

LA DIVULGACIÓN DE UNA SINGULARIDAD GEOLÓGICA Y MINERA: LAS MANIFESTACIONES HIDROTERMALES DEL N.E. DE CATALUÑA

R. Linares¹, L. Pallí¹, C. Roqué¹ y E. Vall²

1 Departament de Ciències Ambientals. Àrea de Geodinàmica Externa. Universitat de Girona.
17071 Campus Montilivi, Girona. cageo@fc.udg.es

2 Direcció General d'Energia i Mines. Departament d'Indústria, Comerç i Turisme.
Generalitat de Catalunya. Avgda. Diagonal, 514, 2n 08006 Barcelona.

RESUMEN:

Se presentan diversos ejemplos de materiales didácticos creados con el objeto de contribuir a la divulgación del hidrotermalismo de la provincia de Girona.

Palabras clave: Material didáctico, manifestaciones hidrotermales, Girona

ABSTRACT:

This paper presents some examples of didactic resources created to contribute to the spreading of hydrothermalism in the Province of Girona.

Key Words: Didactic resources, hydrothermal manifestations, Girona

INTRODUCCIÓN

Los primeros aprovechamientos de aguas minerales de Cataluña fueron los relacionados con las manifestaciones hidrotermales. Alrededor de estas surgencias se desarrolló una infraestructura, cambiante a lo largo del tiempo (termas, baños, balnearios, hoteles y plantas envasadoras), que facilitó la utilización de este recurso natural. En general, ha sido a través de estos usos, tanto el envasado como el recreativo o terapéutico, como la población ha tenido conocimiento de la existencia de este tipo de manifestaciones.

El Área de Geodinámica Externa de la Universidad de Girona en colaboración con la Dirección General de Energía y Minas de la Generalitat de Cataluña, ha iniciado una línea de trabajo encaminada a la realización de diversas publicaciones, de carácter didáctico, que contribuyan a la divulgación de estas singularidades geológicas.

El objeto de este trabajo es dar a conocer estos materiales. Para ello se presentan algunos ejemplos relativos tanto a aspectos conceptuales del fenómeno como a aspectos locales. Entendemos que estos ejemplos son representativos del trabajo realizado y pueden ser de utilidad para la realización de trabajos similares en otros ámbitos geográficos.

ACTIVIDAD GEOTÉRMICA DE CATALUÑA

Marco regional

Los datos disponibles, relativos a medidas teóricas y reales del flujo calorífico y del adelgazamiento cortical, ponen de manifiesto que a nivel europeo existe una relación evidente entre la tectónica de placas y la fenomenología geotérmica (Albert & Corominas 1985, y Albert, 1988). Así se ha comprobado que los valores mínimos del flujo calorífico se localizan en la zona estable de la plataforma rusa ($< 40 \text{ mW/m}^2$), mientras que los valores máximos se encuentran en Islandia y en el Mediterráneo septentrional ($90\text{-}120 \text{ mW/m}^2$).

El marco geotectónico en el que se encuentra gran parte de Cataluña hace que este territorio sea una de las áreas de Europa con valores más altos de flujo calorífico, de $60\text{-}70 \text{ mW/m}^2$ a $100\text{-}110 \text{ mW/m}^2$, en sentido O-E, es decir, del interior hacia el litoral. Los valores máximos medidos se localizan en las fosas distensivas del Vallès y de la Selva, y en la zona marítima situada frente a la costa de Tarragona, en el límite con Castellón, distribuyéndose, fundamentalmente, a lo largo de las fallas que separan las subplacas Balear y Ibérica. Los mínimos se sitúan hacia el interior (Depresión del Ebro). Globalmente, el valor medio que alcanza el flujo de calor en Cataluña ($85\text{-}90 \text{ mW/m}^2$) es sensiblemente superior a la media europea ($55\text{-}60 \text{ mW/m}^2$). Así pues, la constitución geoestructural de Cataluña facilita la existencia de esta fuente de calor interna que actuará como inductor de las numerosas manifestaciones hidrotermales.

