

Aprovechamiento geotérmico somero del acuífero aluvial urbano de Zaragoza: primeros resultados

Geothermic use of the urban alluvial aquifer of Zaragoza: first results

Eduardo Garrido ⁽¹⁾, José Angel Sánchez Navarro ⁽²⁾ y Pablo Coloma ⁽³⁾

⁽¹⁾ Instituto Geológico y Minero de España. Oficina de Proyectos de Zaragoza. Manuel Lasala 44, 9ºB 50006, Zaragoza. egarrido@igme.es

⁽²⁾ Universidad de Zaragoza. Dpto. Ciencias de la Tierra (Hidrogeología) Pedro Cerbuna, 12 50009 Zaragoza. joseange@unizar.es

⁽³⁾ Confederación Hidrográfica del Ebro. Paseo Sagasta 24-26, 50071 Zaragoza. pcoloma@chebro.es

ABSTRACT

The use of the groundwater geothermal energy of the alluvial Ebro river aquifer constitutes a growing practice the city of Zaragoza. More than 150 wells are involved in the biggest nucleus of exploitation in Spain for its density and installed power. The carried out studies have characterize the uses and let to draw a thermal map of the aquifer showing the effect generated by the return of hotter water after a refrigeration processes. To prevent geologic and water catchment impacts in the city it is required to adopt technical and normative measures of support to the administration.

Key words: Groundwater, geothermal energy, urban, temperature, impact.

Geogaceta, 49 (2010), 115-118
ISSN: 2173-6545

Fecha de recepción: 15 de julio de 2010
Fecha de revisión: 3 de noviembre de 2010
Fecha de aceptación: 26 de noviembre de 2010

Introducción

La explotación de recursos geotérmicos de muy baja entalpía, apenas simbólica en España hasta fechas recientes, comienza a ser una realidad tangible gracias sobre todo a la progresiva introducción de las bombas de calor y al impulso que supone la Directiva 2009/28/CE relativa al fomento de Energías Renovables.

Los recursos geotérmicos de muy baja entalpía aprovechan la energía almacenada en el subsuelo a menos de 250 m de profundidad, incluida la proveniente de las aguas subterráneas, cuya temperatura es inferior a 30 °C. La explotación más habitual de estos recursos es mediante sistemas cerrados provistos de geocaptadores enterrados varias decenas de metros y dispuestos horizontal o verticalmente. La principal utilización a nivel mundial es para calefacción.

En la ciudad de Zaragoza debido a la disponibilidad de agua subterránea, el aprovechamiento se realiza mediante sistemas abiertos por lo que se capta agua del acuífero a una determinada temperatura que es transferida a un intercambiador térmico para su aprovechamiento. El clima continental de Zaragoza hace que el aprovechamiento geotérmico sea principalmente para re-

frigeración y un tercio de sistemas para calefacción. El agua captada, se devuelve al acuífero por medio de un segundo pozo aguas abajo del flujo subterráneo. En verano el agua se devuelve más caliente al acuífero, mientras que en invierno se devuelve más fría (el intercambiador extrae calor del agua subterránea).

Zaragoza es en España una ciudad pionera y ejemplo de cómo el aprovechamiento geotérmico se ha ido introduciendo en los últimos 25 años de forma totalmente ajena a cualquier proceso de planificación urbana o de estrategia energética gracias a la iniciativa pública y privada, aunque, en cierto modo, enmascarado como si fuese un uso industrial de las

