

# Modelización gravimétrica de la transición entre corteza continental y oceánica en el margen oeste de Galicia

M. Druet, A. Muñoz Martín, A. Carbó, J. Álvarez y P. Llanes

Dpto. de Geodinámica, Fac. CC Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid. mdruet@geo.ucm.es

## ABSTRACT

*Since 2001 marine gravity data have been collected on the North Atlantic Ocean around Galicia Margin. The aim of this paper is the analysis of the Bouguer anomaly map of the west margin of Galicia and the modelling of the ocean-continent boundary in this area. Very high Bouguer anomaly values have been obtained for this region, specially in the oceanic crust of the Iberian Abyssal Plain. A gravity low is related to the Galicia Bank continental block, and relative positive elongate highs correspond with the Peridotite Ridge and the Galicia Interior Basin. The two gravity models presented here, based on seismic refraction and reflection profiles, have allowed the characterization of the gravity limit between oceanic and continental crust in this margin. This limit is located 15 km eastwards in the northern profile 1, from the previous proposed limit based on sedimentary criteria.*

**Key words:** gravity modelling, crustal structure, Galicia Bank.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El oeste de Galicia es un margen continental no volcánico creado a partir de la propagación hacia el N de la apertura del océano Atlántico hace 110 m.a. Durante éste periodo se sucedieron varios episodios tectónicos de tipo extensional en este área, el más importante de ellos entre el Berriasiense y el Aptiense superior. Posteriormente, entre el Paleoceno y el Eoceno, la convergencia entre Eurasia y la Placa Ibérica dió lugar, hacia el N de la región, al desarrollo de estructuras compresivas y a la reactivación de las estructuras extensionales previas (Boillot y Malod, 1988). En la actualidad es posible observar una morfología controlada por estructuras de bloques levantados y hundidos limitados por fallas, siendo el más importante el Banco de Galicia (BG, Fig. 1).

Los objetivos de este trabajo son el análisis del mapa de anomalía de Bouguer del margen occidental de Galicia, obtenido a partir de nuevos datos gravimétricos marinos, y la modelización de la transición entre la corteza oceánica (c.o.) y la corteza continental (c.c.) en el mismo. La integración de los datos cartográficos con los modelos en 2+1/2D permitirá la cartografía de este límite, lo cual tiene importantes repercusiones de tipo socioeconómico, como es la posible ampliación de la zona económica exclusiva española (ZEEE).

## MARCO GEOLÓGICO

Este margen continental de la península Ibérica tiene una estructura compleja, en la que tradicionalmente se han dis-

tinguido tres segmentos. Al O de la plataforma gallega se sitúa una cuenca sedimentaria (Cuenca Interior de Galicia, CIG) alargada y de orientación N-S, con una anchura de unos 100 km. Se trata de una cuenca con grandes fallas normales NNO-SSE que separan bloques estrechos y alargados de basamento continental basculados. Estas estructuras se ven truncadas por otras dos familias de fallas de direcciones NNE-SSO y NO-SE (Boillot y Malod, 1988). Los depósitos sedimentarios alcanzan un espesor de unos 6 km en el centro de la cuenca, adelgazándose la serie hacia la plataforma continental y el BG (Pérez-Gussinyé *et al.*, 2003). Hacia el O, la CIG está limitada por el segundo de los segmentos, una serie de bloques levantados que forman una barrera entre ella y la Llanura Abisal Ibérica (LLAI). El más importante de ellos es el BG, que se eleva desde batimetrías próximas a los 4000 m hasta menos de 700 m de profundidad. Se trata de un gran bloque de corteza continental, limitado por fallas que lo basculan y levantan, con una ligera cobertera de sedimentos carbonatados. Más hacia el O se llega al tercer y último de los segmentos, la denominada zona de transición océano-continente (ZTOC). Es una zona de pocas decenas de kilómetros de anchura, formada por una delgada c.o. mesozoica con una ligera cobertera sedimentaria. Esta c.o. se interpreta como resultado del pobre aporte magmático acontecido durante pocos millones de años tras el inicio de la apertura continental. Por debajo de esa c.o. se encuentra un nivel de peridotitas serpentinizadas que llegan a aflorar hacia el O, formando una cresta alargada y muy continua a lo largo de todo el margen. Algunos autores interpretan que esta cresta de peridotitas serpentinizadas (CP) marca el límite

