Estructura profunda del sector central de las Cordilleras Béticas

Deep structure of the central sector of the Betic Cordilleras

J. Galindo–Zaldivar, F. González–Lodeiro y A. Jabaloy

Departamento de Geodinámica. Universidad de Granada. 18071 Granada.

ABSTRACT

The analysis of the crustal structure of the central sector of the Betic Cordilleras, by means of deep reflection seismic profiles and gravimetry, shows that the Moho is nearly planar. The continental crust of the Iberian Massif probably continue below the Betic Cordilleras. The boundary of the Betic Cordilleras crust and the thin crust of the Alborán Sea is made along a narrow E–W trending band where the Moho probably dips more than 60º N. This band is located 10 to 20 Km north of the coast line. The crust in the Betic Cordilleras has detachments, and the large folds with northward vergence, related to the main topographic features of the Internal Zones, do not deform the deep reflectors. The main crustal structures shown in the geophysical models are consistent with the oblique convergent movement between the Eurasian and African plates.

Key words: *Betic Cordilleras, deep seismic reflection, gravimetry, recent deformations.*

Geogaceta, 17 (1995), 124-127
ISSN:0213683X

Introducción

Las Cordilleras Béticas junto con las Cordilleras Rifeñas están en una banda de deformación distribuida asociada al límite de las placas Euroasiática y Africana, que es convergente desde el Cretáceo Superior a la actualidad (Dewey *et al.*, 1989).

Entre el Cretáceo Superior y el Oligoceno se produce engrosamiento cortical y metamorfismo en las Zonas Internas (Monié *et al.*, 1991). Durante el Mioceno Inferior se desarrollan sistemas de fallas normales de bajo ángulo en las Zonas Internas (Galindo–Zaldívar *et al.*, 1989; Jabaloy *et al.*, 1993) mientras que en las Zonas Externas se producen estructuras compresivas de vergencia NW (López–Garrido, 1971; Sanz de Galdeano, 1973). Desde el Mioceno superior hasta la actualidad se forman sistemas de pliegues de tamaño kilométrico y vergencia N (Weijermars *et al.*, 1985), sistemas de fallas de salto en dirección (región de Almería), y de fallas normales que individualizan las cuencas neógenas. Simultáneamente se produce una elevación en toda la región: los materiales marinos de edad Tortoniense se encuentran actualmente a cotas medias de 1200 y 600 m. s.n.m. en las depresiones de Guadix–Baza y Granada (Rodríguez–Fernández, 1982).

Los perfiles de sísmica de reflexión realizados en las Cordilleras Béticas (García–Dueñas *et al.*, 1994) y los modelos gravimétricos (Suriñach y Udías, 1976; Cloetingh *et al.*, 1992; Torné y Banda, 1992; Watts *et al.*, 1993) han permitido determinar que la corteza en las Cordilleras Béticas alcanza hasta los 38 Km de grosor, y es más delgada en el Mar de Alborán (14 Km en la zona central, Suriñach y Vegas, 1993) y en el macizo Ibérico (35 Km, Banda *et al.*, 1993).

En este trabajo se muestran las principales características de la estructura cortical de una transversal de la zona central de las Cordilleras Béticas a partir de la interpretación de dos perfiles de sísmica de reflexión profunda (García–Dueñas *et al.*, 1994) y de la modelización de las anomalías gravimétricas a lo largo de dichos perfiles (Fig. 1.).

Perfiles de sísmica de reflexión profunda

Los perfiles de sísmica de reflexión profunda ESCI–Béticas 1 y 2 (García–Dueñas *et al.*, 1994) permiten establecer en general las principales características sísmicas, tanto de la corteza como de la parte superior del Manto (Fig. 2.).

La Moho es plana o ligeramente ondulada y no tiene relación con la topografía. Se identifica a techo de un conjunto de reflectores discontinuos, subhorizontales o con buzamientos suaves, generalmente hacia el Sur, entorno a los 10–11 s. (TWT) que se continúan hasta el extremo SW del perfil 2. El Manto superior muestra zonas sin reflectores y otras con reflectores buzantes, de gran amplitud y longitud de varios kilómetros. El límite entre la corteza-

