

Anomalías magnéticas y estructura profunda del Complejo Alcalino de Monchique (Zona Sudportuguesa)

Magnetic anomalies and deep structure of the Monchique Alkaline Complex (South Portuguese Zone)

Lourdes González-Castillo¹, Jesús Galindo-Zaldívar^{1,2} y Ana Ruiz-Constán³

¹ Departamento de Geodinámica, Universidad de Granada, Campus de Fuentenueva S/N 18071-Granada, España. lgcastillo@ugr.es, jgalindo@ugr.es

² Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, Avda. de Las Palmeras nº 4, 18100-Armilla, Granada, España.

³ Instituto Geológico y Minero de España, C/ Alcázar del Genil, 4, 18006-Granada, España. aconstan@ugr.es

ABSTRACT

Magnetic anomalies in the southwestern zone of the Iberian Peninsula are characterized by a large N-S dipole elongated in E-W direction. The most intense anomaly values are related to the outcropping sienites of the Monchique Alkaline Complex, intruding the metapelitic host rock of the South Portuguese Zone. Total field magnetic intensity data have been acquired along a N-S profile (Portimão-Odemira) across the dipole. Moreover, magnetic susceptibility of the outcropping Monchique rocks has been measured (0.029 SI). Simultaneous modeling of aeromagnetic and field magnetic data may constrain the geometry and depth extension of the Monchique Alkaline Complex. It has roughly lenticular and asymmetrical section extending in depth towards the north. The maximum thickness of more than 3 km is reached in the southern side of the profile where the intermediate rocks outcrop.

Key-words: *Magnetic prospecting, sienite, laccolith, Sudportuguese Zone, Monchique.*

Geogaceta, 54 (2013), 99-102.
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Introducción

La aplicación de métodos geofísicos es fundamental en el estudio de la estructura cortical profunda. Entre ellos, el análisis de las anomalías magnéticas contribuye a determinar la estructura de la corteza superior en zonas intruidas por rocas ígneas intermedias y/o básicas. El estudio de dichas anomalías ha sido aplicado tradicionalmente en zonas de corteza oceánica; no obstante, existen numerosos ejemplos en regiones continentales (Galindo-Zaldívar *et al.*, 2013).

El análisis de anomalías aeromagnéticas permite caracterizar a grandes rasgos cuerpos relativamente profundos. Sin embargo, para determinar en detalle la geo-

metría y características de dichos cuerpos, es necesario realizar medidas adicionales de campo con un menor espaciado. En este sentido, la modelización conjunta de anomalías aeromagnéticas y magnéticas de campo permite determinar la estructura y profundidad de los cuerpos que generan dichas anomalías.

El Complejo Alcalino de Monchique está localizado en el extremo suroccidental de la Península Ibérica. Intruye rocas carboníferas de la Zona Sudportuguesa que forman parte de las zonas externas del orógeno Varisco (Fig. 1A y B). Su afloramiento alcanza una extensión superficial aproximada de 80 km² y tiene forma ligeramente elíptica orientada OSO-ENE (Valadares y González Clavijo, 2004).

RESUMEN

Las anomalías magnéticas en el suroeste de la Península Ibérica están caracterizadas por un gran dipolo N-S alargado en dirección E-O. Los valores más intensos de anomalía están relacionados con los afloramientos de sienitas del Complejo Alcalino de Monchique, que intruyen rocas metapelíticas de la Zona Sudportuguesa. Se han realizado medidas de intensidad total de campo magnético a lo largo de un perfil N-S (Portimão-Odemira) que atraviesa dicho dipolo. Además, en los lugares en los que el cuerpo intrusivo de Monchique aflora, se ha medido su susceptibilidad magnética (0,029 SI). La modelización simultánea de las anomalías aeromagnéticas y magnéticas de campo ha permitido determinar la geometría y extensión en profundidad del Complejo Alcalino de Monchique. Este cuerpo tiene una sección asimétrica, aproximadamente lenticular, que se extiende hacia el N. El máximo espesor es superior a 3 km y se alcanza en la parte S, en el sector donde aflora.

