

# Estructura cenozoica del margen continental de Galicia a partir del análisis de nuevos datos gravimétricos

## *Cenozoic structure of the Galicia continental margin from new gravity data analysis*

M. Druet<sup>1</sup>, A. Muñoz Martín<sup>2</sup>, A. Carbó<sup>2</sup> y P. Llanes<sup>2</sup>

1 Instituto Español de Oceanografía C/ Corazón de María, 8, 1ª planta, 28002-Madrid. Maria.druet@md.ieo.es

2 Dpto. de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, C/ José Antonio Novais, 2, 4ª planta, 28040-Madrid.

**Resumen:** Desde 2001 se han estado adquiriendo datos gravimétricos de barco en el Océano Atlántico Norte en el área del margen de Galicia. El propósito de este trabajo es realizar una interpretación de la estructura cenozoica del margen de Galicia a partir de datos gravimétricos. Con ese objetivo, presentamos un nuevo mapa de Anomalía de Bouguer del margen de Galicia. Esta nueva malla ha sido filtrada en el dominio de las frecuencias para generar un mapa de Anomalía de Bouguer de media y corta longitud de onda, indicativo de los cambios de densidad que se producen en la corteza. El análisis de estos nuevos datos muestra la magnitud de la tectónica compresiva cenozoica (pirenaica) en este margen, responsable en gran medida del acortamiento y levantamiento de la región de bancos submarinos. Durante esta etapa compresiva, además de la inversión de estructuras normales y direccionales previas, se generaron nuevas estructuras de acortamiento en el norte del área de bancos submarinos, llegando a duplicar la corteza oceánica en el norte del Banco de Galicia por medio de un gran cabalgamiento bien delimitado, continuación hacia el oeste de los que se observan en el margen compresivo del norte de la Península Ibérica.

**Palabras clave:** Banco de Galicia, margen oeste de Iberia, tectónica cenozoica, Anomalía de Bouguer.

**Abstract:** Since 2001 marine gravity data have been collected over the North Atlantic Ocean rounding Galicia margin. The aim of this paper is to make a interpretation of the Cenozoic structure of the Galicia margin from gravity data. With that objective, we present a new Bouguer Anomaly map of the Galicia margin. This new grid has been filtered in the frequency domain to generate a medium and short wavelength Bouguer Anomaly map, indicative of crustal density contrasts. The analysis of these new data shows the importance of the Cenozoic compressive tectonics on this margin, responsible to a great extent for the crust shortening and uplift of the seamounts area. During this compressive stage, besides the inversion of previous normal and strike-slip features, new inverse structures are generated in the northern edge of the seamounts area. To the north of Galicia Bank, the compressive Cenozoic stresses lead up to the duplication of oceanic crust by means of a great thrust well outlined, continuation towards the west of those observed on the compressive margin to the north of the Iberian Peninsula.

**Key words:** Galicia Bank, west Iberia margin, Cenozoic tectonics, Bouguer Anomaly.

## INTRODUCCIÓN

El margen continental pasivo del oeste de Iberia es uno de los más investigados en el planeta, debido a sus especiales características estructurales y al escaso aporte sedimentario que recibe, lo que facilita la planificación de estudios sísmicos. A pesar de esto, hay varios aspectos estructurales y relacionados con su origen que siguen siendo objeto de controversia.

Este margen continental, y con él el sector del margen de Galicia, se originó a partir de la propagación hacia el norte de la apertura del océano Atlántico en el Mesozoico. La tectónica compresiva que afectó a la Península Ibérica durante el Cenozoico originó la reactivación de las estructuras previas mesozoicas en esta región. Como resultado, se produjo el levantamiento de bloques de corteza continental basculados durante el proceso de rift, la inversión de estructuras mesozoicas

y la generación de nuevas estructuras de acortamiento (Boillot y Malod, 1988).

El objetivo fundamental de este trabajo es realizar una interpretación estructural sobre el margen continental del Galicia a partir del análisis de datos gravimétricos, reflejando los resultados de la tectónica compresiva cenozoica en esta región. Para ello, presentamos el mapa de Anomalía de Bouguer del margen continental de Galicia, obtenido a partir de un nuevo levantamiento gravimétrico. El análisis del espectro de frecuencias del mapa de Anomalía de Bouguer ha permitido aislar las anomalías producidas por cambios de densidad en la corteza.

