

LA TOMOGRAFÍA REMOTA TÉRMICA, UNA TECNOLOGÍA EFICAZ PARA EL ESTUDIO DE GRANDES ACUÍFEROS PROFUNDOS: SU RECIENTE APLICACIÓN EN ESPAÑA (2005-2008)

Rolandi Sánchez-Solís, Manuel (*), Yugin, Vladimir (*), Porras Sanchiz, Daniel (*) y González Vázquez, Pedro (*). (*) tllgsa.

Paseo de la Castellana, 122. 2ª Dcha. 28046 Madrid (España)

PALABRAS CLAVE: TOMOGRAFÍA REMOTA TÉRMICA, ACUÍFEROS PROFUNDOS, SURESTE Y SUR DE ESPAÑA.

RESUMEN

La Tomografía Remota Térmica, obtenida a partir de imágenes de satélite, se está utilizando en diversos países del mundo, entre ellos España, como una herramienta auxiliar de gran utilidad para mejorar el conocimiento de la caracterización y el funcionamiento hidrogeológico de amplias zonas de estudio.

En los últimos tres años (2005-2008), se ha utilizado de manera continuada en amplias zonas del levante y el sur de la Península Ibérica (cuencas del Segura, Sur y Jucar, que, en su conjunto, sobrepasan los 100.000 km²), obteniéndose una importante información adicional, y hasta una profundidad de 3.500-4.000 metros, sobre diferentes aspectos de interés de estas amplias y complejas áreas de estudio, como son su estructura y geometría en profundidad, límites y relaciones hídricas entre las diferentes unidades hidrogeológicas, zonas saturadas o de intercambio activo del agua subterránea, flujos profundos, anomalías frías asociadas con zonas de mayor interés hidrogeológico, geotermalismo, relaciones con el mar, etc.

La citada tecnología (Tomografía Remota Térmica) se está planteando como una herramienta muy útil y contrastada, que, utilizada de manera conjunta con otras técnicas de investigación tradicionales y totalmente necesarias e imprescindibles (como las interpretaciones geológico-estructurales e hidrogeológicas), permite obtener un mejor conocimiento de la caracterización y el funcionamiento hidrogeológico de amplias zonas de estudio, así como realizar una primera valoración de sus disponibilidades de recursos hídricos, de cara a poder determinar sus posibilidades reales de explotación racional.

En los últimos años, esta tecnología se ha utilizado, con excelentes resultados, en investigaciones que requieren del estudio de estructuras profundas y la identificación de zonas saturadas y del movimiento de flujos (casos del agua, el petróleo y el gas), y en diferentes países (como la Federación Rusa, Turquía, Kuwait y España). En España, concretamente, y entre los años 2005 y 2008, se ha utilizado con resultados muy satisfactorios (y, en algunos casos, contrastados, posteriormente, con sondeos de investigación-preexplotación), en cuatro estudios realizados para el Ministerio de Medio Ambiente de España (MIMA) y la Agencia Andaluza del Agua (AAA), en la Comunidad de Madrid, El Maestrazgo (Castellón), Cuenca del Segura, Cuenca del Jucar y Cuenca Mediterránea Andaluza, en cuyo conjunto, se han superado los 100.000 km² de investigación.

Entre las ventajas de esta tecnología, se incluye la importante profundidad hasta la que se puede obtener información térmica (hasta una profundidad máxima de 3.500-4.000 metros), así como la obtención de una cartografía térmica de amplias zonas, representada y discriminada mediante cortes (planos) tomográficos, distribuidos cada aproximadamente 100 m.

La citada cartografía térmica se realiza a partir de datos multiespectrales aportados por imágenes de satélite portadores de sensores térmicos, los cuales debidamente procesados y analizados, mediante el uso de programas y algoritmos específicos desarrollados por especialistas de la Academia de las Ciencias de la Federación Rusa, permite identificar cuerpos geológicos profundos y sus coberturas, así como las estructuras de diferentes tipos, mediante diferentes cortes geológicos.

Esta información se considera muy necesaria para aumentar el grado de conocimiento sobre determinados aspectos escasamente conocidos en la mayor parte de las zonas de estudio, que, de forma resumida y esquemática, son los siguientes:

- Caracterización geométrica y estructural, en profundidad, de los acuíferos y masas de agua subterránea.
- Identificación y localización de las zonas saturadas y no saturadas de cada masa de agua y, como resultado de ello y de su geometría, la valoración de sus posibilidades hidrogeológicas.
- Información sobre su funcionamiento hidrogeológico profundo, intercambio de flujos entre masas de agua, geotermalismo y relaciones hídricas con el mar (caso de los acuíferos costeros, con identificación de zonas de intrusión marina o de salida de aguas continentales profundas al mar).

