

Atlas de Recursos Geotérmicos de Catalunya: Régimen térmico superficial

Carme Puig¹ y Xavier Berastegui¹, Manel Fernández² e Ignacio Marzán².

1 Institut Geològic de Catalunya (IGC), c/Balmes, 209-211 08006 Barcelona. cpuig@igc.cat y xberastegui@igc.cat

2 Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera (ICTJA-CSIC), c/ Lluís Sole Sabaris s/n 08028 Barcelona.
mfernandez@ija.csic.es y igmarzan@yahoo.es

Resumen:

Promovido por un grupo de trabajo formado por instituciones públicas de ámbito catalán y español, en 2010 se publicará el Atlas de Recursos Geotérmicos de Catalunya, donde se recoge el estado actual del conocimiento geotérmico en Catalunya. Se describe la estructura general que tendrá el Atlas y, más en detalle, los resultados de la sección "Régimen térmico superficial". Se presentan los mapas de temperatura superficial reducida, temperatura a 100 m de profundidad, salto térmico a 100 m de profundidad, gradiente geotérmico y flujo de calor superficial. En ellos destacan dos anomalías regionales, una negativa en la desembocadura del Ebro y otra positiva en el centro de Catalunya. Se descarta un origen mantélico de estas anomalías y se interpretan como producto de circulación de agua: la primera efecto de una amplia zona de recarga, y la segunda como artificio de interpolación que engloba anomalías convectivas muy locales.

Palabras clave: termometría, anomalía térmica, temperatura superficial, gradiente, flujo de calor.

1 INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de evaluar el potencial geotérmico de Catalunya, en 2007 se formó un grupo de trabajo constituido por las siguientes instituciones: IDAE, ICAEN, IGME, IGC e ICTJA-CSIC (*). Para difundir el estado actual de conocimiento del régimen geotérmico en Catalunya, se ha elaborado el Atlas de Recursos Geotérmicos de Catalunya cuya edición está prevista para el año 2010, y que se podrá consultar en la web del IGC. El propósito de esta publicación es proporcionar una herramienta útil para los agentes del sector geotérmico.

El Atlas tiene un enfoque aplicado a la geotermia como recurso energético. En este sentido, se avanzan unas primeras hipótesis sobre el potencial del régimen térmico superficial para explotaciones de baja entalpía, y sobre el potencial del régimen térmico profundo para explotaciones de alta entalpía.

Para su confección se ha realizado un especial esfuerzo en la recopilación e interpretación de datos termométricos disponibles. Ha de advertirse que hay importantes lagunas de información y que por tanto las conclusiones que se derivan tienen un carácter preliminar. El Atlas se concibe como un proyecto abierto que se irá mejorando según avance el conocimiento del régimen geotérmico.

Este artículo describe la estructura general del Atlas y profundiza en la sección del régimen térmico superficial, dominio principal de este congreso.

* IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. IGME: Instituto Geológico y Minero de España. ICAEN: Institut Català d'Energia. IGC: Institut Geològic de Catalunya. ICTJA-CSIC: Institut de Ciències de la Terra J. Almera.

2 ESTRUCTURA DEL ATLAS

El Atlas contendrá una veintena de mapas a escala 1/500.000, y estará estructurado en cinco apartados principales

1. **Introducción.** Se explican conceptos generales sobre geotermia y su aprovechamiento.



2. Contexto estructural. El calor que la tierra pierde hacia el exterior es reconducido a través de las estructuras de la capa rígida más externa, la litosfera. Por lo tanto, para poder comprender las observaciones geotérmicas, han de conocerse bien los procesos de deformación y de circulación de agua que suceden en la litosfera, especialmente en la corteza superior. En este apartado se presentan mapas estructurales, gravimétricos y de masas de agua subterránea.

3. Régimen térmico profundo en Catalunya. Mediante un modelo numérico que asume isostasia local y resuelve las ecuaciones de transporte de calor en 3D, se han confeccionado mapas de temperaturas en la base de la corteza y a 15 km de profundidad. La principal conclusión de este apartado es que no hay evidencias de perturbaciones térmicas a nivel de manto que puedan causar anomalías pronunciadas en superficie. Por tanto, las anomalías térmicas que se observen en superficie estarán asociadas al régimen térmico superficial.