## MARCO GEOLÓGICO

El margen oeste de Galicia tiene una estructura compleja, en la que se distinguen varios segmentos

(Fig. 1): La Cuenca Interior de Galicia (CIG), la zona de bancos submarinos, siendo el principal de ellos el Banco de Galicia (BG), y la Zona de Transición Océano-Continente (ZTOC). La CIG se sitúa al oeste de la plataforma gallega, y consiste en una cuenca sedimentaria alargada en dirección NNO-SSE con una anchura de cerca de 100 km. En esta cuenca destacan grandes fallas normales N-S a NNO-SSE que separan bloques estrechos y alargados de basamento continental basculados durante el proceso de rift mesozoico. Estas estructuras se ven truncadas por otras dos familias de fallas de direcciones ENE-OSO y NO-SE (Boillot y Malod, 1988). Los depósitos sedimentarios alcanzan un espesor de 6 km en el centro de la cuenca, y la serie se adelgaza hacia la plataforma continental y el BG (Pérez-Gussinyé *et al.*, 2003). Hacia el oeste de la CIG se encuentra la región de bancos submarinos, constituida por bloques de corteza continental basculados durante rift mesozoico y levantados posteriormente a consecuencia de la compresión cenozoica. Esta región limita hacia el oeste con la ZTOC, una banda de pocas decenas de kilómetros de anchura con una ligera cobertera sedimentaria y un basamento ultramáfico, que finaliza al oeste en una cresta de peridotita serpentinizada. Este basamento ultramáfico procede de la exposición del manto subcontinental durante los estadios finales del proceso de rift. Al oeste de esta última zona, se encuentra la corteza oceánica normal de la Llanura Abisal Ibérica (LLAI).

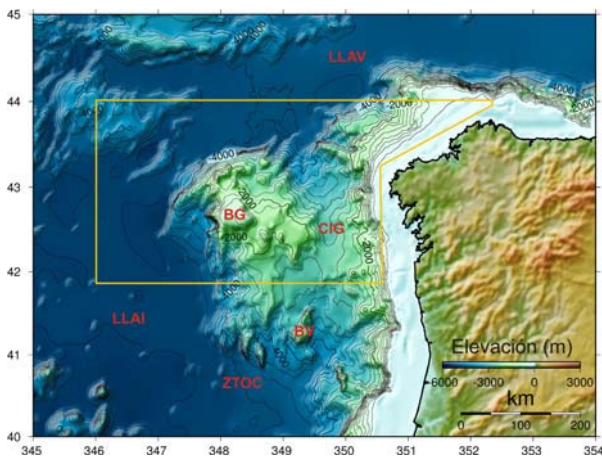


FIGURA 1. Mapa batimétrico de la zona de estudio. Contornos cada 500 m. El polígono de trazo amarillo señala la zona con datos gravimétricos de barco. BV, Banco de Vigo. Datos batimétricos reproducidos del Atlas Digital GEBCO publicado por el British Oceanographic Data Centre en nombre de la Intergovernmental Oceanographic Comisión y la International Hydrographic Organization, 2003.

Al norte, el margen oeste de Galicia sufre una transición compleja hacia el margen compresivo del norte de Iberia y la Llanura Abisal del Golfo de Vizcaya (LLAV), donde las estructuras extensivas relacionadas con el rift mesozoico interfieren, por un lado, con las estructuras también extensivas (dirección aproximada N120°), relacionadas con la apertura del Golfo de Vizcaya durante la misma época y, por otro,

con las estructuras compresivas de dirección E-O generadas a partir del Eoceno por la subducción incipiente de la corteza oceánica del Golfo de Vizcaya bajo Iberia (Srivastava *et al.*, 1990) en relación a la orogenia pirenaica. El margen al norte de Galicia y Asturias es claramente un cinturón de cabalgamientos, con un engrosamiento significativo de la corteza y un levantamiento importante del margen cretácico (Boillot y Malod, 1988, Álvarez-Marrón *et al.*, 1997).

## DESCRIPCIÓN Y PROCESADO DE LOS DATOS

Los datos empleados en este trabajo tienen diversas procedencias. En el mar se ha utilizado un levantamiento gravimétrico obtenido durante las campañas realizadas entre 2001 y 2007 en aguas del NO peninsular en el marco del *Plan Hidrográfico y Oceanográfico de la Zona Económica Exclusiva Española* (Proyecto ZEE); en las zonas en que no se dispone de datos de barco, se han utilizado datos gravimétricos derivados de altimetría de satélite (Sandwell y Smith, 1997). En tierra se han empleado datos gravimétricos procedentes de las bases de datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN), ENRESA y el Bureau Gravimétrique International (Álvarez, 2002). El gravímetro empleado en la adquisición de los datos durante las campañas en mar es un gravímetro marino Bell Aerospace BGM-3. Estos datos se enlazaron con la red gravimétrica terrestre en las bases gravimétricas de primer orden del IGN de Cartagena, Santander, Vigo y La Coruña, utilizando un gravímetro Lacoste & Romberg (modelo G). 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 (Carbó *et al.*, 2003). 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 hasta los 20 km, utilizando un modelo digital de elevaciones de 2 km de lado (Sandwell y Smith, 1997).