Manifestaciones hidrotermales

En función de la temperatura y de la presencia de gases de origen endógeno (CO_2 , principalmente), se pueden distinguir dos grupos de manifestaciones de aguas subterráneas, genéticamente asociadas a procesos termales: las surgencias de agua caliente con o sin gas, y las surgencias de agua fría y carbónica.

Cabe precisar que un agua se considera termal cuando su temperatura supera en 4 o 5°C la media anual del aire en el lugar de la surgencia. Según este punto de vista, en Cataluña pueden ser consideradas termales las que superan los 22°C en sus puntos de emergencia, siempre y cuando no existan mezclas con aguas frías durante la salida a la superficie. No obstante, el criterio basado en la composición química del agua como reflejo de las condiciones termodinámicas en profundidad es, en último extremo, el que define de manera definitiva el carácter termal de una surgencia.

Las manifestaciones hidrotermales se distribuyen en el Pirineo y en los Catalánides, atendiendo a los flujos de calor anormalmente elevados que allí se alcanzan. En conjunto se conocen una veintena de puntos de descarga natural de aguas termales y en torno a una treintena que corresponden a aguas frías que contienen gas de origen endógeno (Albert, 1988).

En la provincia de Girona es donde se da una concentración más alta a la vez que diversificada de estas peculiares manifestaciones hídricas.

PRINCIPALES ZONAS DE ACTIVIDAD HIDROTERMAL DE LA PROVINCIA DE GIRONA

Las manifestaciones hidrotermales se distribuyen en dos contextos geológicos principales: la depresión de la Selva y zonas adyacentes y el Pirineo oriental (Linares et al., 2000). En ambas zonas se dan las circunstancias geológicas adecuadas para la existencia de sistemas

hidrotermales, tanto relativas a las características hidrogeológicas del medio como al flujo de calor interno.

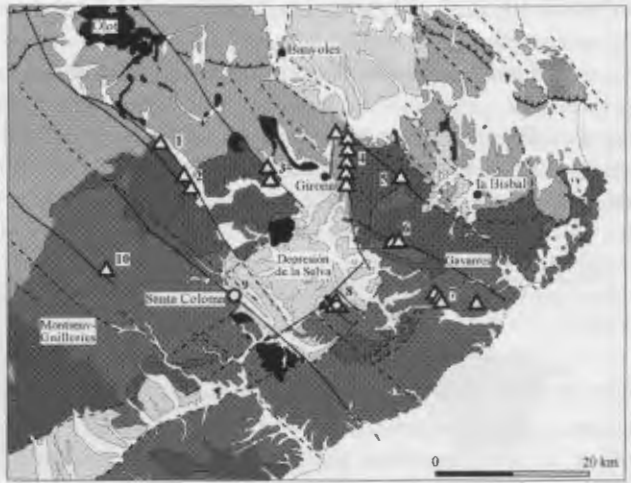
En la depresión de la Selva y zonas adyacentes (relieves limítrofes de los macizos de las Gavarres, Montseny-Guilleries, y del sistema Transversal) se hace patente la estrecha relación existente entre los manantiales termales y/o carbónicos y las grandes fallas directrices que, a escala regional, determinan la estructura en bloques del sector NE de Cataluña, así como la presencia de manifestaciones volcánicas de edad neógena y cuaternaria. Estas fracturas, de dirección predominante N-S y NO-SE, constituyen las vías preferentes de circulación ascendente de estas aguas (Fig. 1).

