

# Estimación de la resistencia de la litosfera en la península ibérica

## *Probing the strength of the Iberian lithosphere*

A. Jiménez-Díaz<sup>1</sup>, J. Ruiz<sup>1</sup>, R. Tejero<sup>1</sup>, J. F. Kirby<sup>2</sup> y R. Capote<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid, España. [ajimenezdiaz@geo.ucm.es](mailto:ajimenezdiaz@geo.ucm.es); [jaruiz@geo.ucm.es](mailto:jaruiz@geo.ucm.es); [rosatej@geo.ucm.es](mailto:rosatej@geo.ucm.es); [capote@geo.ucm.es](mailto:capote@geo.ucm.es)

<sup>2</sup> Department of Spatial Sciences, Curtin University, GPO Box U1987, Perth WA 6845, Australia. [J.Kirby@curtin.edu.au](mailto:J.Kirby@curtin.edu.au)

**Resumen:** Como indicador de la resistencia de la litosfera a largo plazo, el espesor elástico efectivo ( $T_e$ ) se puede utilizar para entender la relación entre la reología de la litosfera y la evolución geodinámica de ambientes tectónicos complejos. En este trabajo presentamos, por primera vez, un mapa de alta resolución de la variación espacial de  $T_e$  en la península ibérica, obtenido a partir del análisis espectral de la coherencia entre la topografía y anomalía de Bouguer, con el objetivo de mejorar nuestro conocimiento de la variación regional en la reología y el comportamiento mecánico a largo plazo de su litosfera. La mayor parte de la región se caracteriza por valores de espesor elástico efectivo bajos ( $T_e < 20$  km), destacando un dominio de valores de  $T_e$  moderados y altos en la zona centro y sudoeste peninsular, que se prolonga hacia el norte de África, limitado por fuertes gradientes de  $T_e$ , especialmente en la zona sur.

**Palabras clave:** espesor elástico efectivo, métodos espectrales, estructura litosférica, península ibérica

**Abstract:** As a proxy for long-term lithospheric strength, the effective elastic thickness ( $T_e$ ) can be used to understand the relationship between lithospheric rheology and geodynamic evolution of complex tectonic settings. Here we investigate the lithospheric strength of the Iberian Peninsula in order to improve our knowledge of the regional variations of the rheology and long-term mechanical behavior of the lithosphere in the study area. For this we present, for the first time, a high-resolution map of spatial variations of  $T_e$  in the Iberian Peninsula from the spectral analysis of the Bouguer coherence. We find that this region is characterized by low  $T_e$  values ( $T_e < 20$  km), where the most noticeable feature is a band of moderate to high values over the central and southwestern Iberian Peninsula, which connect southward with the high  $T_e$  values in the North Africa region.

**Key words:** effective elastic thickness, spectral methods, lithosphere structure, Iberian Peninsula

## INTRODUCCIÓN

Conocer la variación lateral de la resistencia de la litosfera puede ayudar a comprender cómo la deformación superficial está relacionada con los procesos geodinámicos profundos. La resistencia es a menudo cuantificada por medio del espesor elástico efectivo ( $T_e$ ) de la litosfera. El concepto de espesor elástico efectivo no hace referencia al espesor de una capa real. Por el contrario, se refiere al espesor teórico de una capa elástica de propiedades homogéneas que integra contribuciones de todas las capas de la litosfera (Watts y Burov, 2003), y se relaciona con otras formas de cuantificar las propiedades elásticas de la litosfera considerada como un todo, como puede ser la rigidez flexural ( $D$ ):

$$D = \frac{ET_e^3}{12(1-\nu^2)}, \quad (1)$$

donde  $E$  es el módulo de Young, y  $\nu$  el coeficiente de Poisson.