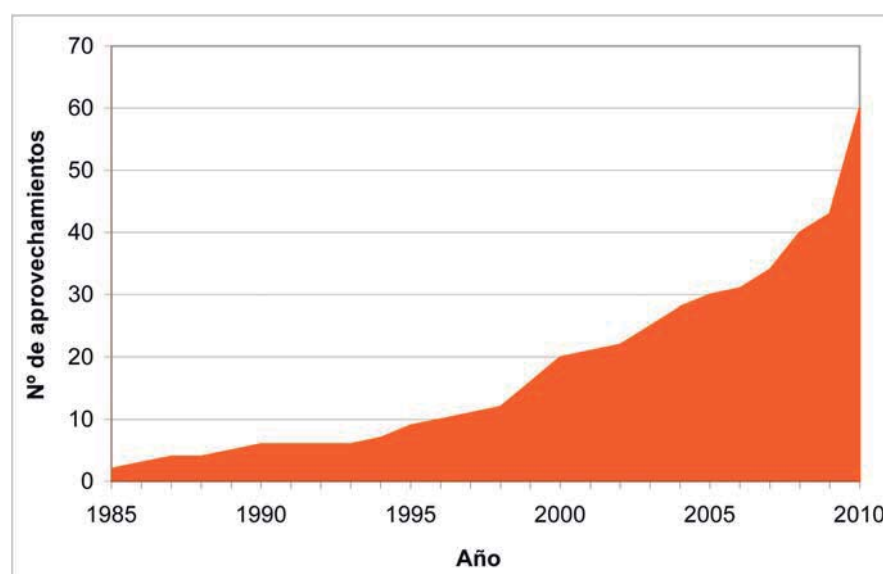


Fig. 1.-Aprovechamientos geotérmicos con bomba de calor en Zaragoza.

Fig. 1.-Number of geothermal systems with ground source heat pump in Zaragoza.