Palabras clave: *Prospección magnética, sienitas, lacolito, Zona Sudportuguesa, Monchique.*

Fecha de recepción: 31 de enero de 2013
Fecha de revisión: 25 de abril de 2013
Fecha de aceptación: 24 de mayo de 2013

El sector SO de la Península Ibérica está caracterizado por un gran dipolo alargado E-O que se extiende hasta la Cuenca del Guadalquivir y las zonas externas de la Cordillera Bética (Fig. 1C) (Socias y Mezcuca, 2002). El afloramiento de sienitas de Monchique coincide con los valores más intensos de anomalía magnética representados en dicho dipolo. Numerosos autores han descrito las principales características geológicas de este complejo en superficie (Rock, 1982; Valadares y González Clavijo, 2004; Grange *et al.*, 2010). Sin embargo, hasta ahora no se ha estudiado su geometría profunda.

El objetivo principal de este trabajo es determinar la geometría y estructura profunda del Complejo Alcalino de Monchique

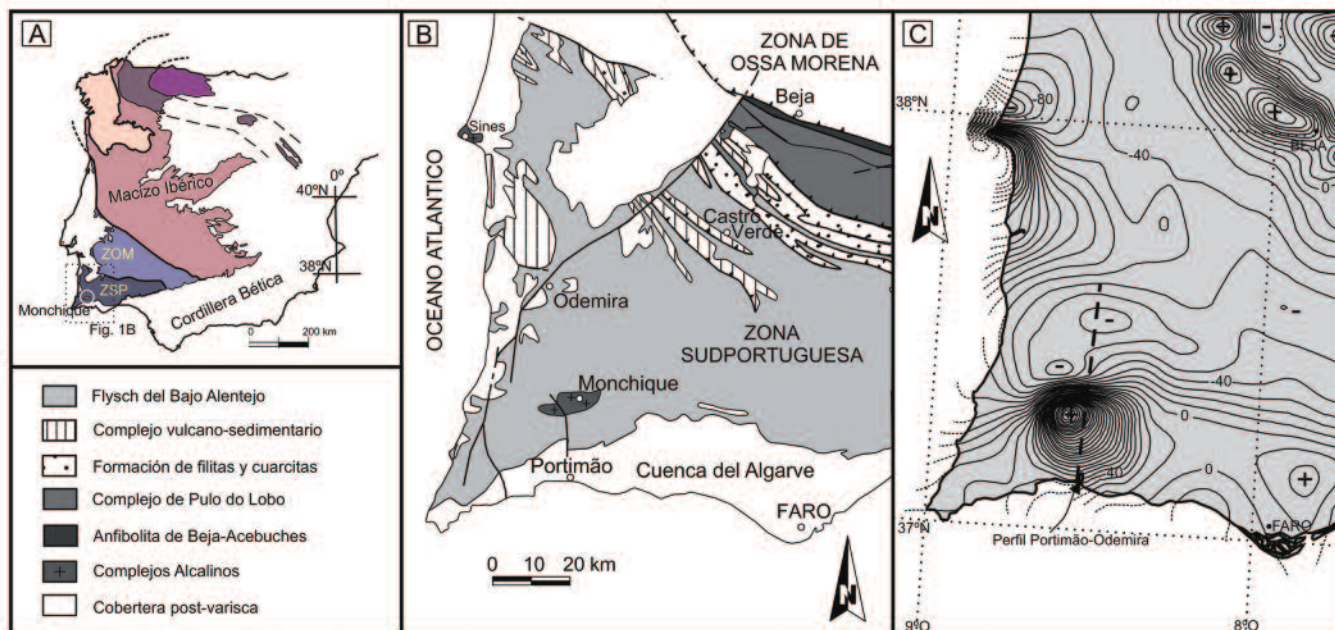


Fig. 1.- Localización del área de estudio. A) Mapa geológico simplificado del Macizo Ibérico. B) Mapa geológico del sector SO de la Península Ibérica. C) Detalle del mapa aeromagnético de la Península Ibérica (modificado de Socías y Mezcuca, 2002). Isolíneas cada 10 nT.

Fig. 1.- Location of the study area. A) Geological sketch of the Iberian Massif. B) Geological map of the SW Iberian Peninsula. C) Aeromagnetic map of the studied area (modified from Socías y Mezcuca, 2002). Isolines every 10 nT.

mediante la integración de datos geológicos previos, datos aeromagnéticos y datos magnéticos de campo.