Por otra parte, el análisis integrado de los datos de topografía y gravedad es una potente herramienta que nos permite “sondear” la estructura y el comportamiento mecánico de la litosfera, por ejemplo, cómo responden ante cargas y descargas (Watts, 2001). En particular, un parámetro muy útil que describe este comportamiento es el espesor elástico efectivo de la litosfera. Además, la magnitud y la variación espacial de  $T_e$  puede controlar el grado, el estilo y la localización de la deformación en respuesta a las cargas tectónicas a largo plazo y, potencialmente, la distribución de la actividad sísmica

Los avances más recientes, tanto en el análisis espectral de la topografía y gravedad como en la modelización litosférica de la Tierra, han permitido caracterizar la variación espacial del espesor elástico efectivo en ésta con una resolución sin precedentes. Así, este tipo de análisis resulta de especial interés para el caso de la península ibérica, cuya litosfera registra una larga y compleja historia geológica. En este trabajo presentamos, por primera vez, un mapa de alta resolución de la variación espacial de  $T_e$  en la península ibérica y regiones vecinas, obtenido a partir del análisis

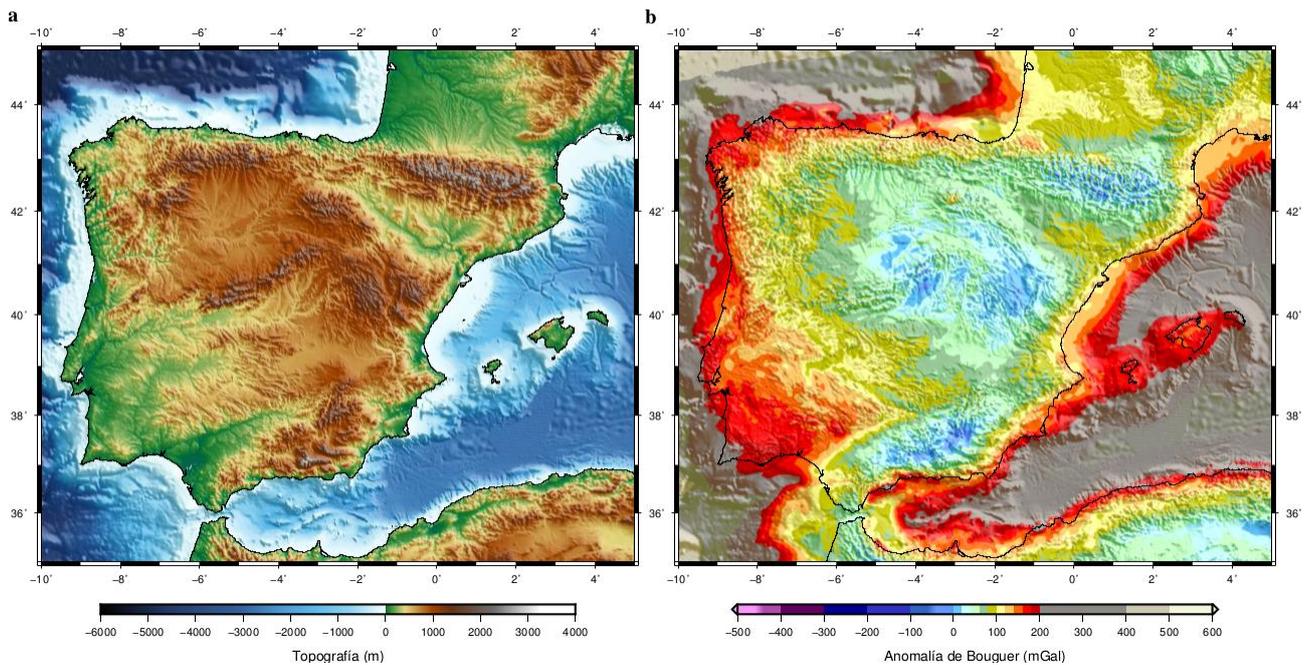


FIGURA 1. (a) Topografía (ETOPO1) y (b) anomalía de Bouguer (WGM2012) utilizados en la estimación del espesor elástico efectivo ( $T_e$ ) de la litosfera.

espectral de la coherencia entre la topografía y anomalía de Bouguer, con el objetivo de mejorar nuestro conocimiento sobre la reología y el comportamiento mecánico a largo plazo de su litosfera.