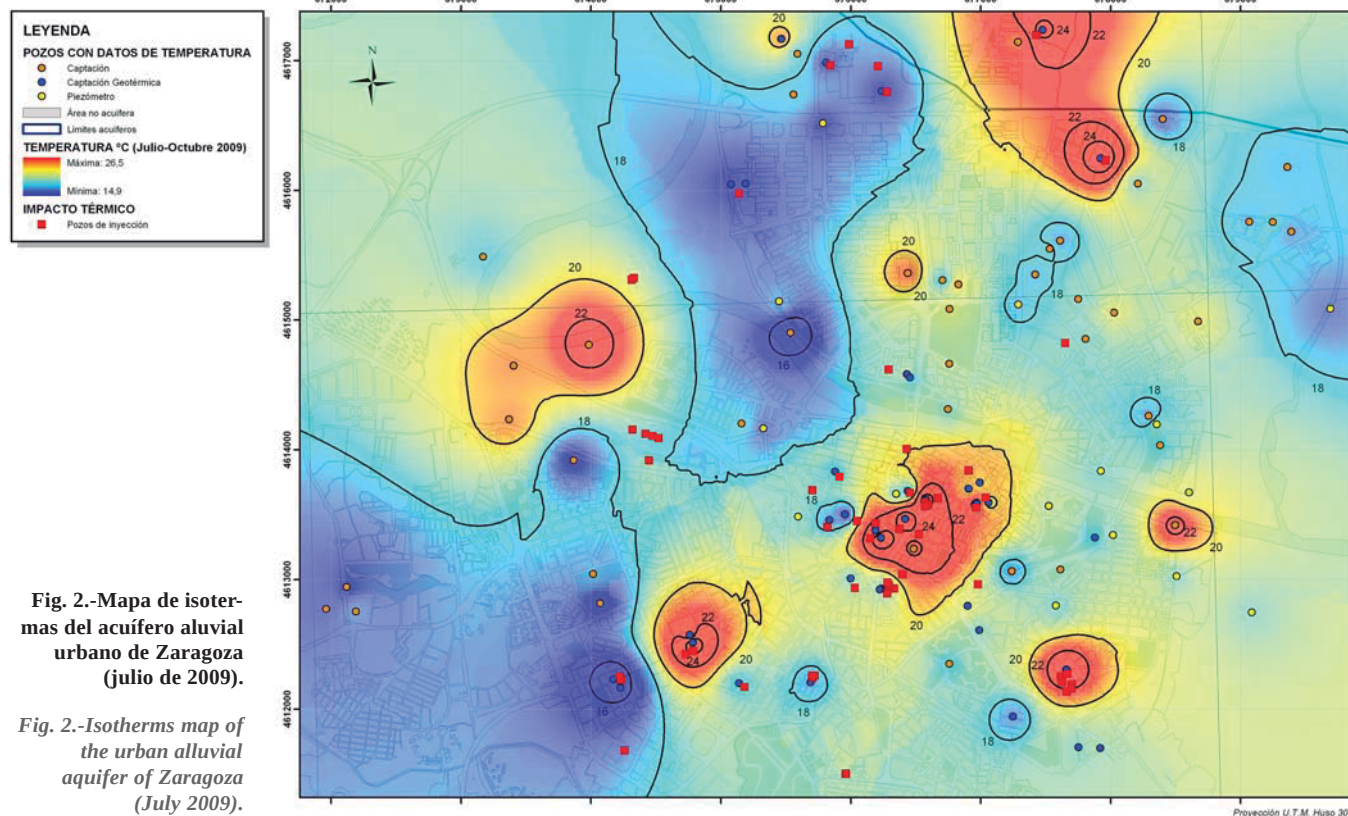


Fig. 2.-Mapa de isoter-
mas del acuífero aluvial
urbano de Zaragoza
(julio de 2009).

Fig. 2.-Isotherms map of
the urban alluvial
aquifer of Zaragoza
(July 2009).

aguas subterráneas. Datos recientes de la Plataforma Tecnológica Española de Geotermia (GEOPLAT, 2010) elevan la potencia total instalada en España con bombas de calor a 60-80 MW, sin apenas haber tenido en cuenta que de la resultados preliminares del estudio que aquí se expone, la aportación de la explotación tan solo en Zaragoza superaría los 30 MW instalados. En la figura 1 se muestra la evolución temporal del número de aprovechamientos existentes en Zaragoza.

Metodología

Se exponen los resultados preliminares de un estudio realizado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) para abordar una metodología que evalúe el impacto del aprovechamiento geotérmico del acuífero urbano de Zaragoza. Hasta la fecha se ha procedido a la supervisión, catalogación de usos y valoración de la explotación en más de 250 puntos de agua que explotan el acuífero urbano. Como resultado se han contabilizado cerca de 150 pozos involucrados en la explotación de recursos geotérmicos, se ha caracterizado la conductividad eléctrica y temperatura del agua subterránea en 120 puntos y se han

realizados 60 registros verticales en otros tantos pozos con los que determinar la variación de estos parámetros en el acuífero.

Se ha abordado un catálogo de aprovechamientos geotérmicos que cuenta actualmente con 60 registros donde se detallan aspectos relativos a los pozos, al proceso de climatización, vertido, temperaturas y saltos térmicos, así como otros referentes a distancias entre aprovechamientos.

Características del acuífero aluvial urbano de Zaragoza

La ciudad de Zaragoza se asienta sobre dos importantes unidades acuíferas o masas de agua subterránea según la terminología de la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE, de 23 de octubre de 2000): el aluvial del Ebro en el tramo comprendido entre la desembocadura del río Jalón y la localidad de Gelsa, y el aluvial del río Gállego. Ambas masas de agua subterránea son de naturaleza detrítica, por tanto con porosidad intergranular, ligadas a las formaciones de terrazas fluviales y glaciares que la dinámica de los ríos Ebro y Gállego han generado.

Las características hidrogeológicas de estos acuíferos aluviales son en térmi-

nos generales bien conocidas, tanto su geometría como las propiedades hidráulicas de los materiales, piezometría y flujos de agua subterránea, (Sahuquillo *et al.*, 1976); también los problemas de contaminación, especialmente los de tipo industrial (Bielza *et al.*, 1994). Más recientemente, los requerimientos de la aplicación de la Directiva Marco Europea del Agua han llevado a una actualización del conocimiento hidrogeológico de estos acuíferos aluviales (Arce *et al.*, 2004; IGME-MOPU, 2005, Garrido *et al.*, 2006). En relación con la ciudad de Zaragoza, esta actualización aparece recogida en el libro de Moreno *et al.* (2008).

Son precisamente estos últimos trabajos los que claramente muestran la conveniencia de definir un acuífero aluvial dentro del entorno urbano de Zaragoza, ya que por sus características hidrogeológicas singulares y por la problemática que con las aguas del subsuelo se generan (contaminación de suelos, acuíferos colgados...) requiere de una metodología de trabajo esencialmente distinta que la del resto del acuífero. El aprovechamiento geotérmico de este acuífero, producido exclusivamente en el entorno urbano, es otra de las circunstancias que hacen conveniente la definición de un acuífero aluvial urbano de Zaragoza.