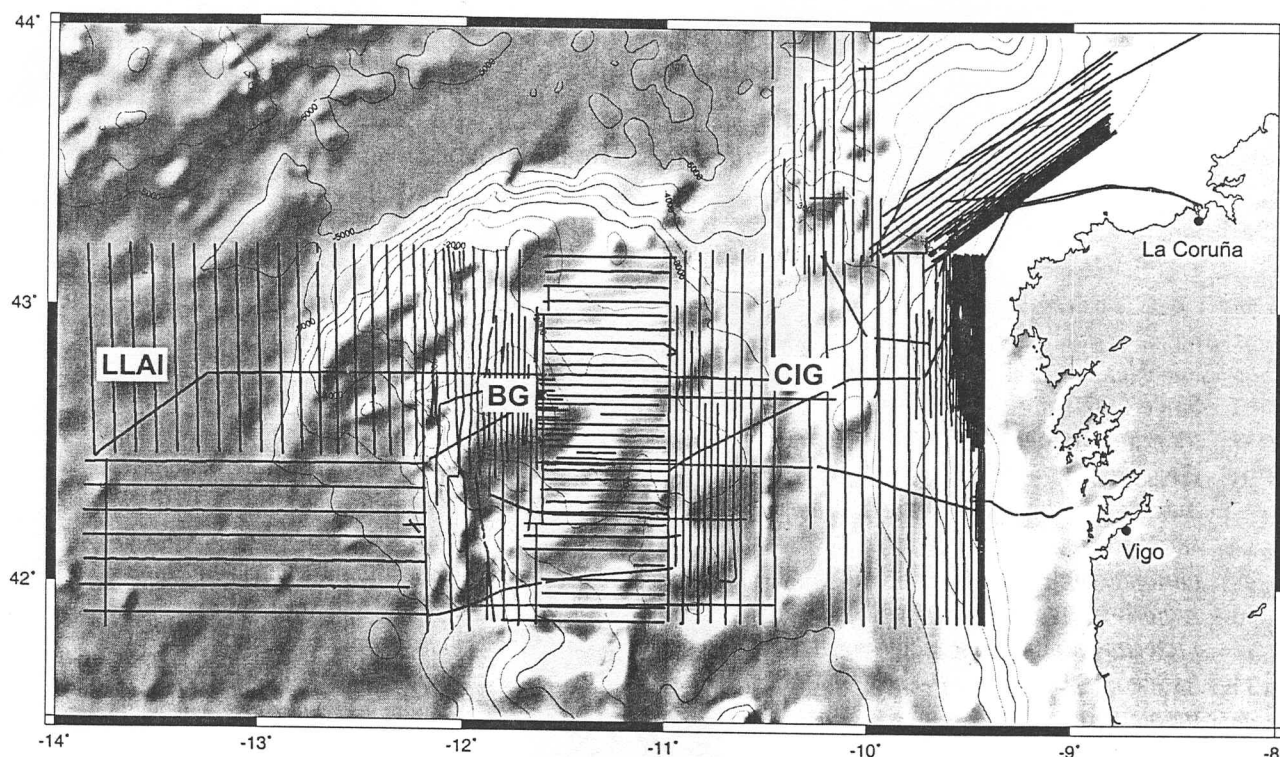


FIGURA 1. Mapa de situación y líneas de navegación durante las campañas 2001, 2002 y 2003 de la Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE). Contornos batimétricos cada 500 m. LLAI, Llanura Abisal Ibérica; BG, Banco de Galicia y CIG, Cuenca Interior de Galicia.

océano-continente debido a que al E de la misma se encuentran sedimentos interpretados como depósitos sinrift, inexistentes al otro lado de la CP (Boillot *et al.*, 1989). Al O de esta estructura se encuentra ya la c.o. "normal" de la LLAI.

## TRABAJOS REALIZADOS

La zona de estudio comprende aproximadamente 61200 km<sup>2</sup> del margen O de Galicia (Fig. 1). Los datos gravimétricos han sido adquiridos durante tres campañas realizadas del 2001 al 2003 en aguas del NO de la península Ibérica (proyecto "Estudio Hidrográfico y Oceanográfico de la Zona Económica Exclusiva Española", ZEEE) a bordo del Buque de Investigación Oceanográfica Hespérides. La instrumentación utilizada ha sido un gravímetro marino Bell Aerospace BGM-3 y el enlace con la red terrestre se realizó sobre las bases gravimétricas de primer orden del I.G.N. en Cartagena y Santander, con un gravímetro Lacoste & Romberg. La reducción se ha ejecutado con el IGRS67 y los datos finales de anomalía de Bouguer incluyen la corrección de lámina de agua, Eötvös, marea terrestre y topografía, incluyendo el fondo oceánico (Blakely, 1995; Carbó *et al.*, 2001). La corrección de Bouguer está calculada para una densidad de reducción de 2,67 g/cm<sup>3</sup> y la corrección topográfica se ha realizado de forma automática hasta los 30 km, utilizándose un modelo digital de elevaciones de 2 km de lado (Smith y Sandwell, 1997).