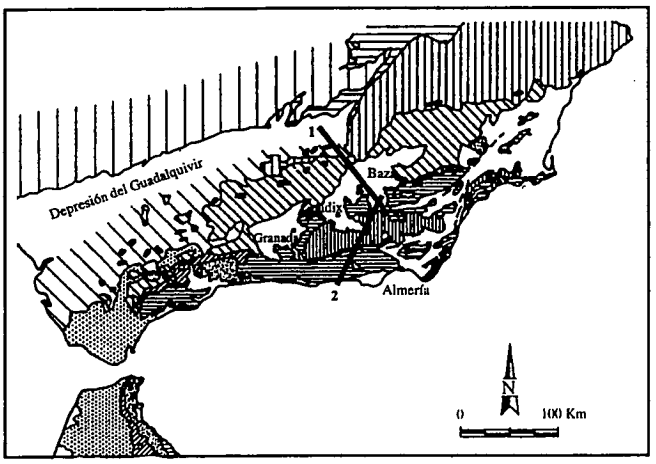

Fig. 1.– Localización geológica. Las líneas gruesas muestran la posición de los dos perfiles de sísmica de reflexión profunda del proyecto ESCI–Béticas. Sobre dichos perfiles se han realizado los modelos gravimétricos que se presentan en este trabajo. 1. Macizo Ibérico; 2, Cobertera mesozóica del Macizo Ibérico; 3, Prebético y Unidades intermedias; 4, Subbético; 5, Olistostromas; 6, Unidades de flysch del Campo de Gibraltar; 7, Complejos Predorsaliano, Dorsaliano y de Alozaina; 8, Complejo Maláguide; 9, Complejo Alpujárride; 10, Complejo Nevado–Filábride; 11, Cuencas neógenas; 12, Rocas volcánicas neógenas.

Fig. 1.– Geological setting. Thick lines show the location of the two deep reflection seismic profiles of the ESCI–Béticas project. Gravimetric models shown in this study have been made along these profiles. 1. Iberian Massif; 2, Mesozoic cover of Iberian Massif; 3, Prebetic and Intermediate Units; 4, Subbetic; 5, Olistostromes; 6, Campo de Gibraltar flysch units; 7, Predorsalian, Dorsalian and Alozaina complexes; 8, Maláguide Complex; 9, Alpujárride Complex; 10, Nevado–Filábride Complex; 11, Neogene basins; 12, Neogene volcanic rocks.