1.- La depresión de la Selva es una llanura deprimida que forma parte del sistema de valles tectónicos que se formaron como consecuencia de la tectónica distensiva que afectó el margen occidental del Mediterráneo durante el Neógeno. En detalle, la estructura y la dinámica geológica de la depresión de la Selva está determinada

por el movimiento de un conjunto de fallas alineadas ENE-OSO, las cuales actúan conjugadas con otro sistema de dirección NO-SE, responsable de la compartimentación de la fosa. El zócalo está constituido por materiales del Paleozoico, esencialmente rocas graníticas y, en menor proporción, rocas metamórficas. Desde el inicio de su hundimiento, durante el Mioceno superior, hasta la actualidad, se ha ido rellenando con sedimentos detríticos aportados por los torrentes que provienen de los macizos de las Gavarres y de las Guilleries. En conjunto, el espesor de materiales acumulados llega a superar los 300 m en algunos lugares. En esta zona se produjeron importantes manifestaciones volcánicas durante el Neógeno y el Cuaternario, de las que se conservan algunos edificios muy destacables, como el volcán de la Crosa de Sant Dalmai.

Los relieves que envuelven a esta depresión están soportados por materiales de la era Primaria (granitoides y rocas metamórficas) y de la era Terciaria (sedimentos marinos y continentales).

En este contexto geológico se reconocen dos tipologías de manifestaciones de aguas subterráneas genéticamente asociadas a procesos termales: surgencias de agua caliente con o sin gas, y surgencias de agua fría y carbónica. De las primeras solamente se conocen dos casos,



Surgencias termales y/o carbónicas: 1, Amer; 2, Pastoral-Lloret Salvatge; 3, Sant Gregori; 4, Conjunto de Girona; 5, Madremanya; 6, Cassà de la Selva; 7, Conjunto de la Vall d'Aro; 8, Caudes de Malavella; 9, Santa Coloma de Farners; 10, Sant Hilari Sacalm

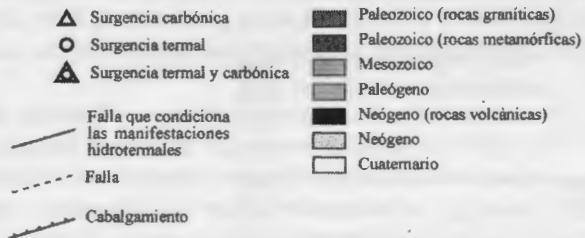


Figura 1- Situación de los principales núcleos de surgencia de aguas termales y/o carbónicas dentro del contexto litoestructural de la depresión de la Selva y zonas adyacentes.

Figure 1- Situation of the main hot springs and/or carbonated springs in the geological context of the depression of La Selva and its adjacent zones.

mientras que de las segundas, conocidas en la zona como "fonts picants", se contabilizan más de una treintena.

Las manifestaciones de Caldes de Malavella y de Santa Coloma de Farners, con temperaturas de surgencia que llegan a alcanzar los 60°C y 45°C respectivamente, corresponden a manantiales claramente termales. Se trata de aguas del tipo bicarbonatado sódico. En el caso de las aguas termales de Caldes de Malavella éstas son también carbónicas, por cuanto incorporan emanaciones gaseosas de origen volcánico. Los caudales de la descarga natural son de unos 8 l/s, en Caldes de Malavella, y del orden de 1 l/s en Santa Coloma de Farners.

Aplicando diferentes métodos estimativos -termodinámicos y químicos-, se prevé que estas aguas provienen de un almacén que en profundidad alcanza valores comprendidos entre 90°C y 130°C.

De la descarga natural de este sistema hidrotermal a lo largo de los últimos miles de años destaca la formación de unos depósitos de ópalo ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), realmente singulares por el contexto hidrogeológico en el cual se desarrollan. Este elemento proviene de minerales presentes en las rocas graníticas por las cuales circula el agua, y que acaba incorporando gracias a las altas temperaturas que alcanza en profundidad.

Dentro del numeroso grupo de fuentes conocidas como "picants", se incluyen dos tipos de aguas subterráneas. Unas son genéticamente idénticas a las termales, anteriormente descritas, pero enfriadas a lo largo de su circuito de salida; otras, en cambio, nunca han experimentado un incremento de temperatura en profundidad. Estas últimas corresponden a aguas subterráneas de circulación más superficial que se mezclan con anhídrido carbónico de origen endógeno.