4. Régimen térmico superficial en Catalunya. A partir de la base de datos termométricos del ICTJA-CSIC se han confeccionado mapas de temperaturas en profundidad, de gradiente geotérmico y de flujo de calor. La cobertura espacial de los datos es pobre e irregular y las conclusiones que se extraen deben tomarse con prudencia. Sin embargo, servirán de ayuda para la planificación de intervenciones geotérmicas, las cuales deberán retroalimentar la base de datos para mejorar el conocimiento del régimen térmico.

5. Los recursos geotérmicos en Catalunya. En este apartado se analizarán las manifestaciones geotermales, el aprovechamiento que se hace ellas, las instalaciones existentes y el potencial para la explotación de energía geotérmica en Catalunya.

3 RÉGIMEN TÉRMICO SUPERFICIAL EN CATALUNYA

Se define régimen térmico superficial, en contraposición a profundo, a la distribución de temperaturas en la corteza hasta profundidades donde factores atmosféricos pueden ser dominantes. El límite superficial-profundo es una frontera difusa que varía lateralmente según el contexto.

El Atlas caracteriza el régimen térmico superficial de Catalunya mediante 5 mapas:

- Temperatura superficial reducida a nivel de mar
- Temperatura a 100 m de profundidad
- Salto térmico a 100 m de profundidad
- Gradiente geotérmico
- Flujo de calor superficial

El primer mapa se ha elaborado a partir de datos del Servei Meteorològic de Catalunya y los demás a partir de la base de datos termométricos del ICTJA-CSIC. Las termometrías son los registros de temperatura en profundidad que se realizan en sondeos Fig. 1.

En una termometría aparecen, superpuestas a la señal térmica de fondo de origen interno, perturbaciones térmicas de carácter transitorio y convectivo debidas a factores ambientales externos. Llamaremos gradiente natural de un sondeo al gradiente dominante que puede deducirse de una termometría y que es consecuencia de la superposición de ambas señales. Entre las perturbaciones ambientales destacan las originadas por circulación de agua, en algunos casos de tal intensidad que no permiten deducir un gradiente natural coherente Fig. 1.

Los datos proceden de bases de registros termométricos de sondeos de agua, mineros, petroleros y de exploración geotérmica en la Península Ibérica del ICTJA-CSIC, del IGME y del IGC. Las tendencias regionales, se calculan interpolando entre los datos con coherencia espacial.

Ha de insistirse en que las interpretaciones que se proponen aquí son preliminares, y se revisarán a medida que mejore el conocimiento del régimen térmico. En este sentido, invitamos a los agentes del sector a participar en la mejora de la base de datos con el ánimo de crear una herramienta útil al alcance de todos.