El sistema de investigación de la Tomografía Remota Térmica (TRT) ha sido desarrollado por la Academia de las Ciencias de la Federación Rusa y se basa en la idea de que cualquier cuerpo emite una radiación térmica, con la condición de que no se encuentre a temperatura de cero absoluto (0 K ó - 273,2 °C). Cualquier cuerpo, por tanto, presenta una radiación térmica propia, la cual recuerda su nacimiento, recorrido y cuerpos encontrados. (Hipótesis expresada por el Académico Dr. Robert Muhamediarov en 1988).

El calor emitido por la superficie terrestre se compone del calor exógeno del sol (que calienta la capa más superficial) y del calor endógeno de la Tierra, cuya imagen térmica es captada por el sensor infrarrojo ETM+ térmico instalado a bordo del satélite LANDSAT-7, y usada en combinación con la imagen visible captada por el sensor ASTER del satélite TERRA.



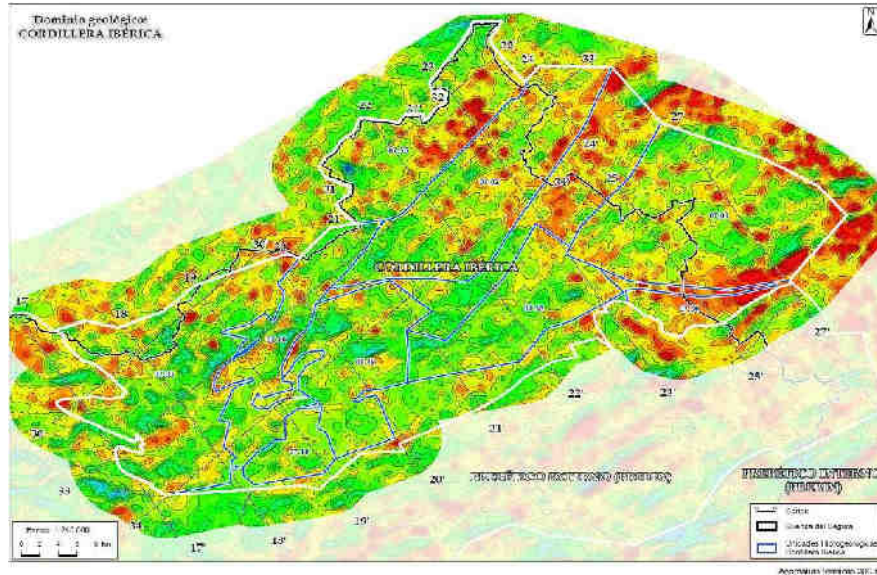
Parámetros de investigación de la Tomografía Remota Térmica

Eliminada la información térmica correspondiente al calor exógeno (procedente de la irradiación solar) y seleccionada únicamente la del endógeno (imagen IR térmica), que representa el calor emitido por los distintos cuerpos del subsuelo, se trata la imagen resultante mediante diferentes algorítmicos y programas específicos desarrollados por especialistas de la Academia de las Ciencias de la Federación Rusa, que permiten obtener termogramas de casi cualquier punto de la zona estudiada (en concreto de cada área de 60x60 m, de acuerdo con el tamaño del pixel de la escena disponible).

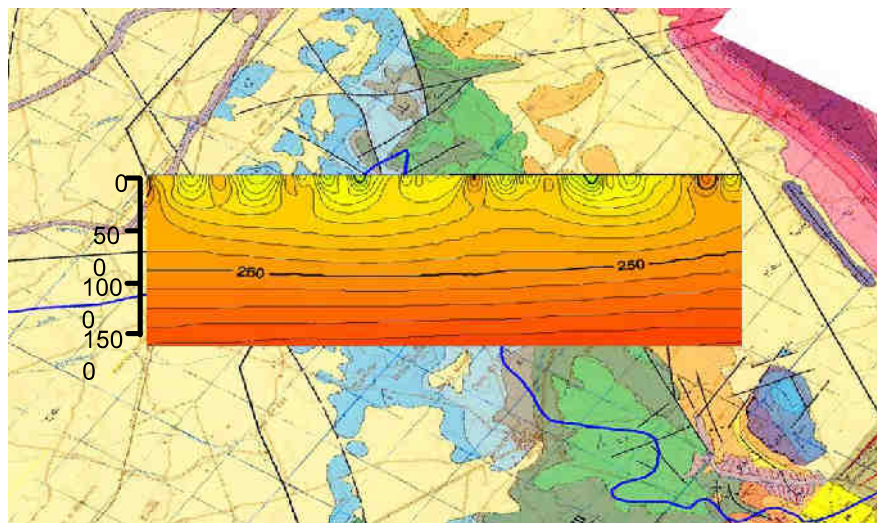
Los datos geofísicos obtenidos se interpretan de forma similar al de otras tecnología geofísicas de campo natural, estudiando, en este caso, el comportamiento térmico de los cuerpos y estructuras geológicas en forma de anomalías (con respecto al gradiente geotérmico teórico que correspondería a cada profundidad) y contrastes térmicos.