### COHERENCIA DE BOUGUER

Para estimar el espesor elástico efectivo, calculamos la función coherencia que relaciona la topografía y la anomalía de Bouguer (función conocida como coherencia de Bouguer), por medio de la transformación continua de ondículas (o transformada wavelet continua; Kirby and Swain, 2011), siguiendo el método de deconvolución de cargas de Forsyth (1985). La coherencia de Bouguer nos aporta información sobre el rango de longitudes de onda en la que la topografía y la anomalía de Bouguer están correlacionadas, de modo que generalmente tiende a cero en longitudes de onda cortas, donde la topografía no está compensada y las cargas están soportadas predominantemente por la resistencia elástica de la litosfera (Forsyth, 1985). En longitudes de onda largas, la respuesta ante cargas se aproxima al límite de Airy y la coherencia de Bouguer tiende a 1. La longitud de onda a la cual la coherencia crece rápidamente de 0 a 1 depende de  $T_e$ , de modo que cuando la litosfera es débil (y  $T_e$  es pequeño), la compensación local ocurre en longitudes de onda relativamente cortas, y viceversa.

Los datos de topografía/batimetría utilizados en nuestro análisis derivan del modelo global ETOPO1 (Amante y Eakins, 2009). Los datos de anomalía de Bouguer se han obtenido del modelo global en armónicos esféricos WGM2012 (Balmino et al., 2011) (Fig. 1). El modelo global CRUST1.0 (Laske et al., 2013) proporciona la información requerida sobre la

estructura interna de la corteza y el manto superior (variación lateral de la densidad interna y de la profundidad de las diferentes interfaces). Otros parámetros utilizados en la inversión son: módulo de Young,  $E = 100$  GPa; coeficiente de Poisson,  $\nu = 0.25$ ; aceleración de la gravedad,  $g = 9.79$  m s<sup>-2</sup>; constante de gravitación universal,  $G = 6.67259 \times 10^{-11}$  m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> s<sup>-2</sup>.

### MAPA DE ESPESOR ELÁSTICO EFECTIVO

La Fig. 2 muestra la variación espacial del espesor elástico efectivo de la litosfera en la región de la península ibérica. A modo de control del error y grado de ajuste de nuestro modelo, en la Fig. 3 se muestran ejemplos de las curvas de ajustes obtenidas del análisis 1D de la coherencia de Bouguer, así como los resultados de la inversión, para las cuatro localizaciones mostradas en la Fig. 2.

Como primera valoración del mapa de  $T_e$  obtenido, la mayor parte de la región se caracteriza por valores de espesor elástico efectivo muy bajos ( $T_e < 20$  km), destacando un dominio de valores de  $T_e$  moderados y altos en la zona centro y sudoeste peninsular, que se prolonga hacia el norte de África, y que se encuentra limitado por fuertes gradientes de  $T_e$ , especialmente en la zona sur. Como referencia, el rango de valores de  $T_e$  estimado para el centro de la península ibérica, entre 20 y 45 km ( $18.1 \pm 2.0$  km en el análisis 1D; Fig. 3b), es consistente con los valores de  $T_e$  obtenidos por medio de métodos espectrales para esta zona (15-40 km; Gómez-Ortiz et al., 2005; Pérez-Gussinyé et al., 2005).