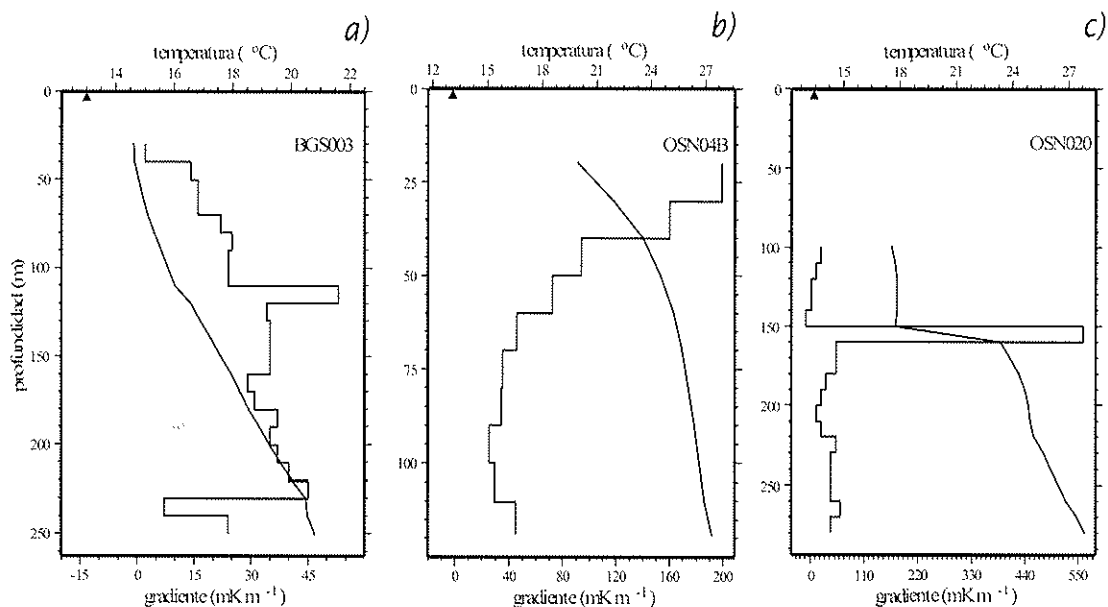


Figura 1. De las bases de datos termométricos: a) termometría lineal que muestra un cambio de conductividad en el medio, entorno a 120 m de profundidad, b) termometría perturbada por circulación de agua en el medio y c) termometría perturbada por circulación descendente de agua a través del sondeo causada por conexión de acuíferos.

3.1 Mapa de temperaturas superficiales reducidas a nivel de mar

El mapa de temperaturas superficiales reducidas a nivel de mar Fig. 2 es una herramienta que permite obtener en buena aproximación la temperatura media anual en cualquier punto de la superficie. La temperatura superficial es una condición de contorno y toda variación afectará a la distribución de temperaturas en el régimen térmico superficial.

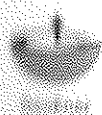
El mapa se ha confeccionado a partir de temperaturas medias anuales de 150 estaciones meteorológicas con una serie mínima de 5 años entre 2001 y 2008. Las medias anuales se reducen proyectándolas sobre un mismo plano de altitud, nivel de mar, aplicando un gradiente constante de 5 °C/km (gradiente resultado de la regresión lineal entre temperatura media anual y cota de las estaciones). Esta operación elimina las diferencias de temperatura por enfriamiento adiabático con la altura, y permite interpolar entre estaciones separadas por variaciones importantes de altitud.

Una vez reducidas las temperaturas a nivel de mar, el mapa se elabora interpolando espacialmente. Sobre este mapa se podrá estimar la temperatura superficial de cualquier punto simplemente restaurando la temperatura a su cota aplicando el gradiente 5 °C/km.

Interpretación

De forma general, en el mapa se observa una tendencia al enfriamiento al alejarse del mar, por efecto de la continentalidad, y hacia las cotas elevadas, por efecto de la nubosidad y la lluvia (con la reducción se ha eliminado el enfriamiento adiabático).

Localmente, en el Pirineo central se observa una alternancia de anomalías en forma de máximos y mínimos de temperatura relacionados con el efecto Föhn, o Fogony, que provoca lluvias en las laderas de barlovento y sombras pluviométricas en las cuencas de sotavento. En el interior se observa un mínimo de temperatura a pocos kilómetros de la costa, causado por la dinámica de vientos ligada a la disminución del relieve pirenaico. Otro mínimo destaca al oeste, en la cuenca del Ebro, consecuencia de regadíos en primavera y verano, y fenómenos de inversión térmica que provocan nieblas recurrentes en invierno.