Ambos tipos de surgencias, frías y carbónicas, se distinguen por métodos geoquímicos. Generalmente, aquellas aguas que presentan facies hidroquímicas del tipo bicarbonatado sódico suelen corresponder a aguas originariamente calientes que se han enfriado, mientras que aquellas otras que corresponden al tipo bicarbonatado cálcico corresponden a acuíferos, poco profundos, no afectados por procesos termales (París & Albert, 1976, Clotet & Pallí, 1998 y Redondo & Yélamos, 2000). En general, los caudales de estas surgencias son inferiores a 0,3 l/s.

De manera similar a lo que sucede con las manifestaciones de aguas calientes, la mayoría de fuentes de aguas frías y carbónicas se localizan siguiendo el trazado de las principales fallas que delimitan la depresión.

2.- El Pirineo oriental comprende el sistema de macizos y sierras que se extienden de levante a poniente, desde el cabo de Creus hasta la fosa de la Cerdanya (Fig. 2).

A grandes rasgos, está constituido por tres unidades geológicas: el Pirineo axial, que conforma el núcleo de la cordillera; el Prepirineo, que integra las sierras marginales formadas por rocas de la era Secundaria; y el Subpirineo, que comprende el sistema de sierras marginales constituidas por rocas de la era Terciaria.

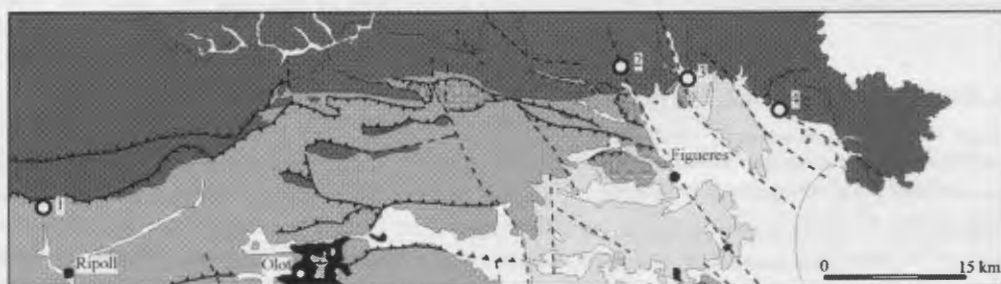
El Pirineo axial comprende el núcleo central y más levantado de la cordillera. Está constituido por diferentes tipos de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas afectadas en diferente grado por las orogénias herciniana y alpina.

El Prepirineo conforma una franja montañosa estrecha, que se dispone paralela al eje pirenaico. Está constituido por rocas sedimentarias de la era Secundaria y de principios de la Terciaria las cuales, como consecuencia de la tectónica compresiva de la orogénesis alpina, están intensamente plegadas y cabalgan sobre materiales más modernos. Los materiales que afloran son, básicamente, de naturaleza carbonatada: calizas, margocalizas, margas y dolomías.

El Subpirineo está constituido por un conjunto de sierras, orientadas de levante a

poniente, adosadas a la vertiente meridional del Prepirineo. Limitan al sur con la fosa de Olot y con la cordillera Transversal, a lo largo de la falla del Fluvià y al este con la depresión del Empordà. En él afloran rocas sedimentarias de la era Terciaria, las cuales están intensamente plegadas y fracturadas por la tectónica compresiva del ciclo alpino.

Se consideran como manifestaciones hidrotermales del Pirineo oriental las surgencias de La Mercè, de Sant Climent Sescebes, de Ribes de Freser y de Vilajuïga. Las tres primeras corresponden a fuentes termales, mientras que las manifestaciones de Vilajuïga son de agua fría con gas.