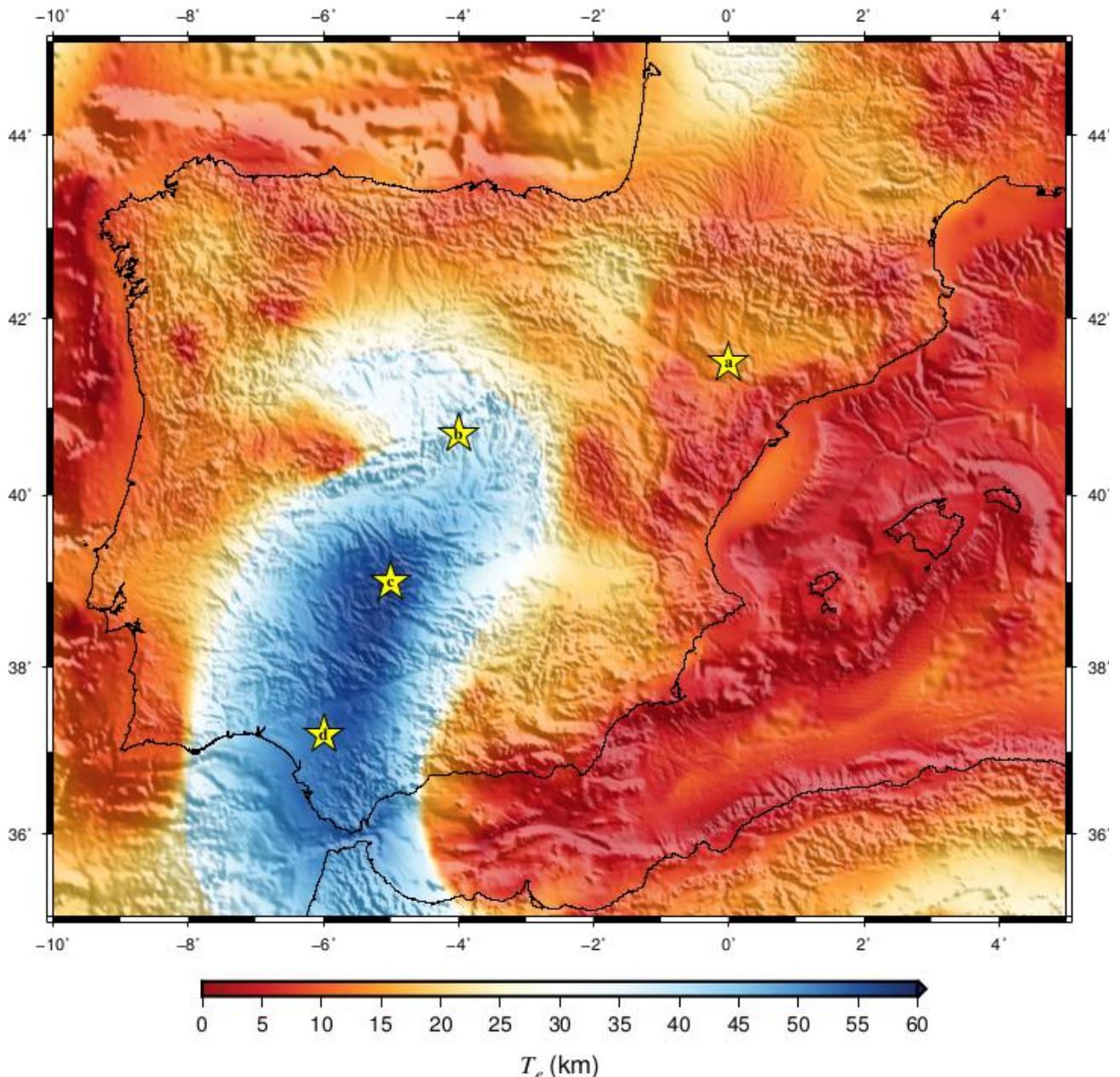


FIGURA 2. Variación espacial del espesor elástico efectivo ( $T_e$ ) de la litosfera en la península ibérica. Las estrellas amarillas (a-d) indican la localización de los análisis 1D mostrados en la Figura 3.

## CONCLUSIONES

En este trabajo presentamos, por primera vez, un mapa de alta resolución de la variación espacial del espesor elástico efectivo ( $T_e$ ) de la litosfera en la península ibérica, obtenido a partir del análisis espectral de la coherencia de Bouguer. Este mapa representa un primer paso para evaluar la variación regional en la estructura y el comportamiento mecánico de su litosfera, y es necesario un análisis en profundidad de las relaciones entre la deformación superficial, la estructura litosférica y la dinámica del manto en esta región.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a David Gómez Ortiz y a Carlos Fernández la revisión de este trabajo. Las figuras de este trabajo han sido elaboradas mediante el software Generic Mapping Tools (Wessel et al., 2013). Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto CGL2011-23857.