Las líneas de navegación procesadas se incluyeron en una base de datos georreferenciada, donde fueron corri-

das las lecturas individuales anómalas, para posteriormente aplicar un filtro de paso bajo que eliminara aquellas anomalías con una longitud de onda inferior a 500 m. El conjunto de datos ya filtrado se interpoló mediante "Kriging", obteniéndose finalmente una malla regular de 4 km de lado para los valores de anomalía de Bouguer (Fig. 2).

## Análisis del Mapa de anomalía de Bouguer

El mapa de la figura 2 señala claramente la zona de c.o. por sus valores elevados (>300 mGal), el mínimo relativo de anomalía de Bouguer que supone el BG (<250 mGal), debido a su carácter continental, y el eje positivo de dirección N-S de la Cuenca Interior de Galicia. La transición entre estos tipos de anomalías se hace fundamentalmente mediante gradientes N-S y NO-SE. Dado que el límite N del BG no se ha cartografiado, se han seleccionado para su modelización dos perfiles que atraviesan con una dirección E-O las estructuras y gradientes principales, y permiten apoyar parcialmente los modelos en perfiles sísmicos de reflexión y refracción profundos (Figs. 1 y 2).

## MODELIZACIÓN

Los dos modelos gravimétricos (Fig. 3) están apoyados en datos de sísmica de refracción previos (Córdoba *et al.*, 1987; Whitmarsh *et al.*, 1996 y Pérez-Gussinyé *et al.*, 2003) y en un perfil de sísmica de reflexión (Murillas *et al.*, 1990). La correlación entre densidades y velocidades de ondas se

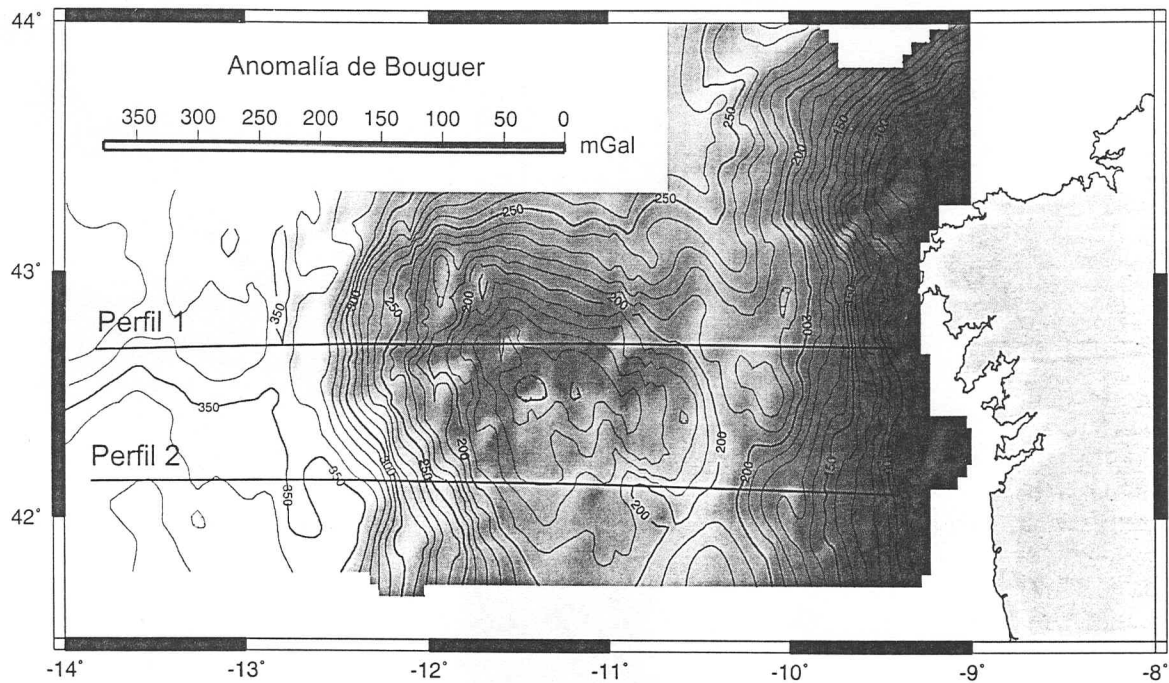


FIGURA 2. Mapa de anomalía de Bouguer (contornos cada 10 mGal) y situación de los modelos gravimétricos realizados (Fig. 3).

