davant l'Agència:	Cal sol·licitar sempre autorització d'obres abans de fer les perforacions L'Agència determinarà si l'autorització és necessària o no en funció de l'emplaçament previst
Requisits constructius:	Evitar contaminacions creuades entre nivells permeables a diferents fondàries durant i després de les obres de perforació i de col·locació del material de reblert al voltant dels tubs de bescanvi geotèrmic
SISTEMES OBERTS	
Tràmits davant l'Agència:	Si els pous no existeixen, caldrà demanar i obtenir permís d'investigació previ , independentment del volum previst Un cop els pous estiguin construïts, caldrà demanar i obtenir concessió administrativa que inclourà l'ús i l'abocament de l'aigua, independentment del volum
Requisits de disseny:	Presentar memòria o projecte constructiu subscrit per tècnic competent que inclogui l'extracció (captació) i el retorn (abocament) de l'aigua

NOTA: S'ha concebut formularis web específics per realitzar els tràmits indicats a la Taula 3. Aquest plantejament elimina l'obligació de tramitar la captació i l'abocament per separat en sistemes oberts, i pot simplificar els tràmits per als sistemes tancats.



4. TEORIA DEL TRANSPORT DE CALOR

Aquest apartat presenta els fonaments del transport de calor en el subsòl, governat, llevat d'anomalies tèrmiques, per dos processos: convecció (pel flux de l'aigua) i conducció (a través dels grans del sòl, en el qual es basen els sistemes tancats).

Entre la multitud de referències consultables, destaquen Dwyer i Eckstein (1987), Diao et al. (2004) i Rafferty (2003). Però cal fer menció especial a Ferguson i Woodbury (2006), qui demostraren que la distància entre pous de injecció i de retorn ha de ser superior a un valor determinat –depenent de les propietats del medi i del cabal i salt tèrmic pretesos– si es vol garantir la viabilitat d'un sistema geotèrmic obert. La complexitat del problema (flux d'aigua i transport d'energia) obliga en general a fer càlculs numèrics, però interessa en particular els treballs analítics, com ara d'Uffink (1983) o Yang i Yeh (2008).

4.1. Equacions del transport de calor

El transport de calor pot escriure's de la següent forma, on la temperatura és la variable d'estat (T , expressada en °K):

$$\phi R \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(D \nabla T) - (q \nabla T) + \gamma_R \quad (\text{Eq. 1})$$

on hi ha 3 paràmetres denominats: factor de retard, R (-); coeficient de dissipació, D ($\text{m}^2 \text{d}^{-1}$), i la conductivitat tèrmica de l'aqüífer, λ ($\text{J d}^{-1} \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$), que venen definits per les equacions següents:

$$R = 1 + \frac{(1 - \phi) \left(\frac{\rho_s c_s}{\rho_w c_w} \right)}{\phi} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$D = \alpha q + \frac{\lambda}{\rho_w c_w} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\lambda = (\phi \lambda_w) + ((1 - \phi) \lambda_s) \quad (\text{Eq. 4})$$

Les magnituds que apareixen a les 3 equacions anteriors són la densitat de l'aigua, ρ_w (Kg m^{-3}) i del sòlid, ρ_s (Kg m^{-3}), la calor específica de l'aigua, c_w ($\text{J Kg}^{-1} \text{K}^{-1}$) i del sòlid, c_s ($\text{J Kg}^{-1} \text{K}^{-1}$); la porositat, ϕ (-); el temps, t (d); la dispersió, D ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$) i la velocitat de Darcy, q (m d^{-1}). Hi pot haver també un terme d'entrada o sortida d'energia al sistema, γ_R (J d^{-1}).

L'equació (Eq. 1) pot adimensionalitzar-se per tal de possibilitar-ne una manipulació més còmoda i comparar-ne els resultats. Si es fa servir les anomenades variables adimensionals, que duen el subíndex D, mitjançant el temps característic, t_c (d), la longitud característica, L_c (m), i la temperatura característica, T_c (K):

$$t_D = \frac{t}{t_c}, \quad L_D = \frac{x}{L_c} \quad \text{i} \quad T_D = \frac{T - T_0}{T_c - T_0} \quad (\text{Eq. 5})$$

