

# Análisis de la estructura alpina de la corteza del centro de la Península Ibérica: Una sección Magneto-Telúrica a través del Sistema Central (Sierra de Gredos)

## *Constraints on the Alpine crustal structure of central Iberian Peninsula: A magnetotelluric transect along the central part of the Central System (Sierra de Gredos)*

J. Pous<sup>1</sup>, A. Muñoz-Martín<sup>2,3</sup>, A.J. Olaiz<sup>4</sup>, H. Seillé<sup>1</sup> y G. de Vicente<sup>2,3</sup>

1 Dept. Geodinàmica i Geofísica. Universitat de Barcelona, jpous@ub.edu

2 Dpto. Geodinàmica, Facultad de Geología, Universidad Complutense de Madrid. [amunoz@geo.ucm.es](mailto:amunoz@geo.ucm.es)

3 Instituto de Geociencias, IGEO (CSIC-UCM), Madrid

4 Repsol Exploración, S.A.

**Resumen:** Este trabajo muestra un nuevo perfil magnetotelúrico (MT) a través de la cuenca del Duero, el Sistema central y la Cuenca de Madrid, adquirido dentro del proyecto TopoIberia. El Perfil MT consiste en 24 sondeos a lo largo de 200 km con una orientación NS. En cada sondeo se han medido cinco componentes con periodos de 0.001 a 500 s. El análisis dimensional revela una dirección dominante E-O y se ha realizado una inversión conjunta en 2D de las resistividades aparentes, fases y tipper. El modelo de resistividades obtenido ha sido comparado con otros datos geológicos y geofísicos, y muestra una estructura cortical homogénea y resistiva que se prolonga hacia la cuenca del Duero. En esta corteza aparecen cuerpos conductores inclinados y alargados en profundidad asociados a grandes cabalgamientos alpinos. Otros cuerpos conductores superficiales están claramente relacionados con las cuencas sedimentarias terciarias.

**Palabras clave:** Magnetotelúrica, resistividad eléctrica, Sistema Central.

**Abstract:** We present a magnetotelluric profile across the Duero basin, the Central System and the Madrid basin, acquired in the framework of the TOPO-IBERIA project. The MT profile consists of 24 magnetotelluric sites over a 200 km, NS oriented profile. Five components were measured with periods ranging from 0.001 s to 500s. The dimensional analysis reveals a dominant E-W direction and 2D joint inversion of apparent resistivity, phases and tipper was carried out. The inverse resistivity model obtained has been compared with other geological and geophysical data, and it shows a resistive and homogeneous crust that extends towards the Duero basin. The main conductive anomalies are elongated and inclined bodies that are related with the main big-scale Alpine thrusts. Other superficial conductive bodies are related with the tertiary sedimentary basins.

**Key words:** Magnetotellurics, electrical resistivity, Central System.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El proyecto TopoIberia incluye entre sus objetivos el conocimiento de la estructura profunda de Iberia a partir de una aproximación multidisciplinar que involucra a un elevado número de investigadores y centros. Dentro del proyecto se ha constituido una plataforma instrumental que incluye redes de estaciones sísmicas, de GPS y magneto-telúricas (MT). Hasta ahora y dentro de los objetivos del Proyecto, se han realizado un conjunto de 5 perfiles MT que dibujan una gran transecta N-S desde el Mar Cantábrico (Santander) hasta el Mediterráneo (Málaga). Este trabajo muestra los resultados obtenidos en un perfil MT de banda ancha (BB) de orientación N-S a través del Sistema Central Español (SCE, Fig. 1), localizado entre el S de Talavera de la Reina (Toledo) y Tordesillas (Valladolid). Este perfil, de más de 200 km, es transversal a las principales estructuras alpinas del SCE y a sus límites con las cuencas terciarias del Duero y de Madrid, y se sitúa dentro de la zona centro-Ibérica del Macizo Ibérico. Los resultados obtenidos en esta sección se comparan con los escasos datos sísmicos existentes en este sector de la península, con un modelo gravimétrico realizado sobre el mismo y con los datos estructurales de superficie.