APROVECHAMIENTO	TITULAR	POZOS				CAPTACIÓN				VERTIDO				CLIMATIZACIÓN		TEMPERATURAS (°C)		
		Nº TOTAL	Nº	Prof. Máx (m)	Caudal/L/s	Nº	Prof. Máx (m)	Caudal/L/s	Vertido m³/año	Nº	Prof. Máx (m)	Caudal/L/s	Vertido m³/año	Potencia Kw	Potencia Kw	CAPTACIÓN	VERTIDO	SALTO TÉRMICO
ARAGONIA	Zaragoza Urbana, S.A.	6	4	44.00	33.60	943020	2	33.60	943020	X				X		14.6	20.9	6.3
BIBLIOTECA DE HUMANIDADES	Universidad de Zaragoza	2	1	45.00	3.97	81406	1	36.00	3.97	81406	X	402	X	542	X	18.0	23.2	5.2
CENITRO ARAGONES DEL DEPORTE	Gobierno de Aragón	1	1	21.53	10.00	315360	0	-	-	-	X			X		16.4	20.5	4.1
CENITRO CÍVICO SAN JOSÉ	Ayuntamiento de Zaragoza	1	1	23.00			0	-	-	-	X			X		17.6		
CENITRO DEPORTIVO A. MAESTRO	Ayuntamiento de Zaragoza - Deportes	1	1				0	-	-	-	X			X		18.0		
CENITRO DEPORTIVO PALAFOX	Ayuntamiento de Zaragoza - Deportes	3	2	30.27	6.33	115566	1	33.00	6.33	115566	X			X		16.9	28.0	11.1
CENITRO DEPORTIVO SIGLO XXI	Ayuntamiento de Zaragoza - Deportes	3	2		25.89	525000	1	25.89	525000	X				X		16.4	29.7	13.3
CINES PALAFOX LAS SALAS	Zaragoza Urbana, S.A.	3	2	50.00	4.83	133521	1	33.00	4.83	133521	X			X		21.0		
DISMINUIDOS FÍSICOS DE ARAGÓN	Disminuidos Físicos de Aragón	2	1	27.50	1.30	24354	1	26.50	1.30	133521	X						26.0	
EDIFICIO ADA RYRON	Universidad de Zaragoza	2	1	24.00	12.86	264000	1	26.00	12.86	264000	X	1796	X	1796	X	16.8	41.9	25.1
ESCUELA INGENIEROS	Universidad de Zaragoza	5	4	36.00	34.75		1	34.75			X	2118	X	2118	X	17.0	29.3	12.3
EDIFICIO ANTIGUO SEMINARIO	Ayuntamiento de Zaragoza	3	2	65.00	29.92	549423	1	64.00	29.92	549423	X			2076		16.83		
EDIFICIO ESCUELA EMPRESARIALES	Universidad de Zaragoza	2	1	38.00	19.04	375255	1	35.00	16.66	375255	X	2000	X	2000	X	16.6	28.3	11.7
EDIFICIO LOS ARCOS	CILUVASA	1	1	21.75			0	-	-	-	X			X		18.1		
EDIFICIO MARISTAS	Gobierno de Aragón	3	2	20.00	22.20	500949	1	23.00	22.20	500949	X			X		22.6	30.7	8.1
EDIFICIO PARANINFO	Universidad de Zaragoza	3	2		42.00	145000	1		42.00	145000	X	2163	X			18.4	32.0	13.6
EDIFICIO PIGNATELLI	Gobierno de Aragón	3	2	40.00		511000	1	40.00		511000	X			X				
EL JUSTICIA	El Justicia	1	1	29.17	0.58	18000	0	-	-	-	X			X		20.0	25.34	