Los datos gravimétricos de barco, de tierra y los derivados de altimetría satelital, se procesaron e incluyeron en una base de datos geo-referenciada. El conjunto de datos se interpoló obteniendo una malla regular de 2 minutos de lado para los valores de Anomalía de Bouguer (Fig. 2).

Se ha realizado un análisis del espectro de frecuencias de la malla de Anomalía de Bouguer con el objetivo de identificar tramos de distinta pendiente que se pueden relacionar con las diferentes longitudes de onda presentes: Grandes longitudes de onda (fuentes profundas) y medias y cortas longitudes de onda (fuentes de profundidad media o superficiales). Los resultados de este análisis espectral se representan en la figura 3. A la vista de estos resultados, se ha procesado la malla de Anomalía de Bouguer en el dominio de las frecuencias para aplicar un filtro de paso de banda, entre 35 y 145 km. Así, se han aislado las longitudes de onda medias y cortas, que se relacionan con cambios de densidad en niveles corticales (Fig. 4).

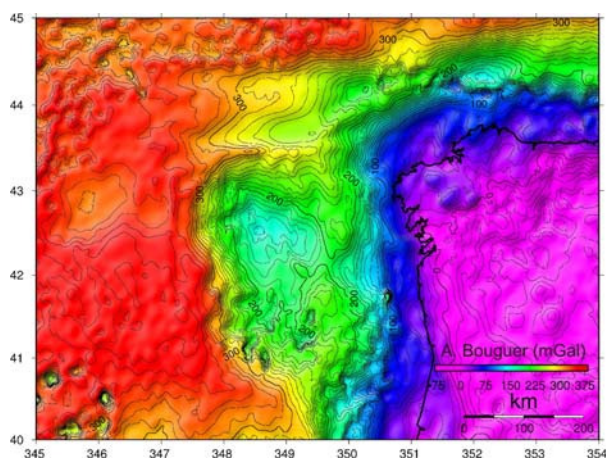


FIGURA 2. Mapa de Anomalía de Bouguer del área de estudio. Contornos cada 10mGal.

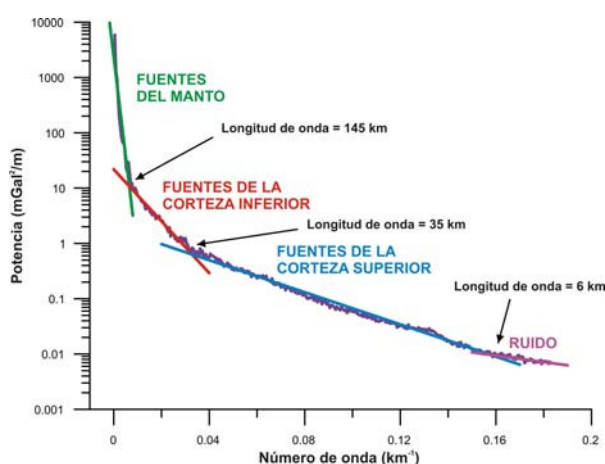


FIGURA 3. Espectro radial de la malla de valores de anomalía de Bouguer. Se indican en diferentes colores los ajustes lineales para cada uno de los rangos de longitud de onda relacionados con cada tipo de fuente generadora de anomalía gravimétrica.

## RESULTADOS Y DICUSIÓN

En el mapa de Anomalía de Bouguer (Fig. 2) se distingue claramente el dominio continental (Anomalía de Bouguer  $<250$  mGal) del oceánico (Anomalía de Bouguer  $>300$  mGal). La transición entre ambos dominios se lleva a cabo a través de gradientes de anomalía de Bouguer muy pronunciado al norte y al oeste del BG; uno un poco más suave al sur de la región de bancos submarinos; y un gradiente escalonado en la transición hacia el margen norte de Iberia.