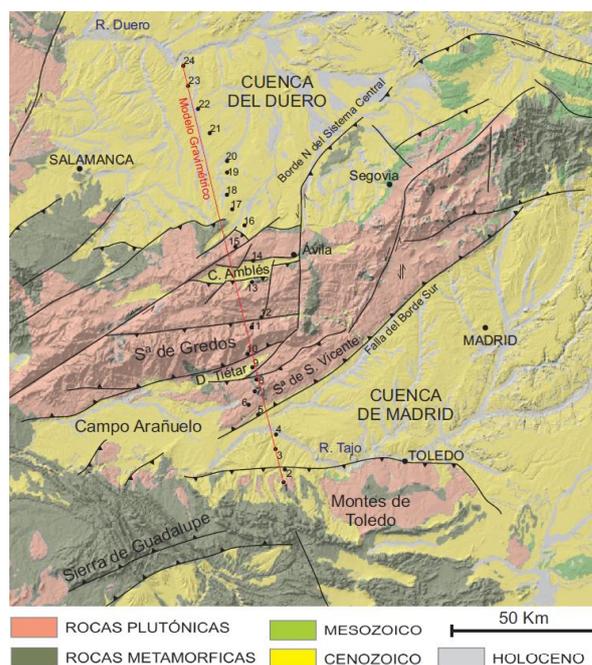


FIGURA 1: Marco geológico y localización de los sondeos MT (puntos negros) y del modelo gravimétrico de la figura 2.

## MARCO GEODINÁMICO

El SCE constituye la elevación topográfica más importante del interior de la Península Ibérica, y separa dos cuencas terciarias de gran tamaño (Duero al N y Madrid al S). El SCE se extiende según una dirección ENE-OSO más de 300 km y con alturas que superan los 2500 m, prolongándose en Portugal en las sierras de la Estrela y Montejunto. Esta gran estructura se ha interpretado como el resultado de la transmisión hacia el interior de la Placa Ibérica de los esfuerzos generados en sus bordes desde el Eoceno Superior hasta la actualidad. Los dos pulsos más importantes se relacionan con: a) el acortamiento N-S asociado a la estructuración del orógeno Pirenaico al N (hasta el Oligoceno Superior-Mioceno Inferior) y b): con el empuje la Placa Africana en sentido NO-SE desde hace

9 Ma hasta la actualidad (de Vicente et al., 2007). Esta larga historia de deformaciones intraplaca produjo el levantamiento de bloques de basamento mediante cabalgamientos, que son los responsables del relieve actual. La erosión de estos bloques produjo la acumulación de potentes depósitos sedimentarios en las cuencas asociadas a sus bordes. Los cabalgamientos del basamento tienen saltos verticales acumulados de más de 5 km sobre los sedimentos cenozoicos. En Gredos, el basamento involucrado en estas deformaciones está constituido fundamentalmente por el denominado "Batolito de Ávila", que es un enorme domo de composición granítica (de más de 13.000 km<sup>2</sup> de extensión), con complejos anatóxicos y enclaves metamórficos. Este enorme cuerpo granítico se generó relacionado con una enorme anomalía térmica en el núcleo de la orogenia varisca, entre el Namuriense y el