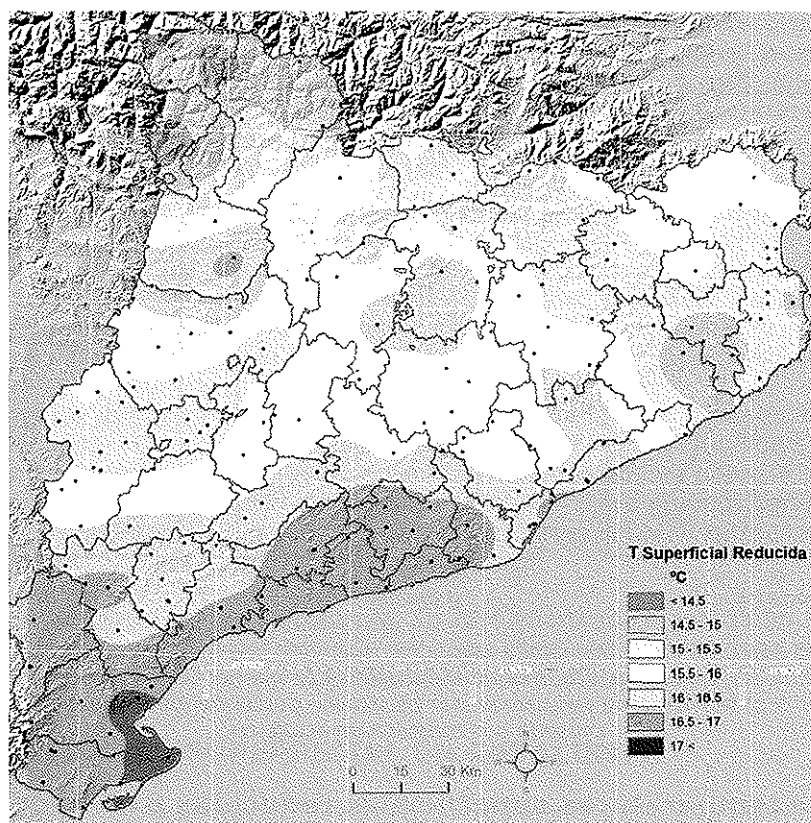


Figura 2. Mapa de Catalunya de temperaturas superficiales reducidas a nivel de mar, los puntos representan estaciones meteorológicas.

3.2 Mapa de temperaturas a 100 metros de profundidad

Este mapa se ha elaborado a partir de medidas directas de temperatura a 100 m de profundidad sin corregir Fig. 3. El mapa de temperaturas a 100 m de profundidad, junto con el mapa de salto térmico Fig. 4, pretende facilitar la planificación de proyectos geotérmicos de baja entalpía. Estos proyectos aprovechan la capacidad reservorio de la tierra y usan el subsuelo como intercambiador de energía térmica, calor o frío según convenga. Para alcanzar un régimen térmico estable, suele perforarse a profundidades entorno a 100 m.

Interpretación

De forma general, en el mapa se observa un aumento de temperatura desde el Pirineo hacia la costa. Esta típica relación inversa de la temperatura con la topografía se explica porque:

- En áreas tectónicas como la que nos ocupa, donde la deformación de corteza y manto son directamente proporcionales, el flujo de calor conductivo disminuye con la topografía (la litosfera es más gruesa).
- Las topografías elevadas suelen ser zonas de carga hidráulica y la circulación descendente de agua provoca descenso en las temperaturas.
- Las temperaturas superficiales disminuyen con la topografía, efecto que se propaga en profundidad.

Con carácter regional destacan dos anomalías, una positiva que entra por el mar y afecta al Vallés Oriental, y una negativa en la desembocadura del Ebro.

La anomalía regional del Vallés Oriental podría ser un artificio de interpolación causado por un conjunto de anomalías muy locales.

En Samalús se ha estudiado una de estas anomalías en detalle (Fernández y Banda, 1990), concluyendo que están asociadas a estructuras geológicas bien determinadas que permiten la descarga rápida de agua infiltrada lentamente en zonas adyacentes. Por tanto, la extensión en profundidad de estas anomalías está limitada a la profundidad de estas estructuras geológicas (≈ 3 km) y en superficie a un entorno de 5 km^2 . Las temperaturas anómalas de otros sondeos de la zona podrían ser resultado de procesos similares aún no descritos.

La anomalía regional negativa de la desembocadura del Ebro está muy bien delimitada por una serie de termometrías coherentes entre ellas. Afecta a las Serres Costaneres y a la cuenca del Baix Ebre, y se explica como efecto de un proceso de filtración rápida a través de sedimentos aluviales y calizas mesozoicas, fuertemente fisuradas y karstificadas en esta zona (Fernández et al., 1990). Esta anomalía es la expresión de una amplia zona de recarga, cuya descarga se sitúa en la plataforma del Ebro, frente a la costa de Castellón, y no tiene continuidad en profundidad.