Una vez sustraído el efecto gravimétrico de las fuentes más profundas, en el mapa de Anomalía de Bouguer de media y corta longitud de onda (Figs. 4 y 5), se observan de forma destacada varios mínimos y máximos de Anomalía de Bouguer. Destacan los mínimos relacionados con la región de bancos submarinos, donde se produce un engrosamiento relativo de la corteza continental, debido sobre todo a la inversión de estructuras normales y direccionales mesozoicas durante la compresión cenozoica. Otra zona

de mínimos relativos muy pronunciada, y que quedaba enmascarada en el mapa de Anomalía de Bouguer no filtrada, es la que se observa en tierra en la zona de las rías del oeste de Galicia y que se prolonga en mar hacia el norte. Esta zona de mínimos se relaciona con el engrosamiento de la corteza durante la compresión cenozoica; en la región de las rías gallegas los mínimos más pronunciados se dan en las zonas que quedan entre rías, por lo que su morfología puede relacionarse con zonas alternantes de corteza adelgazada-engrosada durante la contracción alpina.

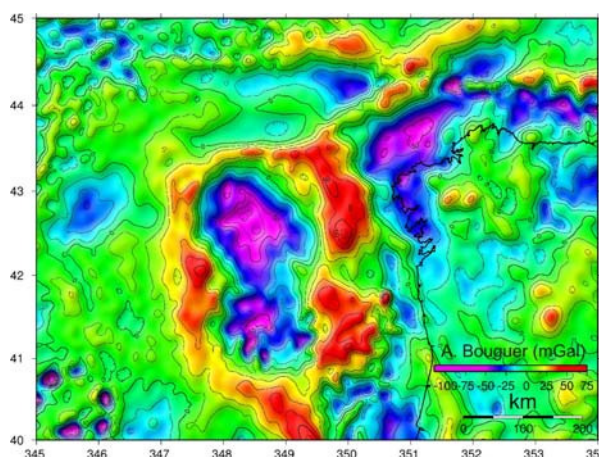


FIGURA 4. Mapa de Anomalía de Bouguer de media y corta longitud de onda (filtro de paso de banda,  $145 \geq \lambda \geq 35$  km). Contornos cada 10 mGal.

En cuanto a los máximos relativos que se observan en el mapa de Anomalía de Bouguer de longitud de onda media y corta (Figs. 4 y 5), cabe destacar la franja de máximo relativo que contornea toda la región de bancos submarinos desde el norte, donde es muy estrecha, ensanchándose paulatinamente por el oeste, hasta el sur. Hacia el norte y noroeste del BG, relacionamos este máximo relativo con las estructuras contractivas cenozoicas que generan un apilamiento de la corteza oceánica en este lugar; hacia el oeste y el sur de la región de bancos submarinos, la zona de máximo relativo marca la extensión de la ZTOC, donde la corteza es anormalmente delgada y de composición ultramáfica, y la cobertera sedimentaria mínima (p. ej., González *et al.*, 1999). Destacan también los valores altos observados sobre la CIG; en este caso se relacionan con el adelgazamiento extremo de la corteza continental en esta zona, que produce un ascenso de la superficie del Moho a lo largo del eje de la CIG (Pérez-Gussinyé *et al.*, 2003) dando como resultado esta anomalía gravimétrica de longitud de onda media.

En la interpretación estructural realizada a partir de los datos gravimétricos (Fig. 5), en el margen oeste de Galicia se observa una ausencia relativa de estructuras NO-SE que sí se observan en el margen norte y en tierra y que se relacionan habitualmente con la convergencia oblicua que se produce en el margen norte (Álvarez-Marrón *et al.*, 1997; De Vicente *et al.*, 2008); en cambio, sí se observa una mayor tendencia NNO-

SSE en vez de N-S de las estructuras mesozoicas cuanto más al norte en el margen oeste de Iberia. Este giro podría estar relacionado con la inversión de las fallas NE-SO mesozoicas, lo que acomodaría parte de la convergencia oblicua en esta región.

El enlace entre el límite norte del BG y los sistemas de cabalgamientos cenozoicos (pirenaicos) del margen norte de Iberia se realiza a través de cabalgamientos de dirección NE-SO, que se ven reflejados como zonas de alto gradiente en el mapa de Anomalía de Bouguer de medias y cortas longitudes de onda. Estas estructuras se correlacionan bien con la información estructural que se tiene de las zonas emergidas (p.ej., De Vicente *et al.*, 2008).