EL PLATA	Aramesa	2	1	36.50	7.60	129004	1	28.00	7.60	129004	X							
ESTACION DELICIAS	ADIF Patrimonio	7	3		83.30	1186500	4	28.00	83.30	1186500	X					18.5	22.0	3.5
IGRAMES PLAZA COMPLEJO	DIAR Desarrollo Urbano Aragón S.L.	2	1	26.00	1.45	23000	1	24.00	1.45	23000	X							
HOSPITAL CLINICO	Gobierno de Aragón Departamento de Salud	6	4	63.00	60.55	941856	2	61.00	60.55	941856	X					21.3	28.5	7.2
HOSPITAL PROVINCIAL	Gobierno de Aragón Departamento de Salud	2	1	37.85	39.97		1	45.00	39.97		X	1400				16.6	24.1	7.5
HOSPITAL SAN JUAN DE DIOS	Hospital San Juan de Dios	4	2	60.00	7.50	72463	2	47.50	7.50		X					17.1		
HOTEL ALFONSO I	Zaragoza Urbana, S.A.	3	2	27.00	17.62	208625	1	25.50	17.62		X					16.9		
HOTEL BOSTON	Inversiones Generales Boston S.A.	1	1	15.67	1.05	15000	0	-	-	-	X			X		18.4		
HOTEL IBERUS	Zaragoza Urbana, S.A.	7	3	32.50	50.00		4	35.00			X			X			29.7	
HOTEL PALAFOX, CASINO y CINE	Zaragoza Urbana, S.A.	3	2	37.00	19.16	184437	1	12.50	3.65	115217	X					20.0	34.0	14.0
IBERCAJA	Ibercaja	7	3	42.00	36.00	614329	4	46.00	24.80	783000	X					17.5	25.0	7.5
LA CASA DEL LOCO	La Casa Del Loco	1	1	14.91	1.06	9135	0				X					20.2		
MERCADO CENTRAL	Ayuntamiento de Zaragoza	2	1	30.00	4.70	96000	1	30.00	4.70	96000	X							
MUTUA ACCIDENTES ZARAGOZA	Mutua Accidentes Zaragoza	3	2	48.00	38.20	563838	1	40.00	16.60	432000	X					20.4	31.5	11.1
PABELLON PRINCIPE FELIPE	Ayuntamiento de Zaragoza - Deportes	2	2	24.60	32.00	350000	0	-	-	-	X			X		17.5		
PUERTA CINEGIA	Ordina	4	1	25.00	54.57	1752000	3	36.00	3.17	100000	X			X		25.0	35.0	10.0
RESIDENCIA REYES DE ARAGÓN	Sekilur, S.A.	6	3	52.00	9.95	100665	3	58.00	13.88	180000	X	735				16.9		
T.V. ARAGÓN POZO-I	Gobierno de Aragón	3	2	20.00	8.15	183384	1	20.00	8.15	257018	X					18.9	19.4	0.5
TRANSPORTES OCHOA	Transportes Ochoa	2	1	30.00	13.43	341548	1	30.00	17.36	400000	X					25.6	29.5	3.9
UTRILLAS PLAZA - ALCAMPO	Alcampo	4	1		16.60	525600	3		16.60	525600	X					24.0	30.4	6.4
UTRILLAS CENTRO COMERCIAL	Utrillas Plaza - Centro Comercial	6	3		85.00	1285200	3	28.40	85.00	1285200	X			X			34.6	
COMPANIA HIJAS DE LA CARIDAD	Compañía Hijas de la Caridad de San Vicente Paul	1	1	30.00	0.16	5124	-	-	-	-	X							