Contexto geológico

El Complejo Alcalino de Monchique intruye en la Formación Brejeira localizada en el extremo meridional del Complejo de los Flysch del Bajo Alentejo (Zona Sudportuguesa del Macizo Ibérico) (Oliveira *et al.*, 1979; Oliveira, 1983) (Fig. 1B). Forma parte de una serie de complejos ígneos alcalinos (Sintra, Sines y Monchique) alineados en dirección NNO-SSE, emplazados durante el Cretácico superior (Grange *et al.*, 2010). Estudios de paleomagnetismo así como análisis petrogenéticos y tectónicos del SO de Portugal, relacionan la evolución geodinámica del magmatismo alcalino con la rotación de Iberia sobre una pluma de origen mantélico durante el Cretácico (Gomes *et al.*, 2004; Merle *et al.*, 2009; Grange *et al.*, 2010). El ascenso del magma se vio favorecido tanto por la existencia de fracturas variscas de dirección OSO-ENE reactivadas como fallas normales durante la orogenia Alpina, como por nuevas fallas alpinas de orientación N-S (Terrinha, 1998; González-Clavijo y Dias, 2003; Valadares y González-Clavijo, 2004).

El Complejo Alcalino de Monchique, datado entre 72-68 Ma, es el complejo más

joven y voluminoso de los tres mencionados anteriormente (Rock, 1982; Miranda *et al.*, 2009; Grange *et al.*, 2010). Rock (1978) describe este macizo como un lacolito subvolcánico emplazado durante el cretácico superior en metasedimentos marinos de edad tardicarbonífera. Tiene forma elíptica elongada en dirección OSO-ENE y estructura interna concéntrica con una unidad central de sienitas nefelínicas con abundantes megacristales de feldespato y una marginal, de menor importancia, compuesta por rocas ígneas básicas y ultrabásicas (Valadares y González-Clavijo, 2004).

Metodología

Este trabajo está basado fundamentalmente en el estudio de anomalías magnéticas. Se han modelizado simultáneamente los valores de anomalías aeromagnéticas y magnéticas de campo a lo largo de un perfil N-S, de 55 km de longitud, desde la población de Portimão, en la costa portuguesa, hasta Odemira (Fig. 1C).

El mapa de anomalías aeromagnéticas de la Península Ibérica del I.G.N. (Socías y Mezcuca, 2002) es el resultado de la integración del mapa aeromagnético de España (Ardizzone *et al.*, 1989) y del mapa aeromagnético de Portugal (Miranda *et al.*, 1989) y muestra las principales anomalías de intensidad del campo magnético total.

Estos mapas fueron realizados a partir de líneas de vuelo N-S con un espaciado medio de 10 km (líneas de control E-O separadas 40 km) y una altura barométrica media de 3000 m. Estos datos permiten determinar las estructuras mayores de la corteza pero impiden el estudio en detalle de estructuras de tamaño inferior a la decena de km.

Para estudiar en detalle la anomalía asociada al dipolo de Monchique, se han realizado un total de 64 estaciones de medida de intensidad de campo magnético total a una altura media de 2 m sobre la topografía. Debido a la amplitud de la anomalía, se planteó situar las estaciones de medida con un espaciado de 500 m. Esta distancia se respetó a lo largo del perfil estudiado salvo en zonas con influencia antrópica o dificultades orográficas, de manera que el espaciado medio final es de 850 m. Las medidas se hicieron en mayo del 2010 con un magnetómetro GSM 8 de precesión de protones con una precisión máxima de 1 nT. Para evitar la distorsión del campo natural que producen las líneas eléctricas y los elementos metálicos empleados en su construcción, no se realizaron medidas en zonas pobladas. Las variaciones diurnas se eliminaron a partir de los datos de intensidad del campo magnético total medidos en una estación fija situada en el Real Observatorio de la Armada, en San Fernando (Cádiz; www.intermagnet.net).

org). La anomalía magnética ha sido calculada considerando el valor del IGRF 2010 (I.A.G.A., 2010). La modelización 2D de las anomalías se ha realizado con el programa GRAVMAG V.1.7 del British Geological Survey (Pedley *et al.*, 1993), que permite corregir la anomalía regional y modelizar, exclusivamente, anomalías residuales.

Además de los valores de intensidad de campo total, se han realizado medidas de susceptibilidad magnética en los principales afloramientos a lo largo del perfil con un Exploranium KT-9 kappameter.

La localización de las estaciones de medida se realizó con GPS navegador, modelo Garmin Dakota con precisión de 5 m y con un altímetro barométrico de 1 m de precisión. Además, se utilizó un barógrafo situado cerca de la estación base para corregir las variaciones diurnas de elevación debidas a los cambios en la presión atmosférica.