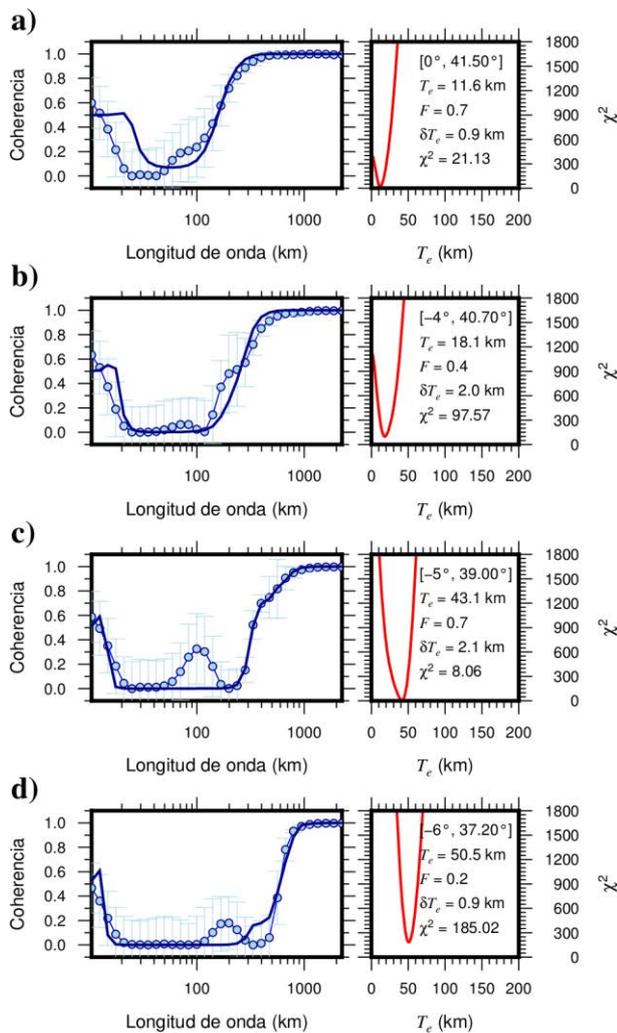


FIGURA 3. (a-d) Análisis 1D de la coherencia de Bouguer y resultados de la inversión para las cuatro localizaciones mostradas en la Figura 2. Paneles izquierdos: coherencia observada (círculos azul claro con sus barras de error y línea azul), coherencia teórica (línea azul oscura). Paneles derechos: curva de ajuste utilizada para estimar  $T_e$  (línea roja), y resumen numérico de los resultados de la inversión (coordenadas del análisis, espesor elástico efectivo,  $T_e$ ; fracción de cargas internas,  $F$ ; error de  $T_e$ ,  $\delta T_e$ ; ajuste del análisis,  $\chi^2$ ).

## REFERENCIAS

- Amante, C. y Eakins, B.W. (2009): *ETOPO1 1arc-minute global relief model: procedures, data sources and analysis*. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC24. 19pp.
- Balmino, G., Vales, N., Bonvalot, S. y Briais, A. (2011): Spherical harmonic modeling to ultra-high degree of Bouguer and isostatic anomalies. *Journal of Geodesy*, DOI 10.1007/s00190-011-0533-4.
- Forsyth, D.W. (1985): Subsurface loading estimates of the flexural rigidity of continental lithosphere. *J. Geophys. Res.*, 90: 12,623–12,632.
- Gómez-Ortiz, D., Tejero, R., Ruiz, J., Babin-Vich, R. y González-Casado, J.M. (2005): Estimating the effective elastic thickness of the Iberian Peninsula's lithosphere based on multitaper spectral analysis. *Geophys. J. Int.*, 160: 729–735.
- Kirby, J.F. y Swain, C.J. (2011): Improving the spatial resolution of effective elastic thickness estimation with the fan wavelet transform. *Computers and Geosciences*, 37: 1345–1354.
- Laske, G., Masters, G., Ma, Z. y Pasyanos, M. (2013): Update on CRUST1.0 - A 1-degree Global Model of Earth's Crust. *Geophys. Res. Abstracts*, 15: EGU2013-2658.
- Pérez-Gussinyé, M. y Watts, A.B. (2005): The long-term strength of Europe and its implications for plate forming processes. *Nature*, 436: 381–384.
- Watts, A.B. (2001): *Isostasy and Flexure of the Lithosphere*. Cambridge University Press. 472 pp.
- Watts, A.B. y Burov, E.B. (2003): Lithospheric strength and its relation to the elastic and seismogenic layer thickness. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 213: 113–131.
- Wessel, P. et al. (2013): Generic Mapping Tools: Improved version released. *EOS Trans. AGU* 94: 409–410.