Llavors, s'obté l'equació de transport adimensional:

$$\frac{\partial T_D}{\partial t_D} = \frac{t_c}{L_c^2 \phi R} \left(\alpha q + \frac{\lambda}{\rho_w c_w} \right) \nabla^2 T_D - \frac{t_c q}{L_c \phi R} \nabla T_D \quad (\text{Eq. 6})$$

L'estacionari s'assoleix, si és possible, quan $t_D = 1$. Això permet obtenir els temps característics de convecció (t_{conv}) i de conducció (t_{cond}):

$$t_{conv} = \frac{L_c \phi R}{q} \quad t_{cond} = \frac{L_c^2 \phi R \rho_w c_w}{\lambda} \quad (\text{Eq. 7})$$

4.2. Solucions analítiques d'interès

La Taula 4 sintetitza algunes de les solucions analítiques que poden ajudar en la determinació a priori de l'impacte/extensió del plomall de calor en l'aquífer. Cal tenir en compte que sempre són càlculs simplificats, teòrics, i que per tant no poden substituir en cap cas determinacions més completes, basades en dades reals de cada emplaçament.

La Taula 5 presenta equacions de càlcul fàcil que serveixen com a primera aproximació per tal de quantificar l'avanç del front de calor en el subsòl.

Taula 4. Resum d'algunes solucions analítiques d'interès per al transport de calor.

1. DIPOL (injecció en un pou i extracció en un altre pou, mateix cabal)	
<p>Q (m³ d⁻¹): cabal</p> <p>b (m): gruix de l'aqüífer</p> <p>L (m): distància entre pous</p>	<p>Temps de recorregut d'una partícula una distància L:</p> $t_{TR} = \frac{\pi}{3} \frac{\gamma}{\rho_w c_w} \frac{L^2 b}{Q} \quad (\text{Eq. 8})$
2. COLUMNA SEMIINFINITA (injecció constant de calor en un pou)	
<p>v (m d⁻¹): velocitat real (q/φ)</p> <p>T₀ (K): temp. d'injecció</p> <p>x (m): distància al pou</p>	$\frac{T(x,t)}{T_0} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left\{ \frac{Rx - vt}{\sqrt{4RDt}} \right\} - \frac{1}{2} \exp \left(-\frac{vx}{D} \right) \operatorname{erfc} \left\{ \frac{Rx + vt}{\sqrt{4RDt}} \right\} \left(1 + \frac{Rx + vt}{\left(\frac{RD}{v} \right)} \right) + \sqrt{\frac{v^2 t}{\pi RD}} \exp \left(-\frac{vx}{D} - \frac{(Rx + vt)^2}{4RDt} \right) \quad (\text{Eq. 9})$

(segueix Taula 4)

3. FRONT RADIAL (injecció i extracció d'un mateix cabal en pous diferents)

Q (m³ d⁻¹): cabal

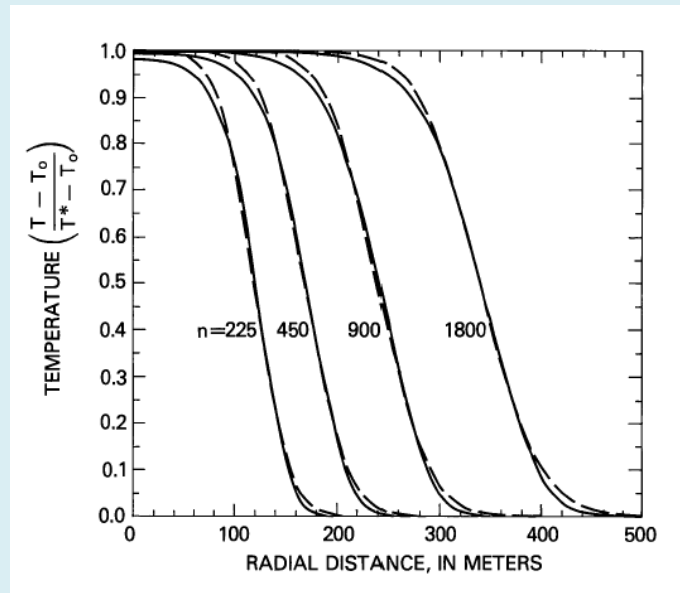
T₀ (K): temp.
inicial aqüífer

r (m): distància

T* (K): temp.
d'injecció

$$\left(\frac{T - T_0}{T^* - T_0} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left\{ \frac{r^2 - (r^*)^2}{2 \left[\left(\frac{4}{3} \alpha_L \right) (r^*)^3 + \left(\frac{\lambda}{A_T \rho_w} \right) (r^*)^4 \right]^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (\text{Eq. 10})$$

$$A_T = \left(\frac{\phi \rho_w c_w}{\gamma} \right) \frac{Q}{2\pi \phi b \rho_w} \quad r^* = (2A_T t)^{\frac{1}{2}}$$



Taula 5. Equacions senzilles per a una primera aproximació al transport de calor.