Se estudia la estructura del campo térmico, que presenta anomalías frías y calientes, que guardan una estrecha relación con los materiales o litologías existentes, las estructuras geológicas, la

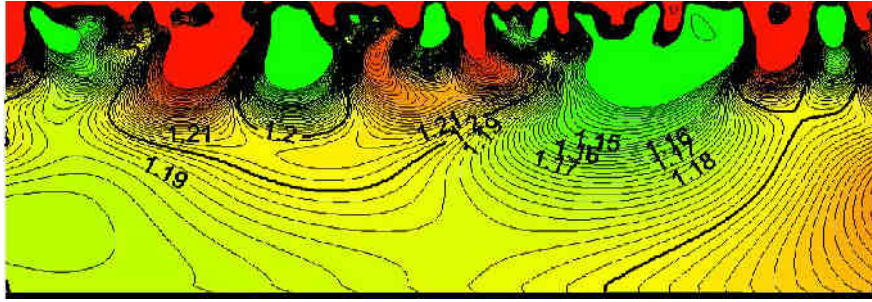
orografía, la recarga hídrica y el movimiento de fluidos. Las anomalías termodinámicas frías corresponderán con zonas de elevada permeabilidad y concentración de flujos subterráneos, generalmente descendentes por convección. Se estudia la magnitud de las anomalías, su prolongación en profundidad y su comunicación con las zonas de recarga; todo ello relacionado con la geología y la orografía de cada zona. Por su parte, las anomalías termodinámicas calientes corresponderán a zonas también de elevada permeabilidad, por donde se producen flujos térmicos ascendentes que transportan energía desde zonas más internas de la Tierra. También será muy importante observar su continuidad en profundidad.



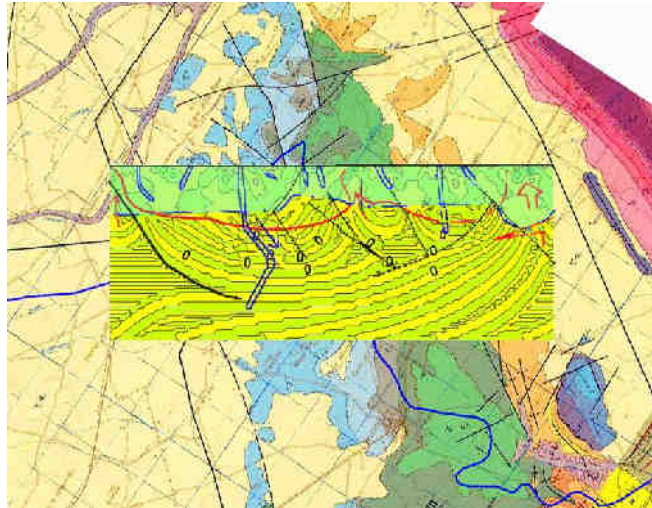
Distribución de anomalías térmicas a 300 m de profundidad