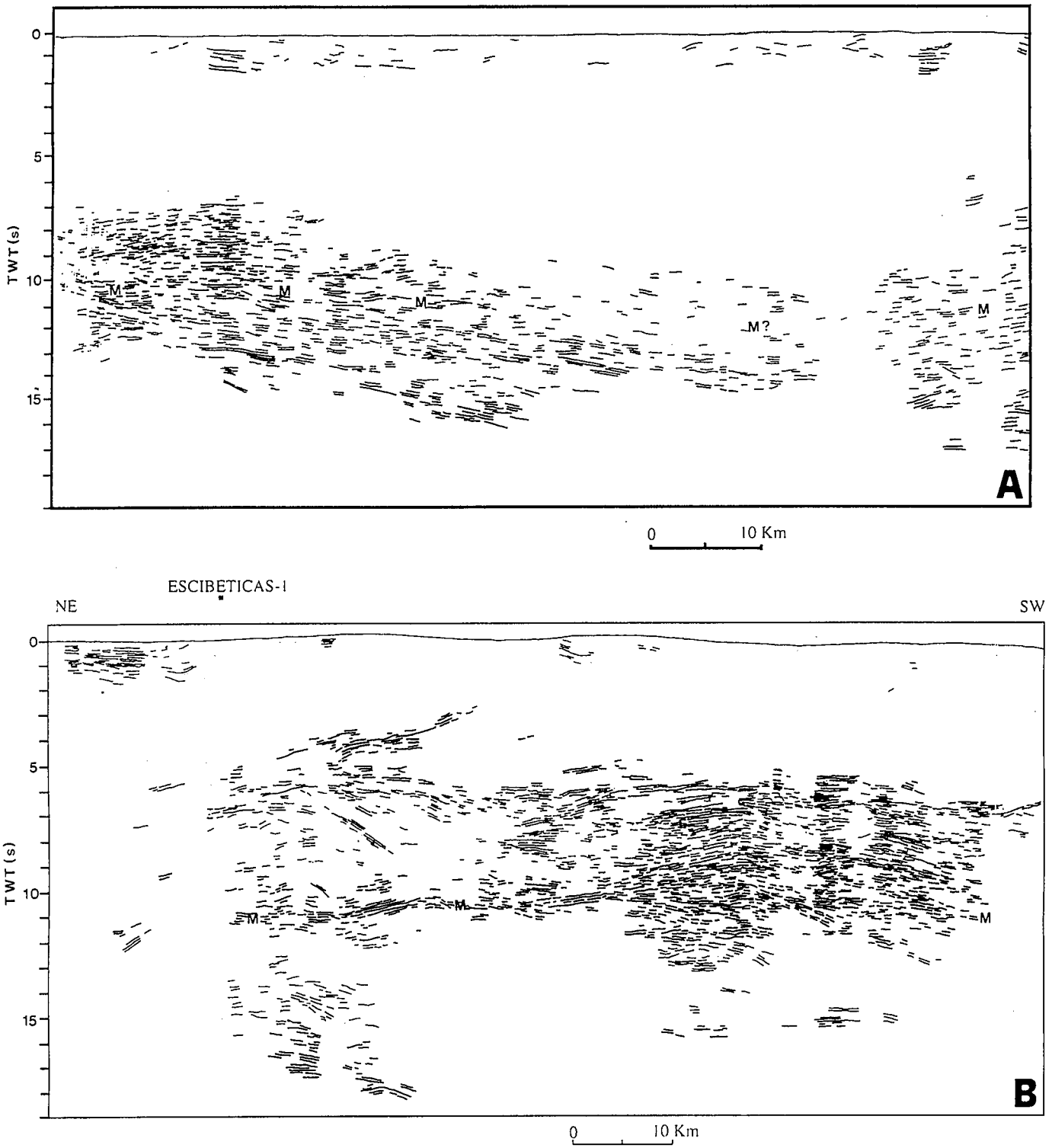

Fig. 2.– Reflectores en los perfiles stack de sísmica de reflexión profunda ESCI–Béticas 1 (A) y ESCI–Béticas 2 (B).

Fig. 2.– Reflectors in the deep reflection seismic stack profiles ESCI–Béticas 1 (A) and ESCI–Béticas 2 (B).

inferior con reflectores discontinuos de gran amplitud que buzan con componente NW (6–7 s. a 10–11 s. TWT) y la corteza superior transparente se sitúa entorno a los 20 Km (6–7 s. TWT). En la corteza superior sólo se distingue un reflector importante, el upper crust reflector (U.C.R. de García–Dueñas *et al.*, 1994) situado bajo Sierra de los Filabres entre los 3 s y los 6 s., que buza con componente NNE, que puede estar interrumpido por una superficie situada entorno a los 10 Km de profundidad. Esta superficie se identifica mediante sísmica de refracción (Banda *et al.*, 1993) y es interpretada como un despegue. Ni el U.C.R., ni los pliegues suaves de la Corteza inferior, ni las ondulaciones suaves de la Moho se correlacionan con los grandes pliegues tardíos kilométricos de vergencia Norte que se observan en superficie (Weijermars *et al.*, 1985; Galindo–Zaldívar *et al.*, 1989; Jabaloy *et al.*, 1993). Ello sugiere la presencia de niveles de despegue que están probablemente situados a 10 Km (Límite superior del U.C.R. y profundidad del contacto litológico determinado por sísmica de refracción), y a 20 Km, al menos en parte de la Cordillera Bética, (límite superior de los reflectores ondulados de la Corteza inferior).