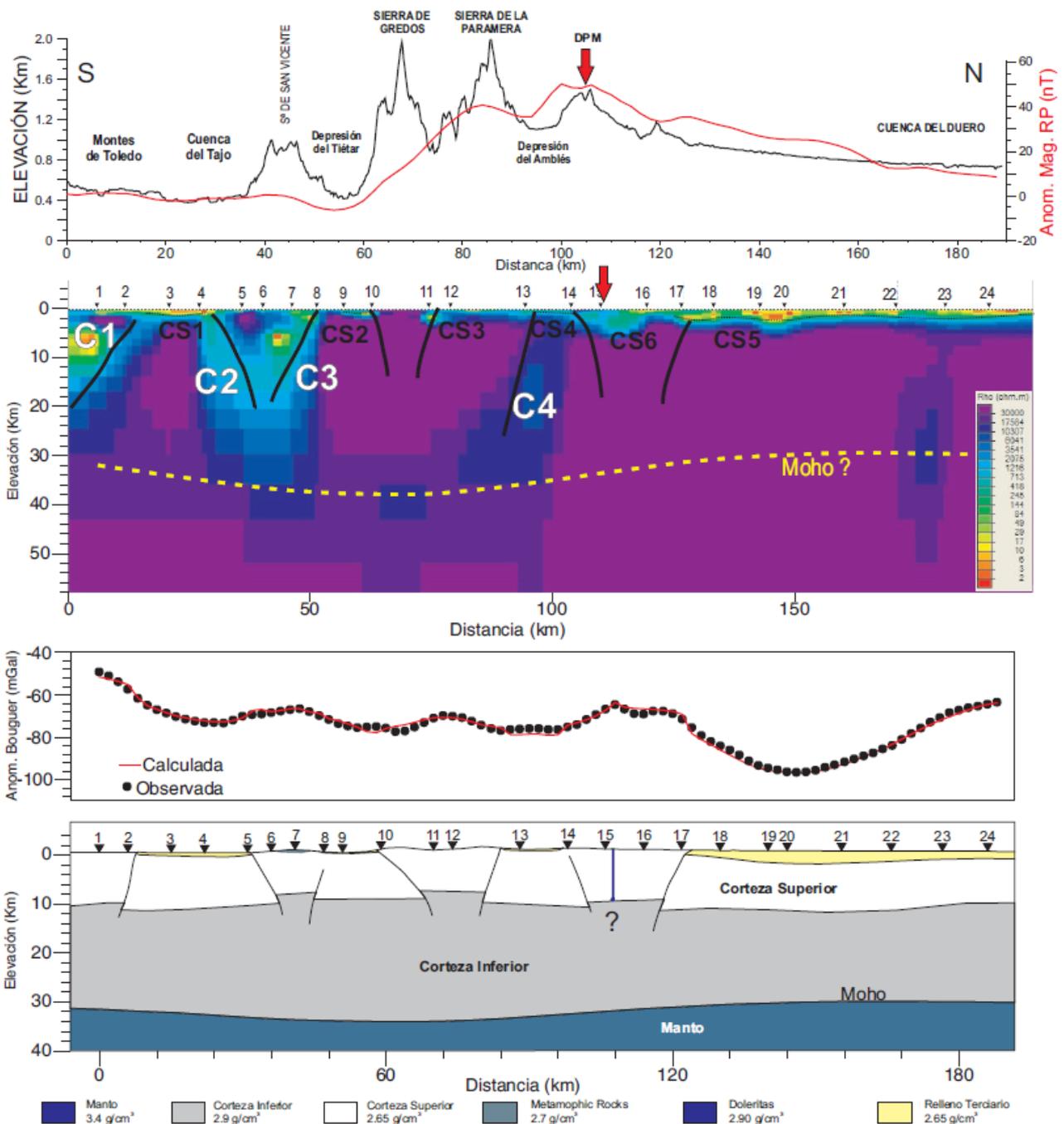


FIGURA 2. Arriba: Representación del perfil topográfico de de la anomalía magnética (Ardizzone et al., 1989) reducida al Polo. Centro: modelo de resistividades obtenido con todos los parámetros MT. Abajo: Modelo gravimétrico ajustado y distribución de densidades para la sección mostrada en la figura 1. DPM: Dique de Plasencia-Mesetjana. Ver texto para la explicación.

Pérmico Inferior (330-285 millones de años) (Bea *et al.*, 2004), y probablemente nucleó las deformaciones cenozoicas (Martín-Velázquez y de Vicente, 2012). Sobre este basamento, y al contrario de lo que sucede en el sector oriental del SCE, no se depositó una cobertera mesozoica.