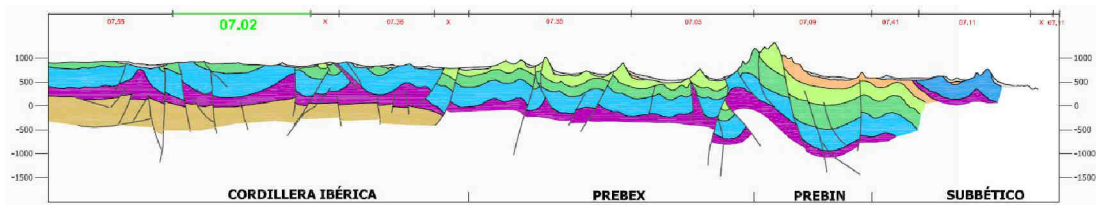
Perfil de distribución térmica



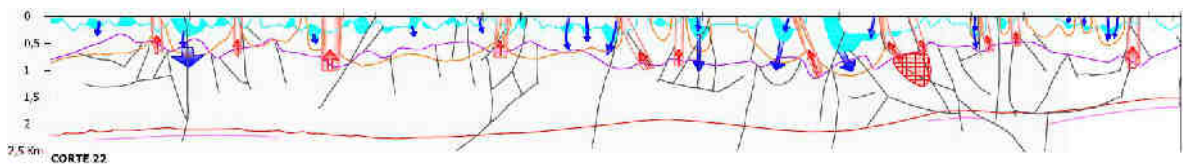
Perfil de la primera derivada térmica (gradiente térmico)



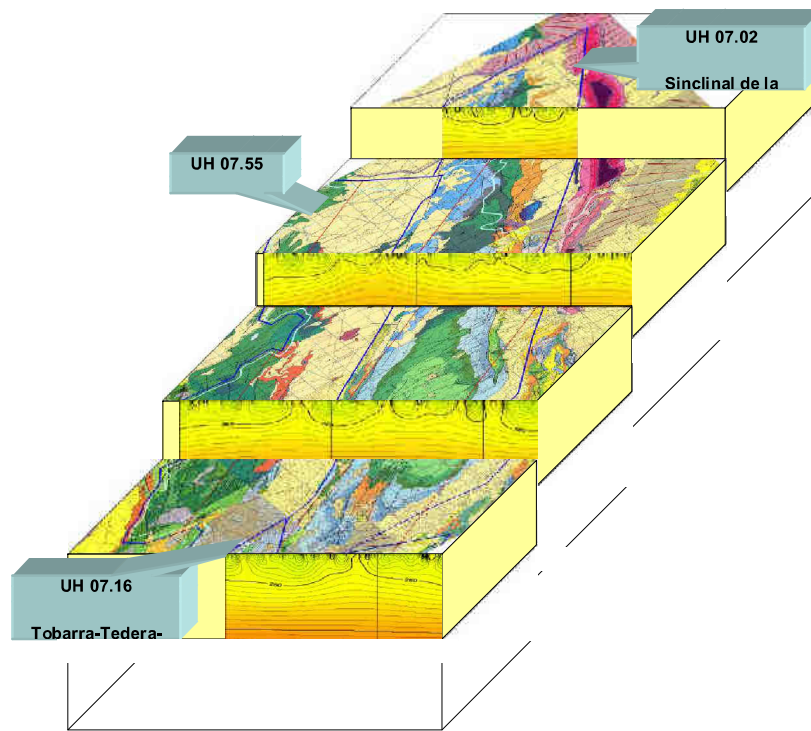
Perfil de la segunda derivada térmica (gradiente del gradiente térmico)



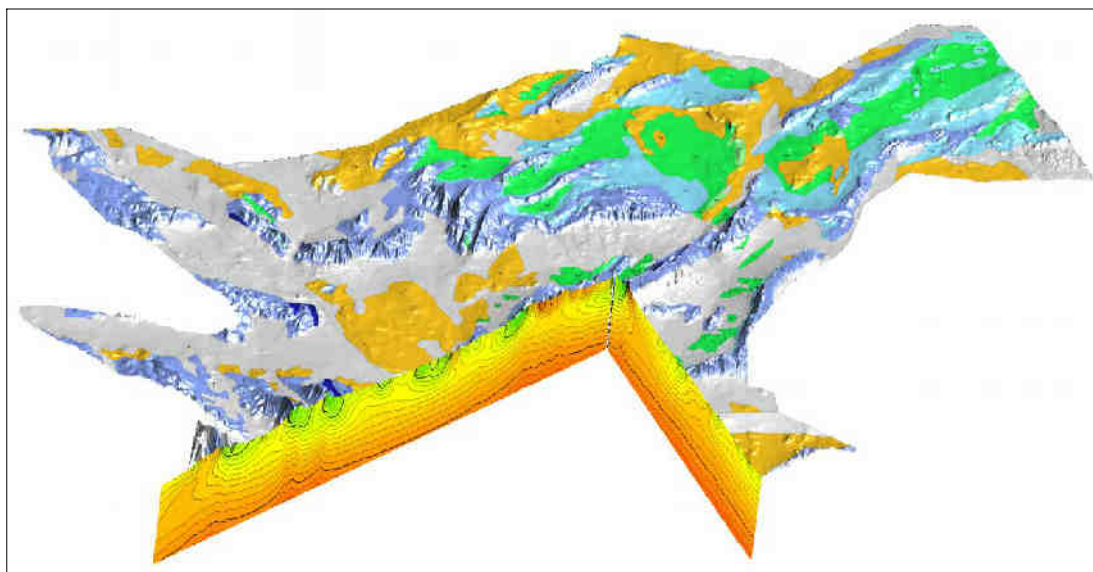
Interpretación geológica de los perfiles térmicos