1. Recirculació en sistemes oberts	
<p>K (m d⁻¹): cond. hidràulica</p> <p>b (m): gruix de l'aquífer</p> <p>i (-): gradient hidràulic natural</p>	$L < \frac{2 Q}{K b i} \quad (\text{Eq. 11})$ <p>Si la separació entre el pou d'injecció i el d'extracció és inferior a la relació indicat, llavors es produirà afecció tèrmica al pou d'extracció o "reciclatge de calor"</p>
2. Velocitat (mitjana) del transport de calor	
<p>u* (m d⁻¹): velocitat de transport de calor (mitjana)</p>	$u^* = \frac{\rho_w c_w}{\rho_s c_s} v_D = \frac{\rho_w c_w}{\rho_s c_s} v \phi \quad (\text{Eq. 12})$ <p>L'aigua subterrània flueix des del pou d'injecció cap al pou d'extracció, però la calor viatja més lentament que les molècules d'aigua. Aquesta equació és vàlida per a aquífers sorrenca porosos, no per als fracturats.</p>
3. Temps d'arribada de la calor: Darcy	
<p>L (m): distància</p> <p>Δh (m): diferència de nivell</p>	$t = \frac{L}{v} = \frac{\phi L^2}{K \Delta h} \quad (\text{Eq. 13})$ <p>Aplicació convencional de la llei de Darcy.</p>
4. Temps d'arribada de la calor: Himmelsbach	
<p>Q (m³ d⁻¹): cabal</p>	$t = \pi \phi b \frac{L^2}{3 Q} \quad (\text{Eq. 14})$



5. APLICACIÓ DE MODELS NUMÈRICS DE TRANSPORT

Es distingeix tres mètodes de resolució de l'equació de transport de calor, depenent de com resolen el terme convectiu:

1. Seguiment de partícules basat en mètodes Eulerians-Lagrangians, on hi ha el Mètode de Característiques (MOC), el Mètode Modificat de Característiques (MMOC) i el mètode híbrid MOC/MMOC.
2. Diferències finites estàndard al temps, cap endavant (UFD, més estable) i centrades (CFD, més exacte). És l'únic grup de mètodes que poden tractar el terme convectiu de forma implícita o explícita en el temps (ponderat).
3. Mètode TVD.

Per poder resoldre el transport de calor amb els codis numèrics existents d'hidrologia subterrània, cal convertir els paràmetres al transport convencional de soluts, tot fent les manipulacions adients. La Taula 6 mostra l'equivalència de paràmetres necessària amb un codi numèric comercial àmpliament usat, Visual MODFLOW.

Taula 6. Equivalència de paràmetres de transport de calor i solut amb Visual MODFLOW.

	<i>Transport de solut</i>	<i>Transport d'energia</i>
Porositat	\emptyset	\emptyset
Retard (R)	$1 + \frac{\rho_b k_d}{\phi}$	$1 + \frac{(1 - \phi) \frac{\rho_s c_s}{c_w \rho_w}}{\phi}$
Coeficient de difusió	Dm	$\frac{\lambda}{c_w \rho_w \phi}$
Dispersivitat	α_L, α_T	α_L, α_T

La Taula 7 resumeix les conclusions de la comparativa realitzada amb els codis numèrics Visual MODFLOW (Harbaugh et al., 2000), TRANSIN (Medina et al., 2001) i SUTRA (Voss, 1984). Tots tres permeten resoldre el problema, encara que de manera sensiblement diferent.

Taula 7. Conclusions de la comparativa de codis numèrics emprats.