Anomalías magnéticas asociadas al Complejo Alcalino de Monchique

El extremo suroccidental de la Península Ibérica está caracterizado por un dipolo de orientación N-S alargado en dirección E-O que se extiende hacia las zonas externas de la Cordillera Bética (Socias and Mezcuá, 2002). El perfil Portimão-Odemira, atraviesa los valores más intensos de este dipolo. De S a N, la anomalía aeromagnética muestra una tendencia ascendente hasta alcanzar un máximo de 210 nT. A partir de este valor la anomalía disminuye hasta alcanzar un mínimo de -72 nT (Fig. 2). Las medidas de superficie muestran la misma tendencia pero con valores de anomalía más intensos comprendidos entre un máximo de 1073 nT y un mínimo de -292 nT. La susceptibilidad magnética media, medida en campo, de las sienitas que afloran a lo largo de este perfil es 0,029 SI mientras que la de las metapelitas es de 0,00018 SI. Estos valores están dentro del rango propuesto para este tipo de rocas (Telford *et al.*, 1990).

Modelos de anomalía magnética

Para determinar la geometría y extensión en profundidad del Complejo Alcalino de Monchique se han modelizado simultáneamente las anomalías aeromagnéticas y las magnéticas de superficie (Fig. 3). Du-

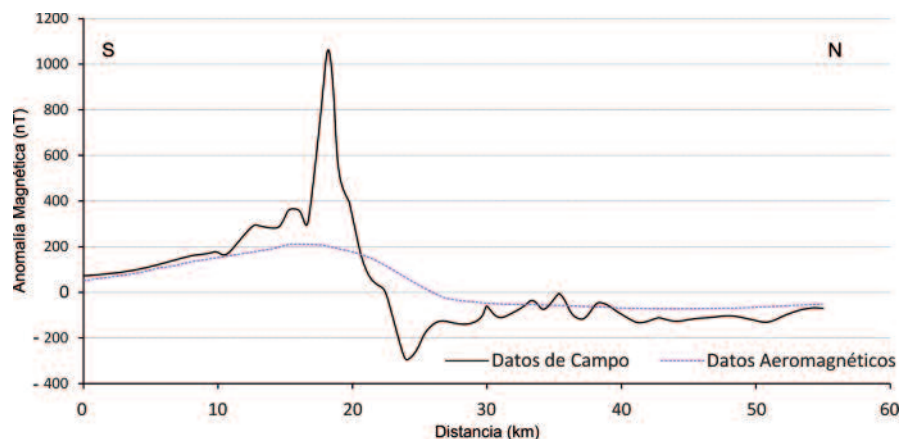


Fig. 2.- Anomalías magnéticas en el perfil Portimão-Odemira.

Fig. 2.- Magnetic anomalies along the Portimão-Odemira profile.

rante el desarrollo de los modelos se ha considerado sólo el contraste de susceptibilidad magnética, sin que haya sido necesario tener en cuenta una componente de magnetismo remanente. El mejor ajuste en ambos modelos se consigue considerando una susceptibilidad magnética de 0,034 SI. Este valor es ligeramente superior al obtenido en medidas de campo realizadas en las rocas aflorantes pero está dentro del rango de valores considerados para este tipo de rocas (Telford *et al.*, 1990). El mejor ajuste de ambas anomalías se consigue considerando una anomalía regional moderada decreciente hacia el N (diferencia de 60 nT entre ambos extremos del perfil).

Las Sienitas del Complejo Alcalino de Monchique afloran 5,5 km en la parte S del perfil y presentan una sección lenticular que se extiende hacia el N aproximadamente 35 km. El espesor máximo de este cuerpo supera los 3 km.

Discusión y conclusiones

El estudio de las anomalías magnéticas en regiones con rocas intrusivas básicas y/o intermedias ha sido ampliamente aplicado para caracterizar la geometría y extensión de dichos cuerpos intrusivos. La comparación de la forma de las curvas de anomalía aeromagnética y magnética de campo permite además determinar de forma más fiable la profundidad a la que están localizadas estas rocas. Para cuerpos someros, la intensidad y forma de las curvas es muy distinta aunque debe coincidir la posición de los máximos y mínimos. Al aumentar la profundidad de los cuerpos, las curvas se asemejan progresivamente hasta igualarse para cuerpos muy profundos. Esto es válido

para profundidades inferiores a 15-20 km en cortezas con una estructura térmica normal, ya que en ese rango de profundidad se alcanza la temperatura de Curie de la mayoría de los materiales ferromagnéticos y las rocas pierden sus propiedades magnéticas.