Tabla I.-Aprovechamientos geotérmicos actualmente en funcionamiento (enero de 2010). Existen otros 20 aprovechamientos en realización o pendientes de puesta en funcionamiento.

Table I.-Geothermal exploitations currently in operation (June 2010). There are 20 other exploitations under construction or outstanding work.

El acuífero aluvial se desarrolla sobre un conjunto de terrazas de las que se han definido hasta 8 niveles, si bien, resulta suficiente su agrupamiento en tres grandes grupos de terrazas (altas, medias y bajas) tal y como ya se hizo en el estudio de Sahuquillo *et al.* (1976). Son precisamente las terrazas bajas y medias (5 de los 8 niveles citados) las que mayor relevancia tienen en el casco urbano de Zaragoza. Destacar la importancia del Canal Imperial de Aragón, ya que además de ser un límite hidráulico activo, aporta agua para riego cuyos excedentes son la principal recarga del acuífero.

El acuífero aluvial tiene notables variaciones de espesor, hecho relacionado con la activa karstificación que se produce en el sustrato evaporítico (Sánchez Navarro *et al.*, 2004), destacando grosso modo dos grandes surcos rellenos por más de 40 m de sedimento, uno en la parte sur de la ciudad y otro a lo largo del río Gállego. El río Ebro tiene su cauce sobre un delgado relleno cuaternario de menos de 20 m de potencia, que presenta frecuentes irregularidades locales que dan como resultado la existencia de zonas con espesores de menos de 5 m, junto a pequeños surcos de más de 50 m.

Los parámetros hidrogeológicos del acuífero aluvial son notablemente elevados, siendo frecuentes valores de transmisividad de 2500-3000 m²/día (ex-

cepcionalmente se han medido valores de más de 20000 m²/día).

En cuanto a la caracterización del flujo subterráneo, se dispone de mapas de isopiezas representativas del flujo general desde el trabajo de Sahuquillo *et al.* (1976), si bien es con recientes trabajos de Garrido *et al.* (2006) cuando se ha podido avanzar significativamente en el conocimiento de la dirección y sentido del flujo subterráneo.

Aprovechamiento geotérmico del acuífero urbano

Se han contabilizado cerca de 60 aprovechamientos geotérmicos en la ciudad, de los que 40 están actualmente activos, ver Tabla I. La utilización principal es la de refrigeración de edificios públicos, hospitales, centros comerciales, de ocio u hoteles, pero también para generación de frío industrial en cámaras frigoríficas y climatización de piscinas. Entre el 25-50% de las instalaciones se utilizan también para generar calor durante el invierno.

Las causas de este gran desarrollo reciente son diversas, como la gran ventaja que ofrece este recurso renovable frente a otros sistemas tradicionales de climatización en aspectos de salubridad e higiene (previene del riesgo de aparición de la bacteria *Legionella pneumophilla*), pero ante todo por el menor coste económico

de la explotación ya que la cesión o extracción de calor se hace a un medio (agua subterránea) que tiene variaciones de temperatura notablemente inferiores a las del aire atmosférico, requisito necesario para un buen rendimiento.

En total existen 86 captaciones geotérmicas y 58 pozos de vertido todos ellos con profundidades comprendidas entre 5 y 65 m de profundidad. Cada aprovechamiento cuenta entre 1 y 4 pozos de explotación y otros tantos de vertido, dependiendo de la demanda de caudal.

En el 90% de los sistemas la explotación se considera no consuntiva puesto que el vertido se realiza en el mismo acuífero mientras que en el 10% restante se canaliza a la red municipal de saneamiento. La demanda urbana de agua con fines energéticos en 2009, se eleva a 14,7 hm³ de los que únicamente son consumidos de manera efectiva 0,5 hm³.

Efectos de los aprovechamientos geotérmicos

Los aprovechamientos geotérmicos en Zaragoza apenas tienen incidencia sobre los recursos hídricos del acuífero ya que apenas son consuntivos; por el contrario, si tienen un notable efecto térmico, ya que al predominar su uso como refrigeración

es habitual reintroducir el agua a una temperatura notablemente más elevada. En la Tabla I puede verse que los saltos térmicos llegan a ser superiores a 10 °C (temperatura de vertido de 25 a 35° C).

Con las mediciones realizadas en el contacto con el nivel de saturación en piezómetros y sondeos de captación, se ha podido realizar el mapa de isotermas del acuífero aluvial, ver figura 2. En él puede observarse un notable incremento de la temperatura del agua en las zonas de mayor aprovechamiento, fruto de fenómenos tanto de autointerferencia (el pozo de captación está afectado por su propio vertido térmico), como de interferencia entre aprovechamientos. En general el agua del acuífero tiene una temperatura de entre 15-18°, mientras que en las zonas de explotación se superan los 22-25°C: El incremento normal de temperatura observado en otras ciudades (Ferguson y Woodbury, 2007) puede cifrarse en un máximo de 5° como producto de un efecto isla de calor, ya que debe considerarse el efecto térmico del casco urbano, sótanos y filtraciones de redes de distribución. Un incremento superior a 5°C es sin duda un impacto térmico de los vertidos geotérmicos. Es también destacable el efecto que las aguas del río Ebro tienen en las captaciones situadas en sus proximidades, donde el agua captada tiene la temperatura de las aguas del río (22°C en julio).