## NUEVOS DATOS MAGNETOTELÚRICOS

El perfil de magnetotelúrica consta de 24 sondeos magnetotelúricos de banda ancha (BBMT) con periodos registrados desde 0.001 s hasta 500 s. En cada sondeo se han registrado las 5 componentes electromagnéticas (2 eléctricas y 3 magnéticas) y el tiempo de registro ha sido de entre 2 y 3 días. Se han utilizado 5 estaciones Metronix ADU-07 con registro simultáneo de manera que se han obtenido las funciones de transferencia mediante un procesado con referencia remota. Un análisis preliminar de la dimensionalidad de la estructura de resistividad eléctrica mediante el algoritmo de McNeice y Jones (1961) revela una dirección preferente entre N80-N90E. Los vectores de inducción indican una dirección preferente E-W. Consecuentemente se ha realizado una inversión conjunta de las resistividades aparentes y fases rotadas y *tipper* proyectado. La inversión se ha realizado mediante el algoritmo de Rodi y Mackie (2001), con parámetro de regularización 3 y *error floor* 8 para resistividades aparentes, 2 para fases y 0.02 para *tipper*. Con estos parámetros se ha obtenido el modelo con rms de 4.6 (Fig. 2).

## DISCUSIÓN DE LA IMAGEN MT TENIENDO EN CUENTA OTROS DATOS GEOLÓGICOS Y GEOFÍSICOS

La conductividad eléctrica es un parámetro fuertemente influenciado por varios factores: composición, presencia de fluidos, reología, fusión parcial, etc. (Jones, 1998). De este modo la interpretación de los modelos de conductividad debe hacerse teniendo en cuenta el contexto geodinámico que pueden limitar estos factores. La sección modelada (fig. 2) atraviesa un basamento bastante homogéneo, compuesto fundamentalmente por granitos y granitoides con algunos afloramientos de rocas metamórficas paleozoicas. En este sentido parece menor la presencia de granitos hacia el sur en detrimento de un mayor contenido en rocas metamórficas paleozoicas, pero no se atraviesan grandes límites estructurales variscos, al contrario de lo que sí sucede en secciones MT más al S (Pous *et al.*, 2011). Desde el punto de vista de las resistividades, se observa como la mayor parte de la sección se corresponde con materiales muy resistivos (>20.000 Ohm·m), destacando una serie de cuerpos conductores: Las cuencas terciarias del Duero (CS5) y de Madrid (CS1) se definen como zonas conductoras, debido a su naturaleza fundamentalmente detrítica, y a su contenido en fluidos. El espesor de sedimentos en la cuenca del Duero parece coincidir bastante bien con los datos gravimétricos y sísmicos. Los datos de resistividades definen también las cuencas intramontanas (*pop-downs*) del Amblés (CS4), e



FIGURA 3. Cabalgamiento del basamento de los Montes de Toledo sobre los sedimentos terciarios de la Cuenca de Madrid (Campo Arañuelo). Oropesa, Toledo.

incluso la del Tiétar (CS2), a pesar de su menor tamaño.

Dentro del basamento se diferencia una corteza superior más conductora en la parte S de la sección, y una corteza homogénea y resistiva por debajo de la Cuenca del Duero, que coincide con datos previos en el N de la misma (Pous *et al.*, 2001). Dentro de este esquema, resulta posible correlacionar algunas zonas conductoras con heterogeneidades y/o estructuras geológicas de primer orden. De este modo, los cabalgamientos y zonas de fractura Alpinas más importantes, que presentan anomalías de baja resistividad en profundidad (conductoras), entre los que destacan (Figs. 1 y 2):

- Cabalgamiento N de los Montes de Toledo (C1) sobre la Cuenca de Madrid (subcuenca de Campo Arañuelo, Fig. 3). Esta estructura se corresponde con una banda conductora que buza hacia el S por debajo del Sondeo 2, afecta al menos a la corteza superior, y se extiende más de 100 km en dirección E-O. Su salto vertical supera los 1500 m en las proximidades de Toledo.
- Cabalgamiento del Borde S del SCE (S del sondeo 5, C2). Coincide con una banda conductora buzando al N, y parece afectar a toda la corteza superior. Es la falla con mayor extensión y con salto acumulado de más de 3500 m al N de Madrid.
- El cabalgamiento N de la Sierra de S Vicente (C3), forma, junto con la anterior un bloque limitado por cabalgamientos de vergencia contraria (*pop-up*), que es la estructura típica del SCE (de Vicente *et al.*, 2007).
- El cabalgamiento N de la Sierra de Paramera (C4) aparece como una banda conductora que buza al S, y que afecta a buena parte de la corteza.
- El dique dolerítico de Plasencia, de edad jurásica, con sus anomalías magnética y gravimétrica (en menor medida) se sitúa próximo al sondeo 15 y coincide con un cuerpo conductor (CS6) que no parece penetrar más de unos pocos km.