Surgencias termales y/o carbónicas: 1, Ribes de Freser; 2, La Mercè; 3, Sant Climent Sescebes; 4, Vilajuïga

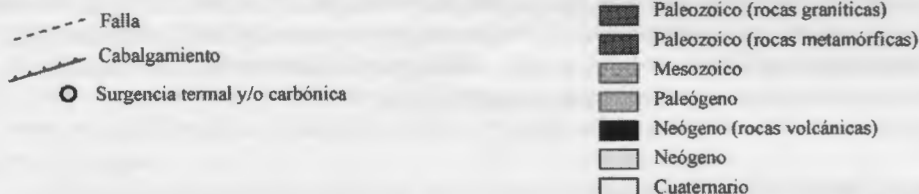


Figura 2- Situación de los principales núcleos de surgencia de aguas termales y/o carbónicas dentro del contexto litoestructural del Pirineo oriental.

Figure 2- Situation of the main hot springs and/or carbonated springs in the geological context of the eastern Pyrenees.

Las manifestaciones de La Mercè (24°C) y de Sant Climent Sescebes (28°C) tienen lugar en los relieves meridionales del macizo de la Jonquera, muy cerca del contacto con los sedimentos terciarios y cuaternarios que rellenan la depresión del Empordà. En estos lugares, las aguas termales aprovechan para su ascensión la existencia de dos sistemas de fracturas, de dirección E-O y NNO-SSE. Los caudales de estas surgencias son inferiores a los 0,3 l/s y se trata en ambos casos de aguas del tipo bicarbonatada sódica con presencia de ácido sulfhídrico que se manifiesta a través del característico olor a huevos podridos. También desprenden nitrógeno y pequeñas dosis de anhídrido carbónico.

A parte de estas dos manifestaciones termales, cabe destacar que en este sector oriental del Pirineo se encuentra la única fuente termal no asociada a materiales y estructuras de la zona axial. Se trata de la surgencia de agua caliente de Ribes de Freser, conocida como manantial de Montagut. El agua mana a través de las calizas carstificadas del Garumniense, las cuales están intensamente plegadas y fracturadas. La tectónica de este lugar, formada por un complejo sistema de cabalgamientos ligados a la estructura prepirenaica, favorece la salida del agua al exterior, la cual lo hace a una temperatura de 24°C. Esta surgencia, genéticamente diferente del resto de indicios hidrotermales del Pirineo, lo es también desde el punto de vista químico y hidráulico. Las aguas corresponden al tipo bicarbonatado cálcico y se estima que su temperatu-

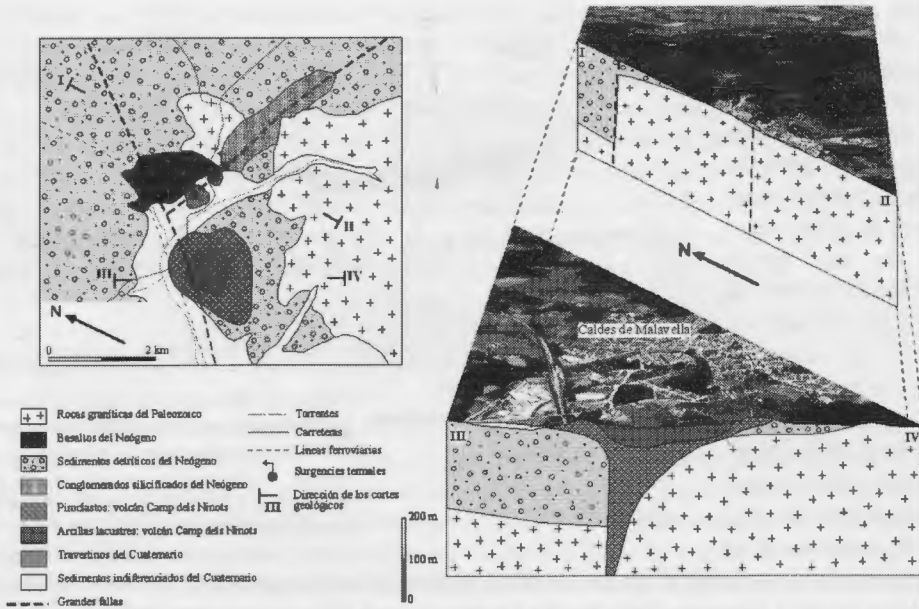


Figura 4- Detalle cartográfico de las inmediaciones de Caldes de Malavella. Interrelación espacial entre diferentes tipos de indicios geotérmicos.