Otros efectos observados en los aprovechamientos han sido arrastres de arenas debido a los elevados caudales bombeados e introducidos (más de 80 l/s), colapsos, desbordamiento del caudal inyectado, motivados en general por un inadecuado diseño hidrogeológico del aprovechamiento.

Discusión y conclusiones

Se ha puesto de manifiesto la importancia que el aprovechamiento geotérmico de muy baja entalpía tiene en la ciudad de Zaragoza. La existencia en el subsuelo de un acuífero aluvial con grandes recursos hídricos y muy baja utilización permite su aprovechamiento geotérmico para refrigeración y calefacción de grandes espacios. El aprovechamiento requiere de dobles hidráulicos, pozo de captación y pozo de vertido, que apenas tienen uso consuntivo de agua.

La explotación geotérmica produce un vertido de agua generalmente a más temperatura que la del acuífero, lo que representa una afección térmica que puede afectar a la propia explotación y a otras próximas. La forma en cómo se realiza el vertido es fundamental a la hora de minimizar los impactos en los aprovechamientos, el acuífero y su sustrato impermeable, que por su litología soluble es sensible a cambios de temperatura.

Los aprovechamientos geotérmicos requieren de un estudio hidrogeológico específico que permita conocer las direcciones del flujo subterráneo y los parámetros hidrogeológicos a fin de determinar las distancias mínimas aconsejables entre pozos de captación y vertido del mismo aprovechamiento, y entre los pozos de vertido y terceras captaciones para evitar la interferencia térmica. Deben dimensionarse para que los saltos térmicos no superen los 10°C y las temperaturas de vertido no alcancen los 30°C. Los bombeos no deben superar caudales críticos que generen arrastre de arenas y colapsos de captaciones. Debe evitarse el vertido libre desde superficie mediante conducciones cerradas y sifones, así como controlar la profundidad en el acuífero de las

zonas enrejilladas de los pozos de admisión y de vertido.

Una adecuada gestión del acuífero urbano requiere del apoyo de modelos matemáticos de flujo y calor junto con criterios constructivos y normativas que contribuyan a la sostenibilidad de los aprovechamientos urbanos.

Referencias

- Arce, M., García, M., Garrido, E., del Pozo, M. y Serrano, J. (2004). *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, XX-VII, 121-130
- Bielza, V. y Martínez Gil, F.J. (1994). *Contaminación del acuífero aluvial del corredor del Ebro*. Fundación Nueva Empresa, 71 p.
- Ferguson, G. y Woodbury, A. (2007). *Journal of Geophysical Research*, 109, B02402.
- Garrido, E., García, M., Arce, M. y Serrano, J. (2006). *Hidrogeología y Aguas subterráneas*, 21, 335-342
- Garrido, E., Arce, M., y Van Ellen, W. (2006b). *Hidrogeología y Aguas subterráneas*, 21, 343-349
- Garrido, E. y Sánchez Navarro, J.A. (2009). *Obras urbanas*, 14, 64-69.
- GEOPLAT (2010). *Visión a 2030*. Ministerio Ciencia e Innovación. 51 p.
- Moreno, L., Garrido, E., Azcón, A. y Durán, J. (2008). *Hidrogeología urbana de Zaragoza*. IGME, Madrid, 200 p.
- Sahuquillo, A., López-Camacho, B. y Octavio de Toledo, F. (1976). *Estudio hidrogeológico de las terrazas de los ríos Ebro y Gállego en la zona de influencia de Zaragoza*. Ministerio de Obras Públicas, 118 p.
- Sánchez Navarro, J.A.; Jiménez, N., Galve, P., Asta, M.P. Gómez, L. y Fuentes, J. (2004). *Estudio hidrogeológico de la subsidencia en el entorno de Zaragoza*. Ayuntamiento de Zaragoza, 43 p.