Además de estas zonas anómalas, aparecen otros conductores en superficie que coinciden con algunas zonas de fractura importante: los cabalgamientos S (CS2) y N de la Sierra de Gredos (CS3). El borde N del SCE, aunque presenta una importante zona de gradiente gravimétrico, en la sección de resistividades no parece definido por resistividades anómalas. En esta zona, la estructura se corresponde con un cabalgamiento ciego, fosilizado por los sedimentos terciarios. Se sitúa al N del sondeo 17, y en la sección de resistividades sólo se observa un aumento del espesor de sedimentos hacia el N de esta estructura.

## CONCLUSIONES

La realización de un nuevo perfil MT de Banda Ancha de 200 km de longitud y transversal al Sistema Central, ha permitido obtener una primera imagen de la estructura de resistividades de esta zona de la Península Ibérica.

El modelo de resistividades eléctricas se ha comparado con los mapas aeromagnéticos y gravimétricos, así como con un modelo gravimétrico situado sobre el mismo. La interpretación conjunta del modelo de resistividades calculado con los datos MT, con el resto de información geológica ha permitido caracterizar los siguientes aspectos:

- La corteza por debajo de la mayor parte del SCE en su sector de Gredos es muy homogénea y resistiva, extendiéndose este carácter hacia la Cuenca del Duero.
- Existen unas zonas conductoras que alcanzan al menos a la corteza superior, en forma de bandas inclinadas, que coinciden con algunos de los cabalgamientos alpinos más importantes del centro Peninsular (ej. Cabalgamiento N de los Montes de Toledo y Falla del Borde S del SCE).
- Las cuencas con sedimentos terciarios se definen como cuerpos conductores superficiales, con unos espesores que ajustan bien con los datos gravimétricos y sísmicos.

## AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo ha sido financiado por los Proyectos de Investigación TopoIberia (CSD2006-00041) y UCM-Santander GR35/10-A-910342.

## REFERENCIAS

- Ardizzone, J.; Mezcuca, J. y Socias, I. (1989). Mapa aeromagnético de España peninsular. Instituto Geográfico Nacional, Madrid.
- Bea, F.; Villaseca, C. y Bellido, F. (2004). El Batolito de Ávila (Sistema central Español). En: *Geología de España* (J.A. Vera, ed.). SGE-IGME, Madrid: 101-110.
- De Vicente et al. (2007). Cenozoic thick-skinned deformation and topography evolution of the Spanish Central System. *Global Planet. Change*, 58, 335-381,
- Jones, A.G. (1998). Waves of the future: Superior inferences from collocated seismic and electromagnetic experiments. *Tectonophysics*, 286: 273-298.
- McNeice, G. W., y A. G. Jones (2001), Multisite, multifrequency tensor decomposition of magnetotelluric data. *Geophysics*, 6(1),158-173.
- Martín-Velázquez, S. y G. de Vicente (2012). The role of lithospheric heterogeneities in the location of the Cenozoic intraplate deformation of Iberia from finite element modeling, *Tectonics*, 31, doi:10.1029/2011TC002954.
- Pous, J.; Queralt, P. y Marcuello, A. (2001). Magnetotelluric signature of the western Cantabrian Mountains. *Geophysical research Letters*, 28 (9): 1795-1798.

- Pous, J., et al. (2011), Constraints on the crustal structure of the internal Variscan Belt in SW Europe: A magnetotelluric transect along the eastern part of Central Iberian Zone, Iberian Massif, *J. Geophys. Res.*, 116, B02103,
- Rodi, W. L., y R. L. Mackie (2001). Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2 - D magnetotelluric inversion, *Geophysics*, 66, 174-187, doi:10.1190/1.1444893.