ha realizado a partir de las curvas empíricas que relacionan estos parámetros (Ludwig *et al.*, 1970; tabla I), y la extensión transversal de los cuerpos se ha prolongado perpendicularmente al menos 50 km en los cuerpos corticales, y en función de la extensión lateral de las anomalías asociadas a los cuerpos sedimentarios de menor tamaño (p.ej. los semi-graben presentes en la CIG).

Los modelos gravimétricos presentados presentan unas características parecidas, distinguiéndose los siguientes elementos: a) una zona de altos valores de anomalía de Bouguer (>300 mGal) al O de la zona de estudio, que se corresponde con la c.o. de la LLA; b) una zona de fuerte gradiente que marca la transición al BG y c) un máximo relativo correspondiente al eje central de la CIG. Finalmente, los dos modelos terminan hacia el E con otro fuerte gradiente asociado a la plataforma continental gallega. Las diferencias entre ambos modelos son que en el modelo 1, situado más al N, se aprecia una transición más corta entre la LLA y el BG y una mayor amplitud de la anomalía de Bouguer correspondiente al eje de la CIG. En este perfil 1 también se aprecia un máximo relativo de unos 20 mGal y corta longitud de onda que se corresponde con la cresta de peridotitas (Boillot y Malod, 1988), mientras que en el perfil 2 esta anomalía presenta una menor amplitud.

El ajuste con los datos sísmicos ha sido muy bueno (error acumulado < 3 mGal), y los modelos permiten definir la transición entre la c.o. y la c.c., que se produce mediante una zona estrecha en el perfil 1, situada al E de la CP, que hemos interpretado como una zona de fractura de alto buzamiento. En el modelo 1 ha sido necesario introducir un cuerpo intrusivo de alta densidad en la base de la c.c., al O de dicha CP, que no había sido citado hasta ahora. La tran-

sición entre la c.o. y la c.c. en el perfil 2 es menos neta, y se produce mediante una serie de bloque fallados y basculados hacia el O, presentando una c.o. anómala con un cuerpo intrusivo en su base, que es coherente con lo observado por Whitmarsh *et al.* (1996).

En lo referente a la CIG, los modelos ajustan bien con una estructura de tipo extensional frágil en la c.c. superior y un adelgazamiento dúctil de la c.c. inferior, llegando a tener la c.c. un espesor total mínimo de 14 km, incluyendo la lámina de agua. Para ajustar los modelos no ha sido necesario incluir un manto anómalo por debajo de la CIG, como sugieren algunos datos sísmicos, y si éste existe, su contraste de densidades debe ser mínimo, pues de otro modo es necesario recurrir a espesores corticales poco realistas para ajustar el modelo.

## CONCLUSIONES

A partir de los modelos gravimétricos en 2+1/2D realizados, el límite entre c.c. y c.o. se ha localizado 15 km al E de la CP en el modelo 1, interpretado como una zona de fractura de alto buzamiento, y mediante una zona de transición algo más compleja en el modelo 2. El gradiente asociado a la transición, conlleva superar valores de anomalía de Bouguer de 300 mGal. Este hecho difiere en la parte N de la zona de estudio con el límite propuesto hasta ahora sobre la CP.

La estructura del BG se corresponde con una c.c. adelgazada (<20 km) donde se diferencian una estrecha capa de sedimentos, una c.c. superior fracturada en bloques ( $d=2,6 \text{ g/cm}^3$ ) con espesores entre 6 y 9 km, y una c.c. inferior ( $d=2,8 \text{ g/cm}^3$ ) con espesores entre 8 y 10 km.