Figure 4- Cartographic detail of the surroundings of Caldes de Malavella. Spatial interrelation among the different types of geothermal evidences.

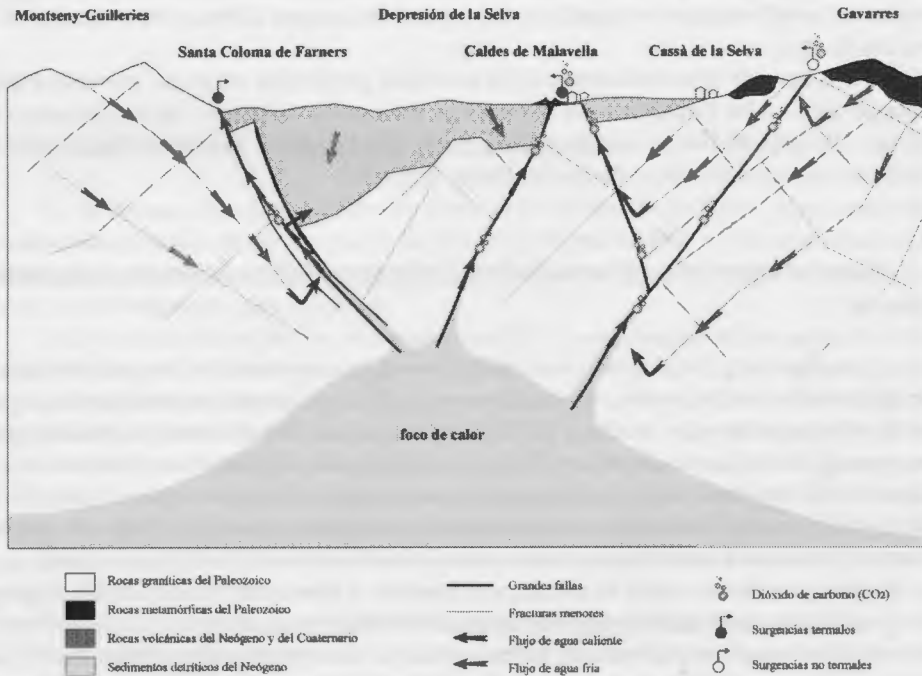


Figura 5- Esquema idealizado del sistema geotérmico de la depresión de la Selva.

Figure 5- Conceptual model of the geothermal system of the depression of La Selva.

En el sector occidental de la depresión de la Selva, se pone en evidencia que la fractura sobre la cual se sitúan la surgencias de tipo termal y las frías-carbónicas discurre paralela a la riera de Santa Coloma, y delimita el bloque del Montseny-Guilleries que se encuentra al SO (Fig. 6).