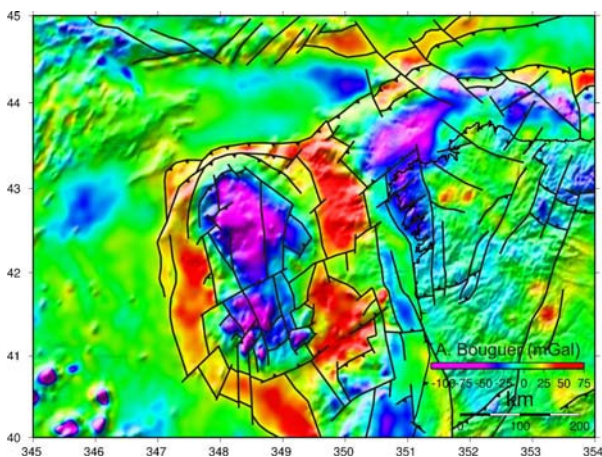


FIGURA 5. Interpretación estructural de los datos gravimétricos mostrada sobre un mapa en el que se superpone la Anomalía de Bouguer de media y corta longitud de onda (color) sobre el modelo digital de elevaciones.

## CONCLUSIONES

El análisis detallado de las anomalías de la gravedad en el margen de Galicia permite delimitar aquellas regiones donde la compresión cenozoica ha generado un engrosamiento relativo de la corteza continental (BG y margen norte de Galicia y zona de rías al oeste de la provincia gallega fundamentalmente).

La zona de bancos submarinos del oeste de Iberia está formada por un gran bloque de corteza continental cuyos límites norte y sur son compresivos, constituidos por cabalgamientos y fallas inversas de dirección ENE-OSO. Los límites este y oeste de la región de bancos submarinos están constituidos por antiguas fallas normales, de dirección N-S a NNO-SSE, que presentan un menor grado de inversión tectónica durante la compresión cenozoica.

La aplicación de un filtro para aislar las medias y cortas longitudes de onda de la Anomalía de Bouguer ha permitido observar una serie de máximos relativos que bordean la región de bancos submarinos del margen oeste de Galicia y que relacionamos, por una parte, con un apilamiento de la corteza oceánica al norte y al noroeste del BG y, por otra, con la presencia de

basamento ultramáfico al oeste y al sur de la región de bancos submarinos.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración en el proyecto ZEE al IHM y al ROA. La UCM apoya económicamente las campañas. El IEO financia la beca FPI de María Druet. Gracias a la UTM y a la dotación del BIO Hespérides por su inestimable ayuda en la mar.

## REFERENCIAS

- Álvarez, J. (2002): *Análisis gravimétrico e isostático en el Macizo Hespérico*. Trabajo de Investigación, Diploma de Estudios Avanzados, Dpto. de Geodinámica, Universidad Complutense de Madrid, 77 p.
- Álvarez-Marrón, J., Rubio, E. y Torné, M. (1997): Subduction-related structures in the North Iberian Margin. *Journal of Geophysical Research*, 102, B10: 22497-22511.
- Boillot, G. y Malod, J. (1988): The North and North-West Spanish Continental Margin: a review. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 1: 295-316.
- Carbó, A., Muñoz, A., Llanes, P., Álvarez, J. y ZEE working group (2003): Gravity analysis offshore the Canary Islands from a systematic survey. *Marine Geophysical Researches*, 24: 113-127.
- De Vicente, G., Cloetingh, S., Muñoz A., Olaiz, A., Stich, D., Vegas, R.; Galindo-Zaldívar, J. y Fernández-Lozano, J. (2008): Inversion of moment tensor focal mechanism for active stresses around the microcontinent Iberia: tectonic implications. *Tectonics*, 27, doi:10.1029/2006T C002093.
- González, A., Córdoba, D. y Vales, D. (1999): Seismic crustal structure of Galicia continental margin, NW Iberian Peninsula. *Geophysical Research Letters*, 26, 8: 1061-1064.
- Pérez-Gussinyé, M., Ranero, C.R. y Reston, T.J. (2003): Mechanisms of extension at nonvolcanic margins: Evidence from the Galicia interior basin, west of Iberia. *Journal of Geophysical Research*, 108, B5, doi:10.1029/2001JB000901
- Sandwell, D.T. y Smith, W.H.F. (1997): Marine gravity anomaly from Geosat and ERS-1 satellite altimetry. *Journal of Geophysical Research*, 102: 10039-10054.
- Srivastava, S.P., Roest, W.R., Kovacs, L.C., Levesque, S., Verhoef, J., y Macnab, R. (1990): Motion of Iberia since the Late Jurassic: results from detailed aeromagnetic measurements in the Newfoundland basin. *Tectonophysics*, 184: 229-260.