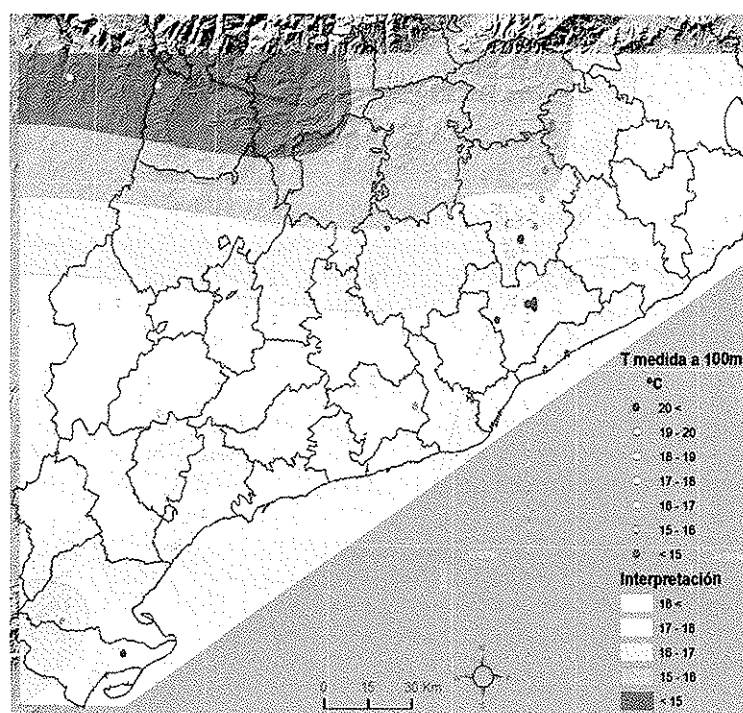


Figura 3. Mapa de Catalunya de temperaturas medidas a 100 m de profundidad.

3.3 Mapa de salto térmico a 100 metros de profundidad

El mapa de salto térmico a 100 m de profundidad resulta de la diferencia entre la temperatura a 100 m y la superficial en cada punto Fig. 4. Este mapa da idea de la distribución más superficial de temperaturas en el subsuelo, la cual puede diferir mucho del gradiente natural en presencia de perturbaciones locales.

El mapa de salto térmico a 100 m de profundidad servirá como primera aproximación a la eficiencia de proyectos de geotermia de baja entalpía: calefacción y refrigeración doméstica y otros usos industriales.

Interpretación

En Catalunya, a 100 m de profundidad ha de esperarse un salto térmico cercano a los $3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, valor dominante en el mapa. Pero también se observa las anomalías regionales descritas anteriormente: la positiva del Vallés Oriental y la negativa de la desembocadura del Ebro.

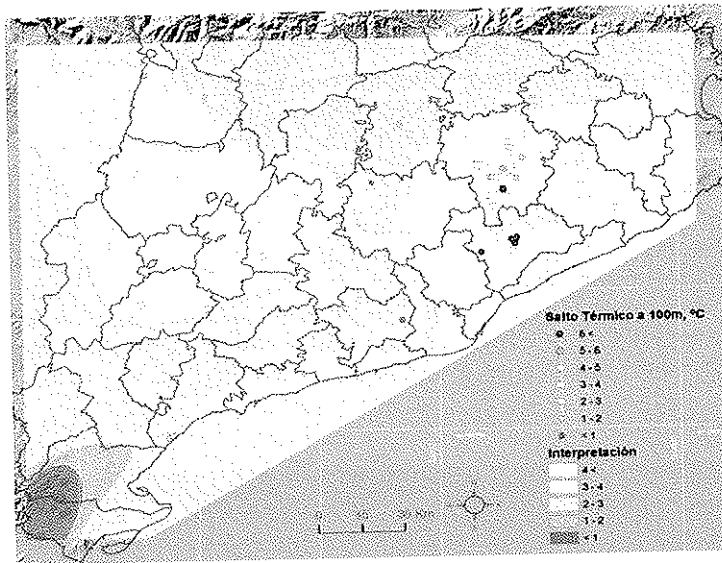


Figura 4. Mapa de Catalunya de salto térmico a 100 m de profundidad.