El perfil Portimão-Odemira atraviesa el dipolo de mayor intensidad del extremo suroccidental de la Península Ibérica. Los materiales metasedimentarios de la Zona Sudportuguesa no tienen anomalías magnéticas importantes debido a su baja susceptibilidad magnética. La anomalía asociada a ese dipolo está relacionada con el afloramiento de sienitas nefelínicas pertenecientes al Complejo Alcalino de Monchique.

El afloramiento parcial de estos materiales justifica los intensos valores observados en las anomalías magnéticas de campo así como la forma y tendencia de las anomalías aeromagnéticas. La susceptibilidad estimada para estas sienitas en los modelos es 0,034 SI, ligeramente superior a los valores medidos en campo (0,029 SI). El efecto del magnetismo remanente se sumaría al inducido, lo que justificaría el ligero aumento de susceptibilidad que se observa en los modelos respecto a los valores de campo. Por otro lado, para conseguir el mejor ajuste posible de los modelos, se ha considerado una anomalía regional moderada que estaría relacionada con un gran dipolo asociado a la corteza oceánica del Golfo de Cádiz (Roest *et al.*, 1996).

La modelización conjunta de las anomalías aeromagnéticas y magnéticas de campo ha permitido caracterizar la geometría y extensión en profundidad del Complejo Alcalino de Monchique a lo largo del perfil Portimão-Odemira. Este cuerpo tiene

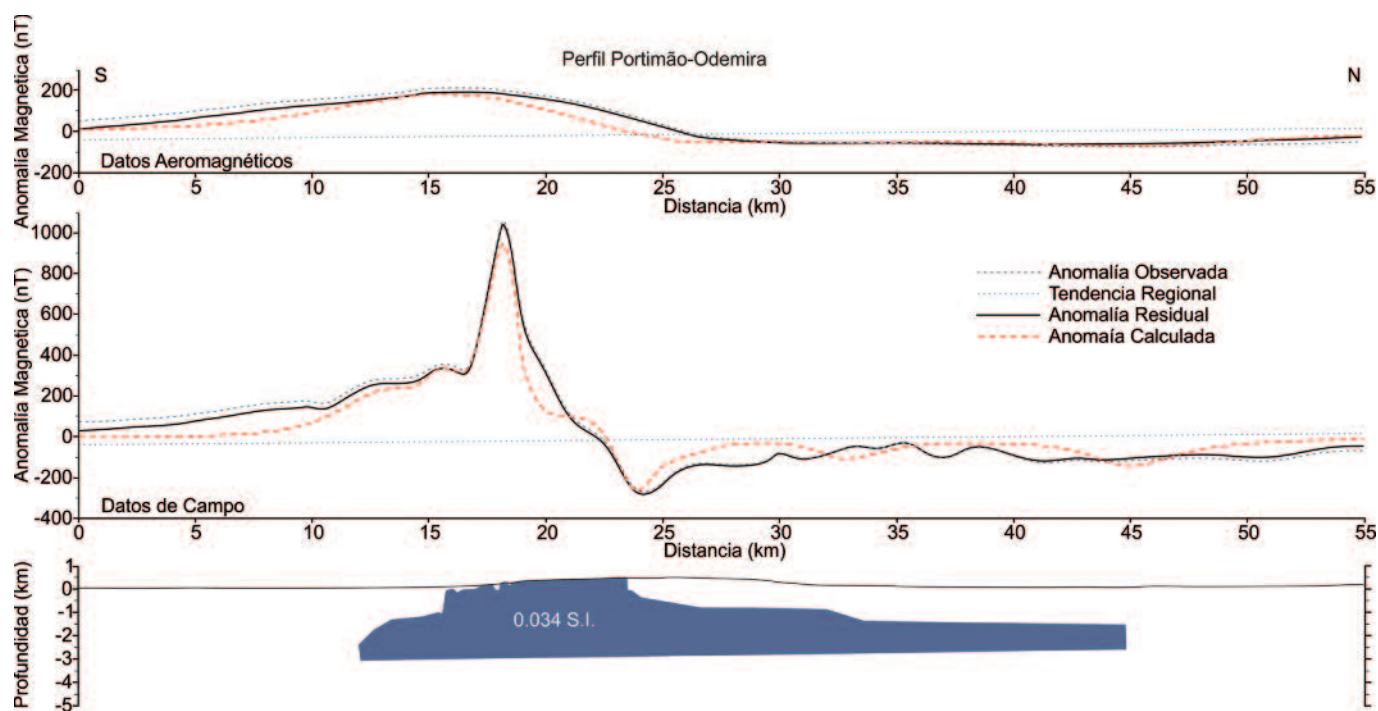


Fig. 3.- Modelo magnético realizado partir de datos aeromagnéticos y medidas de campo.