Diferències a tenir en compte entre SUTRA, TRANSIN (TRAN) i Visual MODFLOW (VMOD).	
Unitat de temps	SUTRA exigeix treballar en segons, la resta no VMOD (via MT3DMS) fixa el pas de temps de càlcul ja que el limita segons el número de Courant, $C = \frac{v\Delta t}{\Delta x} \leq 1$
Permeabilitat	SUTRA treballa amb permeabilitat intrínseca, k [m^2], mentre que TRAN i VMOD ho fan amb conductivitat hidràulica, K [$m d^{-1}$]. Ambdues estan relacionades per $K = k \frac{\rho g}{\mu}$, cosa que implica que K pot variar amb la temperatura a SUTRA
Densitat del fluid	SUTRA és l'únic que treballa amb densitat variable, expressada com: $\rho(T) \cong \rho_0 + \frac{\partial \rho}{\partial T}(T - T_0)$ on $\frac{\partial \rho}{\partial T}$ és una constant que pren valors diferents en funció del rang de temperatures; entre 20 i 60 °C, val aproximadament 0,375 $kg/m^3/^\circ C$
Viscositat del fluid	De nou, SUTRA fa servir una funció de la temperatura per a la viscositat, μ ($kg m^{-1} \cdot s^{-1}$): $\mu(T) \cong (239,4 \cdot 10^{-7}) 10^{\frac{248,37}{T+133,15}}$
Conductivitat tèrmica	SUTRA: s'introdueix separatament la del fluid i la del sòlid, i el codi calcula la de l'aqüífer com $\lambda \cong \phi S_w \lambda_w + (1 - \phi) \lambda_s$
Cabal d'aigua	A SUTRA, s'introdueix com a massa per unitat de temps. A TRAN i VMOD es fa en volum per unitat de temps.
Variables de treball	SUTRA utilitza pressions, VMOD nivells piezomètrics i TRAN pot fer servir ambdues variables, relacionades per l'expressió: $h \cong z_0 + \frac{P}{\rho g}$

6. SOSTENIBILITAT DE LA GEOTÈRMIA DE BAIXA T^a: CRITERIS

Els **llindars i criteris exposats en aquest apartat han de ser presos com a orientatius**, ja que l'emplaçament escollit i conceptes com ara la vulnerabilitat del medi o els usos actuals/potencials de la zona en condicionaran la viabilitat geotèrmica al final.

1. Realitzar proves in-situ (sempre)	
Sistemes tancats	Assaigs de resposta termal o "thermal response test" per disposar d'informació real i no només bibliogràfica
Sistemes oberts	Assaigs hidràulics i, si és viable i adient, de traçadors que donin informació addicional sobre el transport de <i>contaminants</i> (concepte on s'inclou la calor)
2. Si la potència instal·lada > 50 kW:	
Abans de construir el sistema:	Caldrà fer un estudi d'impacte que podria incloure simulacions numèriques, preferiblement 3-D si el sistema és obert
Durant la vida útil del sistema:	El seguiment podrà incloure aspectes hidràulics (ascensos/descensos), tèrmics (propagació del plomall de calor) i bioquímics (davant possibles canvis induïts al medi)
<p><i>El llindar dels 50 kW és vàlid tant per als sistemes oberts com per als tancats, però sempre serà funció de l'emplaçament i objecte de revisió en el futur.</i></p> <p><i>En sistemes tancats verticals, això pot equivaler a entre 500 i 2.500 m de perforació total, depenent de l'extracció de calor específica, estimada entre 100 i 20 W/m, respectivament –d'aquí la importància de les proves de camp.</i></p>	
3. Els sistemes geotèrmics només podran ser autoritzats si els edificis disposen de certificació d'eficiència energètica elevada	
Comentari:	Criteri vàlid tant per sistemes oberts com tancats
<p><i>Aquest requisit no és aplicable actualment però hauria d'esdevenir clau en el futur immediat mitjançant la coordinació necessària entre els estaments implicats</i></p>	

 criteris només per a sistemes oberts:	
<i>L'adopció d'altres solucions ha de ser sempre degudament justificada</i>	
1	Injectar l'aigua utilitzada al mateix aquífer del que s'ha extret.
2	Explotar preferiblement l'aquífer superior
3	Limitar el gradient tèrmic a 6 °C (diferència de temperatura entre l'aigua d'injecció i l'originària de l'aquífer), llevat que se'n justifiqui tècnicament un altre valor
4	Prohibir-los dins del perímetre de protecció de captacions per a consum humà i de zones protegides o contaminades
5	Cal comprovar els càlculs de distàncies teòriques amb proves in-situ i/o modelacions numèriques. Les equacions analítiques senzilles presentades a l'apartat 4. d'aquesta Guia abreujada tenen caràcter estimatiu
6	Operar el sistema de climatització en mode dual (refrigeració i calefacció) sempre que sigui possible, per tal de compensar les càrregues tèrmiques estacionals sobre l'aquífer i ajudar a la sustentabilitat de la instal·lació a futur
7	No utilitzar additius, llevat que estigui justificat (p.ex., per prevenir la colmatació del pou d'injecció) i se'n faci un control i seguiment de la seva incidència en el medi