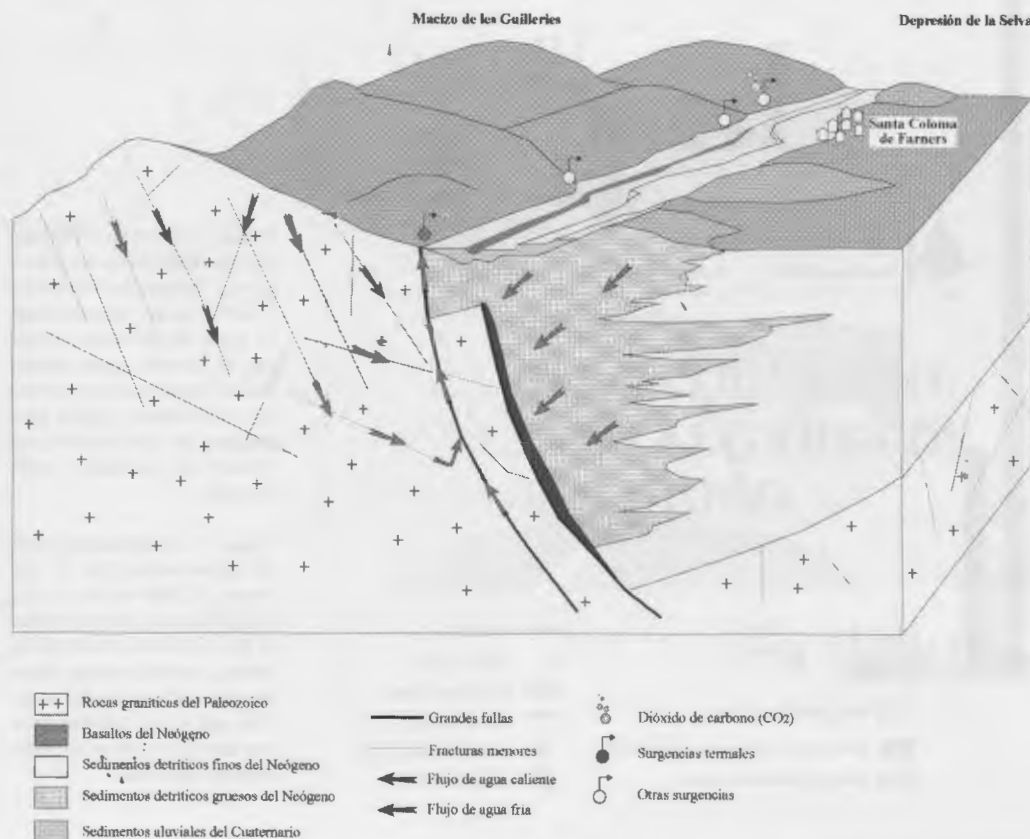


Figura 6- Bloque diagrama del margen suroccidental de la depresión de la Selva. Sector de Santa Coloma de Farners.
Figure 6- Diagram block of the south-western margin of the depression of La Selva. Sector of Santa Coloma de Farners

A diferencia de otros acuíferos graníticos no termales, caso por ejemplo de los existentes en la zona del Montseny-Guilleries, las peculiaridades del sistema geotérmico hacen que las variables de control de las características hidroquímicas del agua relativas a la temperatura, tiempo de residencia y contenido en anhídrido carbónico, sean especialmente relevantes.

Así por ejemplo, las aguas surgentes de Caldes de Malavella, procedentes del acuífero termal y carbónico, presentan un grado de mineralización mucho más elevado que el que presentan las aguas subterráneas de los acuíferos sedimentarios del Cuaternario. Las causas de esta elevada salinidad (3,8 g/l) en las aguas de Caldes de Malavella, son debidas a los siguientes hechos diferenciadores: el carácter carbónico del agua que la vuelve mucho más agresiva, las elevadas temperaturas que en profundidad alcanzan los 90° a 130°C, y el largo tiempo de residencia del agua en el subsuelo que, según datos isotópicos, está comprendido entre los 50 y los 60 años (ITGE, 1979) (Fig. 7).