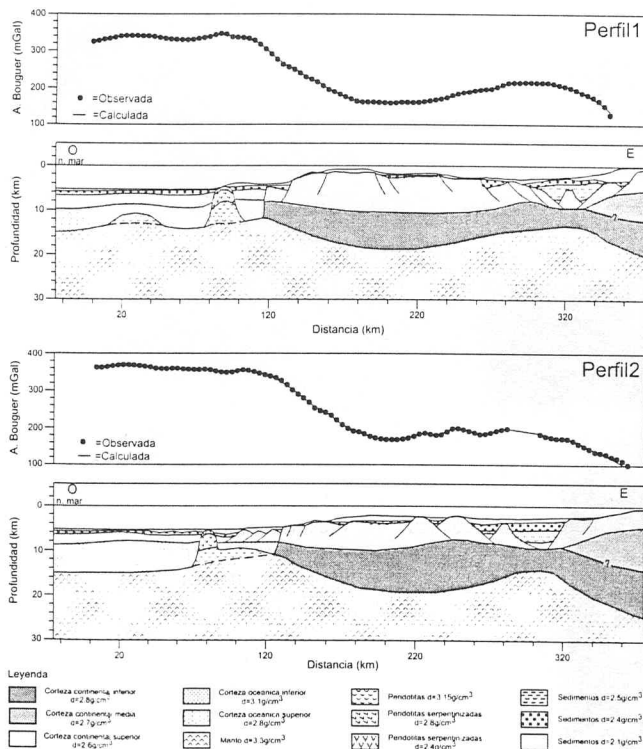


FIGURA 3. Modelos gravimétricos realizados (ver situación en la figura 2).

La CIG presenta una estructura típica extensional, con un fuerte adelgazamiento frágil en la c.c. superior que define una serie de graben y semigraben, y un adelgazamiento dúctil de la c.c. inferior, llegando a obtenerse un espesor mínimo de 14 km incluyendo la lámina de agua.

Además de un máximo de anomalía de Bouguer asociado a la CP ya conocida, en el N del área de estudio se ha detectado otra anomalía positiva de dirección N-S, al O de dicha cresta, que interpretamos como otro cuerpo intrusivo de menor amplitud de origen mantélico.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración prestada dentro del proyecto de la ZEEE al I.E.O., al I.H.M., al R.O.A. y a la dotación del B.I.O. Hespérides. También agradecemos a la U.C.M. su apoyo económico para las campañas. Las becas doctorales de María Druet, Pilar Llanes y Juan

Álvarez son financiadas por la Comunidad Autónoma de Madrid.

## REFERENCIAS

- Blakely, R.J. (1995): *Potential theory in Gravity and Magnetic applications*. Cambridge University Press, 441 p.
- Boillot, G. y Malod, J.A. (1988): The North and North-West Spanish continental Margin: A review. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 1 (3-4): 295-316.
- Boillot, G., Mougénot, D., Girardeau, J. y Winterer, E.L. (1989): Rifting processes on the West Galicia Margin, Spain. En: *Extensional Tectonics and Stratigraphy of the North Atlantic Margins* (A.J. Tankard y H.R. Balkwill, Eds.). AAPG Memoir, 46: 355-363.
- Carbó, A., Muñoz, A., Casas, A. y Álvarez, J. (2001): Boguer Anomaly Map of the Alborán Sea and the Surrounding Alpine Ranges (Betics and Rif). *Workshop on the Geodynamics of the Western Part of Eurasia-Africa plate boundary (Azores-Tunisia)*. Extended abstracts book. San Fernando, Spain, May 31-June 2, 138-139.
- Córdoba, D., Banda, E. y Ansorge, J. (1987): The hecynian crust in northwestern Spain: a seismic survey. *Tectonophysics*, 132: 321-333.
- Ludwig, W.J., Nafe, J.E. y Drake, C.L. (1970): Seismic refraction. En: *The Sea* (A.E. Maxwell, Ed.). Wiley-Interscience, New York, 4: 53-84.
- Murillas, J., Mougénot, D., Boillot, G., Comas, M.C., Banda, E. y Mauffret, A. (1990): Structure and evolution of the Galicia Interior Basin (Atlantic western Iberian continental margin). *Tectonophysics*, 184: 297-319.
- Pérez-Gussinyé, M., Ranero, C.R., Reston, T.J y Sawyer, D. (2003): Mechanisms of extension at nonvolcanic margins: Evidence from the Galicia interior basin, west of Galicia. *Journal of Geophysical Research*, 108 (B5): 2245-2263.
- Smith, W.H.F. y Sandwell, D.T. (1997): Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*, 277: 1956-1962.
- Whitmarsh, R.B., White, R.S., Horsefield, S.J., Sibuet, J.C., Recq, M. y Louvel, V. (1996): The ocean-continent boundary off the western continental margin of Iberia: Crustal structure west of Galicia bank. *Journal of Geophysical Research*, 101 (B12): 28291-28314.