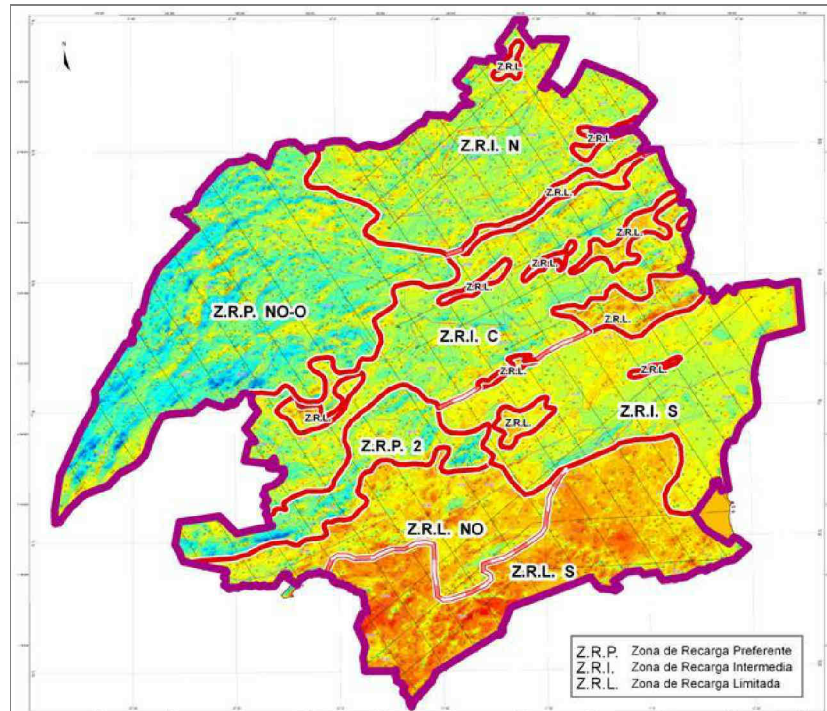
Distribución, en profundidad, de la “zona de intercambio activo del agua”



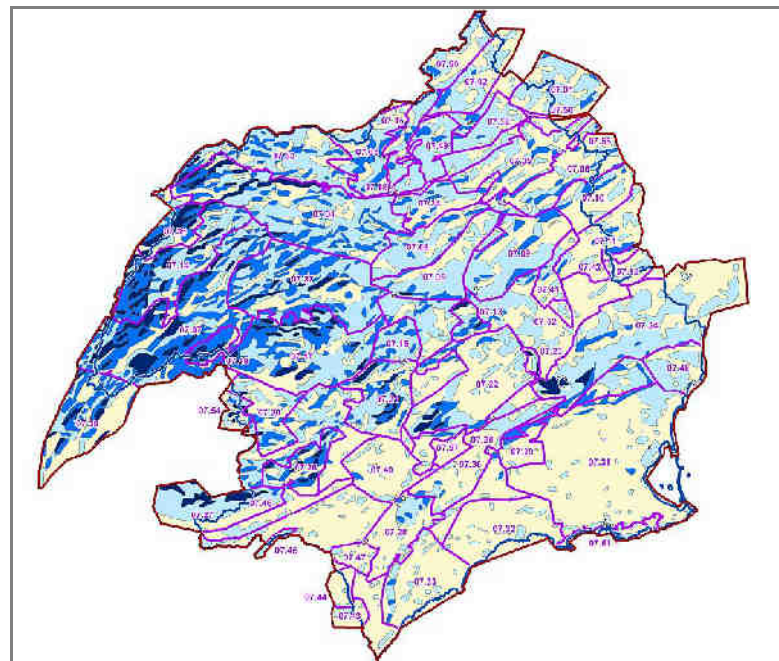
Bloque diagrama con distribución térmica en profundidad



Bloque diagrama con distribución térmica en profundidad



Plano de distribución térmica a 300 m de profundidad y de zonificación de recargas



Mapa de distribución de anomalías térmicas favorables