Fig. 3.- Magnetic anomaly model obtained from aeromagnetic and field magnetic data.

una sección groseramente lenticular y asimétrica, que alcanza su máximo espesor (3 km) en la parte S del perfil y se extiende unos 35 km hacia el N. Esta geometría es típica de grandes lacolitos emplazados en la corteza superior. La forma del lacolito puede constituir uno de los factores principales que determine la morfología actual en domo del macizo debido a la mayor resistencia a la erosión de las sienitas respecto a su encajante metapelítico.

Agradecimientos

El primer autor de este artículo tiene una beca FPU del Ministerio de Educación Cultura y Deporte. Este trabajo ha sido financiado por el Programa Consolider-Ingenio 2010 Programme (proyecto Topo-Iberia CSD2006-0041) y los proyectos CGL2010-21048, P09-RNM-5388, y RNM-148. Agradecemos los comentarios de Francisco Manuel Alonso Chaves y otro revisor anónimo que han contribuido a mejorar la calidad del trabajo.

Referencias

- Ardizzone, J., Mezcua, J. y Socias, I. (1989). *Mapa aeromagnético de España Peninsular*. Escala 1:1.000.000. I.G.N., Madrid.
- Galindo-Zaldívar, J., Ruiz-Constán, A., Pedrera, A., Ghidella, M., Montes, M., Nozal, F. y Rodríguez-Fernández, L.R. (2013). *Tectonophysics* 585, 68–76.
- Gomes, C.S.R. y Gama Pereira, L.C. (2004). *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe* 29, 291-298.
- González-Clavijo, E. y Dias, R. (2003). *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero* 90, 65-90.
- Grange, M., Scharer, U., Merle, R., Girardeau, J. y Cornen, G. (2010). *Journal of Petrology* 51, 1143-1170.
- I.A.G.A. (2010). *Geophysical Journal International* 183, 1216-1230.
- Merle, R., Jourdan, F., Marzoli, A., Renne, P.R., Grange, M. y Girardeau, J. (2009). *Journal of the Geological Society*, London 166, 879-894.
- Miranda, J.M., Galdeano, A., Rossignol, J.C. y Mendes Victor, L.A. (1989). *Earth and Planetary Science Letters* 95, 161-172.
- Miranda, R., Valadares, V., Terrinha, P., Mata, J., do Rosario Azevedo, M., Gaspara, M., Kullberg, J.C. y Ribeiro, C. (2009). *Cretaceous Research* 30, 575-586.
- Oliveira, J.T. (1983). *Memórias Serviços Geológicos de Portugal* 29, 3-38.
- Oliveira, J.T., Horn, M. y Paproth, E. (1979). *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal* 65, 151-168.
- Pedley, R.C., Busby, J.P. y Dabek, Z.K. (1993). *GRAVMAG. British Geological Survey, Technical Report WK/93/26/R*.
- Rock, N.M.S. (1978). *Journal of Petrology* 19, 171-214.
- Rock, N.M.S. (1982). *Lithos* 15, 111-131.
- Roest, W.R., Verhoef, J. y Macnab, R. (1996). *Magnetic Anomaly Map of the Atlantic North of 30°*. Scale 1:10.000.000
- Socias, I. y Mezcua, J., (2002). *Mapa de Anomalías Magnéticas de la Península Ibérica*. Instituto Geográfico Nacional (I.G.N.), Madrid.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. y Sheriff, R.E. (1990). *Applied Geophysics*, Cambridge University press, 770 pp.
- Terrinha, P.A.G. (1998). *Structural geology and tectonic evolution of the Algarve Basin*. Tesis Doctoral, Imperial College, University of London, U.K., 430 p.
- Valadares, V. y González-Clavijo, E.J. (2004). *Geogaceta* 36, 39-42.