3.4 Mapa de gradiente geotérmico

El mapa de gradientes geotérmicos de Catalunya Fig. 5 se ha elaborado a partir de los gradientes naturales de cada sondeo. Para evitar el efecto de las perturbaciones de temperaturas diurnas y anuales no se han considerado las temperaturas de los primeros 30 m.

Interpretación

A nivel regional, puede observarse un aumento de gradiente desde el Pirineo hacia la costa, aunque en este caso la correlación no es tan directa como en el mapa de temperaturas a 100 m. Vuelven a ponerse de manifiesto las dos anomalías regionales anteriormente descritas.

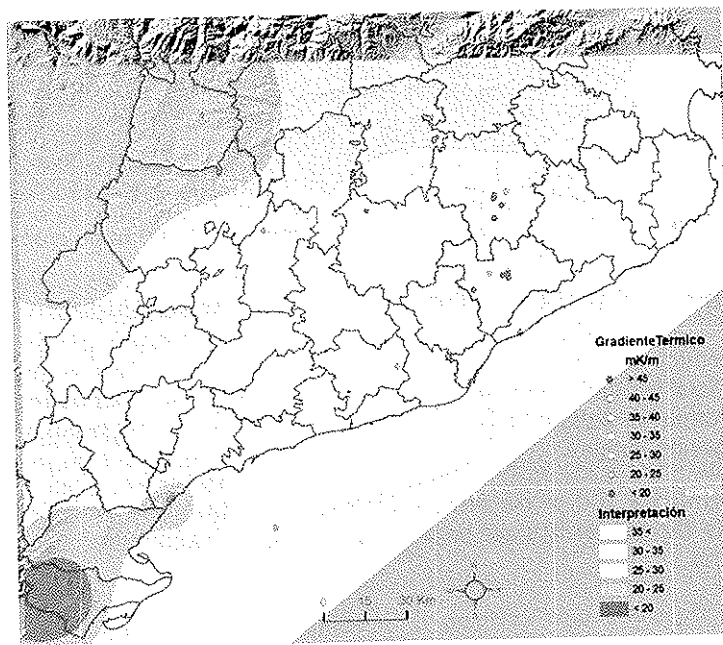


Figura 5. Mapa de Catalunya de gradiente geotérmico.

La anomalía positiva del Vallés Oriental parece intensificarse englobando otras anomalías puntuales más al norte, en la Depresión de Osona. Estas anomalías han sido descritas por procesos de infiltración lenta en los límites de la depresión y descarga rápida a través de una serie de fallas orientadas NW-SE (Cabal y Fernández 1995).

La anomalía negativa de la desembocadura del Ebro se extiende hacia el norte, siguiendo estratificaciones de la Serralada Costanera, incluidas también en la zona de recarga de este gran sistema convectivo.

De forma puntual se observan una serie de gradientes elevados en el centro de Catalunya, entre las comarcas de l'Anoia, Segarra y el Solsonès, que aun no han sido descritos.

3.5 Mapa de flujo de calor superficial

El flujo de calor superficial Fig. 6 es la cantidad de calor que emite la Tierra por unidad de superficie y tiempo. Resulta del producto del gradiente geotérmico y la conductividad térmica del medio.

Medir directamente la conductividad térmica del medio es un proceso muy costoso y por tanto suele deducirse de la correlación de litologías con medidas de laboratorio tabuladas. Como método de correlación se ha utilizado el desarrollado por Fernández et al. (1998) que asocia a valores típicos de conductividad térmica en matriz rocosa un decaimiento según la edad de la formación.