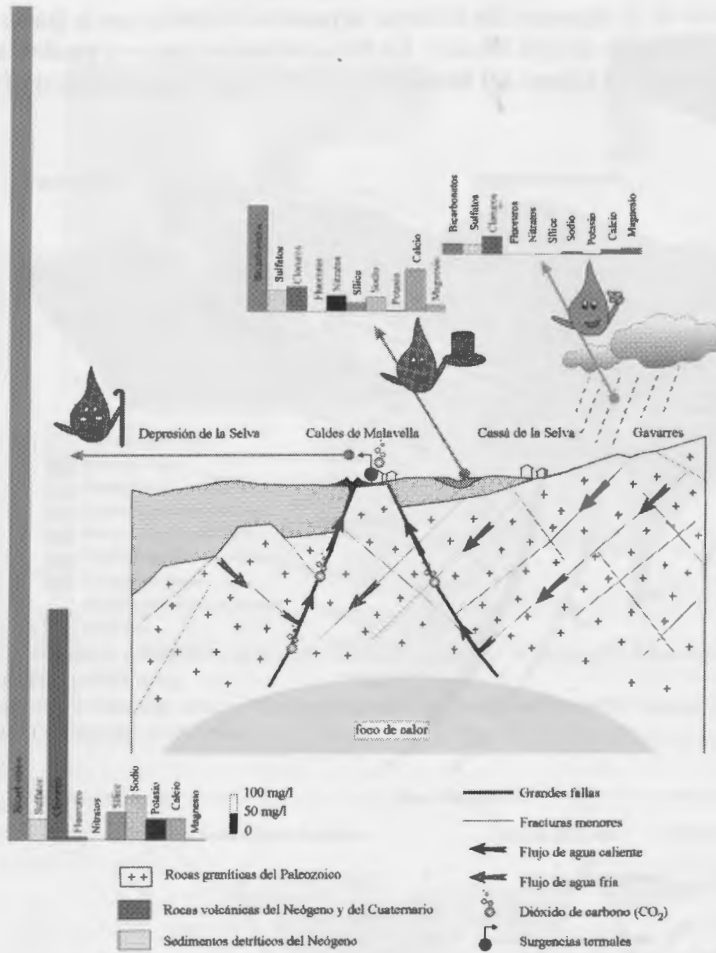


Figura 7- Esquema idealizado del flujo subterráneo en el sector de Caldes de Malavella. Características hidroquímicas de aguas de lluvia que recargan el sistema, aguas procedentes de los acuíferos termales y carbónicos, y aguas procedentes de los acuíferos no termales en materiales sedimentarios.

Figure 7- Conceptual model of the subterranean flow in the sector of Caldes de Malavella. Hydrochemical characteristics of the rain waters that feed the system, waters coming from thermal and carbonated aquifers, and waters coming from non-thermal aquifers in sedimentary materials.

BIBLIOGRAFÍA

- Albert Bertrán, J.F. & Corominas, J. (1985): L'energia geotèrmica a Catalunya. Història Natural del Paísos Catalans, Vol. 3: 197-223.
- Albert Bertrán, J.F. (1988): La calor de la Terra: energia geotèrmica a Catalunya. Departament d'Indústria i Energia. Generalitat de Catalunya. 87 pp.
- Clotet, M.T. & Pallí, L. (1998): Nova aportació al coneixement de les fonts picants de la Vall d'Aro mitjançant radiocarboni. Estudis del Baix Empordà, 17: 249-254.
- ITGE (1979): Estudio geotèrmico preliminar de la depresión de la Selva (Gerona). Informe Geoquímico, Tomo I, memoria y anexos.
- Linares, R.; Pallí, L.; Roqué, C.; Vall, E.; Bascompte, F. & Oliveras, J. (2000): Aigües minerals (I). Termals i/o carbòniques. Cartografia temàtica de les terres gironines (16), escala 1:200.000. Universitat de Girona, Diputació de Girona, Direcció General d'Energia i Mines de la Generalitat de Catalunya.
- París, C. & Albert Bertrán, J.F. (1976): Sobre la gènesis de las aguas carbónicas de la Provincia de Gerona. Acta Geológica Hispánica, XI (5): 124-128.
- Redondo, R. & Yélamos, J.G. (2000): Hidrogeoquímica convencional e isotópica de las aguas carbónicas de Cataluña. Geogaceta, 28: 121-124.