 criteris només per a sistemes tancats:	
1	Cal evitar fluxos verticals d'aigua a través de la perforació tot instal·lant-hi materials de bona qualitat i baixa permeabilitat
2	Els criteris aquí exposats podran ser relaxats/suprimits en els casos de poc/nul impacte en el subsòl, com ara: (1) perforacions subhorizontals, (2) quan només es travessa un nivell d'aigua

REFERÈNCIES

- Banks, D. (2008). An introduction to Thermogeology: ground source heating and cooling. *Blackwell Publishing*. 339 pp.
- Diao, N.; Q.Li; Z.Fang (2004). Heat transfer in ground heat exchangers with groundwater advection. *International Journal of Thermal Sciences*, 43: 1203–1211.
- Dwyer T.E.; Y.Eckstein (1987). Finite-element simulation of low-temperature heat-pump-coupled, aquifer thermal energy storage. *Journal of Hydrology*, 95: 19-38.
- FENERCOM (2007). Guía de la energía geotérmica. Reallitzada per G.Llopis i V.Rodrigo per a la *Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid*. <http://www.fenercom.com/Publicaciones/Geotermia.pdf>
- Ferguson, G.; A.D.Woodbury (2006). Observed thermal pollution and post-development simulations of low-temperature geothermal systems in Winnipeg, Canada. *Hydrogeology Journal*, 14: 1206–1215.
- Harbaugh, A.W.; E.R.Banta; M.C.Hill; M.G.McDonald (2000). MODFLOW 2000, the U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model - User guide to modularization concepts and the groundwater flow process. *US Geological Survey Open-File Report 00–92*, 130 pp. <http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/modflow2000/ofr00-92.pdf>
- Medina, A.; G.Galarza; J.Carrera (2001). TRANSIN IV. Modelos de flujo y transporte en la geosfera: Código Transin. *IV Jornadas de I+D Tecnológico de Gestión de Residuos Radiactivo de ENRESA Vol. III. Technical publication PT09-01*, pp 195-204.
- Natural Resources Canada's (2004). Cooling and heating with a heat pump. ISBN 0-662-37827-X. 33 pp. <http://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/home/heating-heat-pump/booklet.pdf>
- Rafferty, K. (2003). Ground water issues in geothermal heat pump systems. *Ground Water*, 41 (4): 408-410.
- Sanner, B.; C.Karytsas; D.Mendrinis; L.Rybach (2003). Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage in Europe. *Geothermics*, 32: 579–588.
- Uffink, G.J.M. (1983). Dampening of fluctuations in groundwater temperature by heat exchange between the aquifer and the adjacent layers. *J.Hydrology*, 60, 1-4: 311-328.
- Voss, C.I. (1984). A finite element simulation model for saturated-unsaturated fluid-density-dependent groundwater flow with energy or chemically-reactive single species solute transport. *US Geological Survey WRIR 84-4369*, 409 pp.



- Yang, S.Y.; H.D.Yeh (2008). An analytical solution for modelling thermal energy transfer in a confined aquifer system. *Hydrogeology Journal*, 16: 1507-1515.
- Verein Deutscher Ingenieure, VDI (2001). Thermal use of the underground-ground source heat pump systems. Guia (vol. 2) editada per Beuth Verlag GmbH, Alemanya.

Algunes adreces web:

www.environment-agency.gov.uk

www.epa.gov

www.fenercom.com

www.forumgeotermia.com

www.gencat.cat/aca

www.geoexchange.com

www.geoplat.org

www.groundreach.eu

www.qtrh.eu

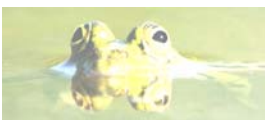






**Agència Catalana
de l'Aigua**

Guia CLIMACA (abreujada)



Generalitat de Catalunya
**Departament de Medi Ambient
i Habitatge**