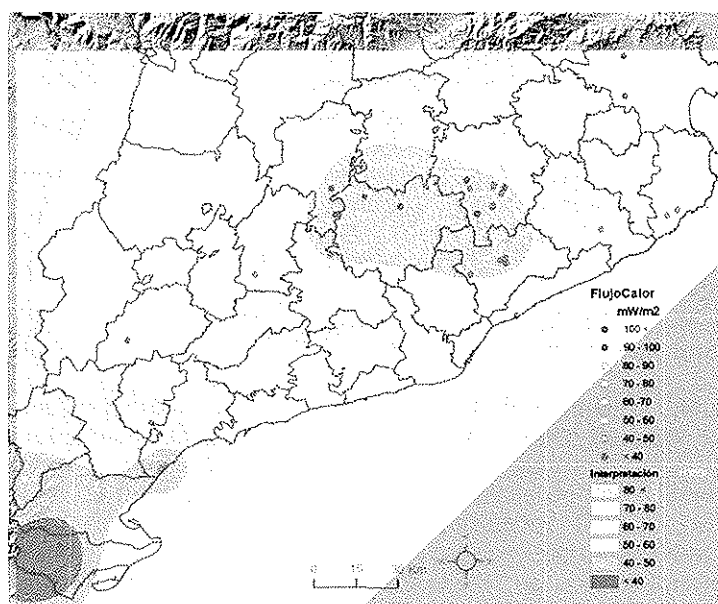


Figura 6. Mapa de Catalunya de flujo de calor superficial.

Interpretación

El mapa de flujo de calor superficial muestra ciertas similitudes con el de gradiente. Persisten las anomalías descritas anteriormente, pero ya no puede inferirse una correlación directa con la topografía. Las diferencias entre ambos son debidas al factor corrector que supone la conductividad térmica.

Se confirma la anomalía regional de la desembocadura del Ebro, y la anomalía del Vallés Oriental se extiende hacia comarcas del interior. Los valores de conductividad térmica estimados en las formaciones de esta zona acentúan y amplifican la anomalía. Hasta ahora, ésta se explica como un artificio de interpolación que engloba una serie de anomalías convectivas muy locales. Quedaría por ver si existe circulación de carácter más regional que confiera entidad real a esta anomalía.



4 CONCLUSIONES

En este artículo se avanza parte de los resultados del Atlas de Recursos Geotérmicos de Catalunya que se publicará en 2010 donde se recoge el estado actual de conocimiento en este campo. Las interpretaciones son preliminares y se irán afinando a medida que aumente la recopilación de datos, por ahora escasos.

- El régimen térmico de Catalunya corresponde al de una zona estable. Los datos sísmicos y los modelos litosféricos muestran que no hay evidencias de perturbaciones térmicas a nivel de manto que puedan causar anomalías pronunciadas en superficie.
- Las anomalías observadas se explican como consecuencia de procesos de circulación de agua ligados a estructuras geológicas determinadas, sin continuidad más allá del basamento (~3 km).
- Destacan dos anomalías regionales importantes. Una negativa en la desembocadura del Ebro consecuencia de una recarga de carácter regional. Otra positiva en el centro de Catalunya que se explica como un artificio de interpolación que engloba una serie de anomalías muy locales.

5 AGRADECIMIENTOS

Los trabajos aquí presentados han sido financiados por el ICAEN y el IGC a través de los convenios 034-0-A (30/07/2007) y 081-0-A (1/07/2008). Su realización se ha llevado a cabo mediante convenio entre el IGC y el IJA-CSIC 027-0-B (30/06/2007) y el contrato N-2009/OC/111 (4/06/2009).

6 REFERENCIAS

- CABAL, J. y FERNÁNDEZ, M. (1995).: Heat flow and regional uplift at the Northeastern border of the Ebro basin, NE Spain. *Geophys. J. Int.*, 121, 393-403.
- FERNÁNDEZ, M. y BANDA, E. (1990).: Geothermal anomalies in the Vallés-Penedés master fault. Convection through the horst as a possible mechanism. *J. Geophys. Res.*, 95, 4887-4894.
- FERNÁNDEZ, M., MARZÁN, I., CORREIA, A. y RAMALHO, E., (1998).: Heat flow, heat production, and lithospheric thermal regime in the Iberian Peninsula. *Tectonophysics*, 291, 29-54.
- FERNÁNDEZ, M., TORNÉ, M. y ZEYEN, H. (1990).: Modelling of thermal anomalies in the NW border of Valencia Trough by groundwater convection. *Geophys. Res. Letters*, 17, 105-108.