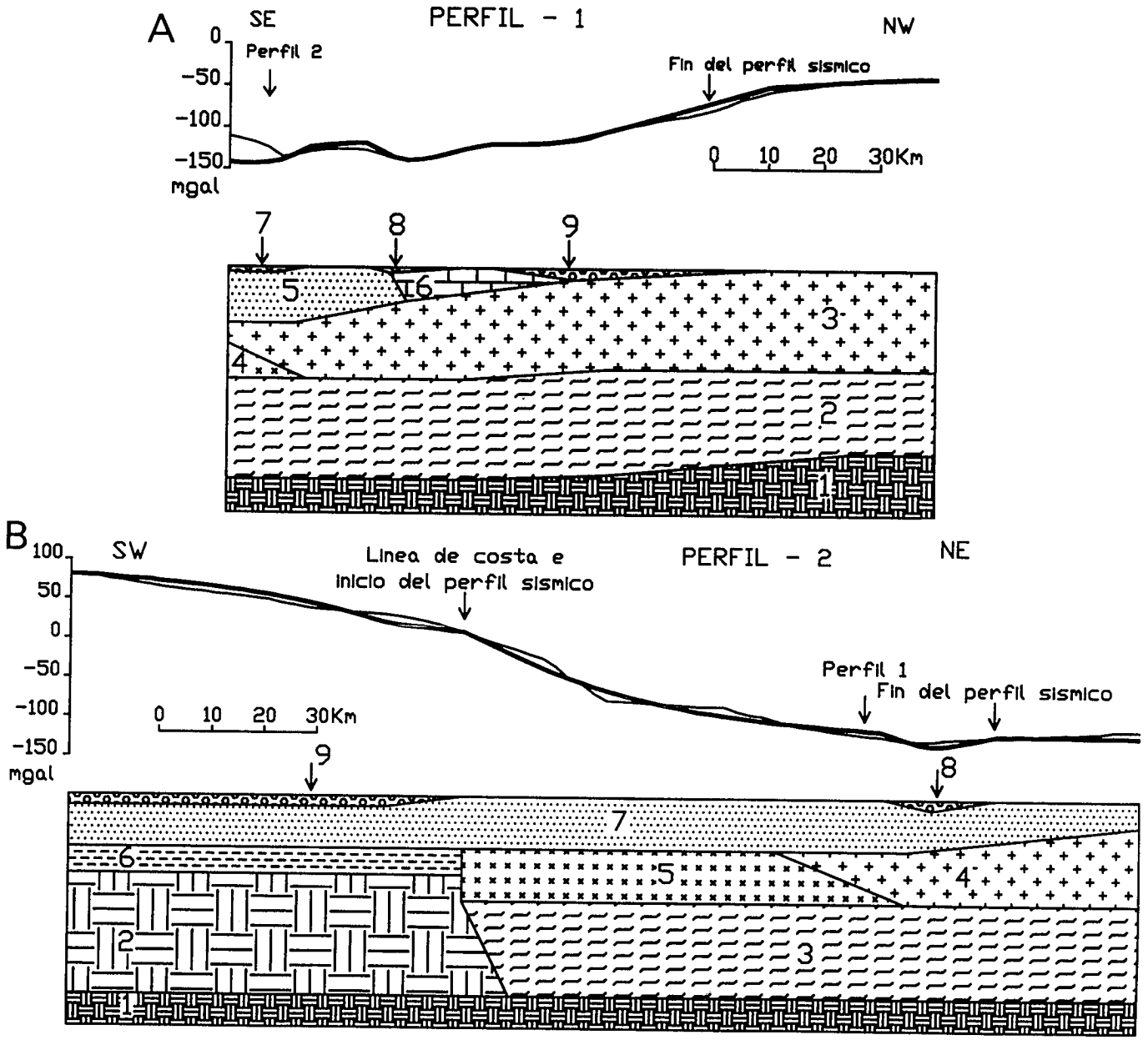

Fig. 3.– Modelos gravimétricos. A. Perfil ESCI–Béticas–1 (N142°E) en el que se consideran varios cuerpos infinitos elongados en dirección N80°E: 1, Manto superior (3.33 g/cm³); 2, Corteza inferior (2.89 g/cm³); 3, Corteza superior (2.80 g/cm³); 4, Zonas Internas(2.72 g/cm³); 5, Zonas Externas (2.54 g/cm³); 6, 7, Cuencas neógenas (2.45 g/cm3); 8, Depresión del Guadalquivir y olistostromas de las Zonas Externas (2.25 g/cm³). B. Perfil ESCI–Béticas–2 (N30°E) en el que se consideran cuerpos infinitos elongados en dirección N90°E: 1, Manto superior; 2, Manto superior anómalo (3.20 g/cm³); 3, Corteza inferior (2.89 g/cm³); 4, Corteza superior septentrional (2.80 g/cm³); 5, Corteza superior meridional (2.78 g/m³); 6, Zonas Internas (2.72 g/cm³); 7, Cuencas neógenas (2.45 g/cm³); 8, Sedimentos y rocas sedimentarias del Mar de Alborán (2.20 g/cm³). Lineas gruesas, perfiles observados. Lineas finas, perfiles de los modelos gravimétricos.

Fig. 3.– Gravimetric models. A. ESCI–Béticas–1 profile (N142°E) where N80°E elongate infinite bodies are take into account: 1, Upper mantle (3.33 g/cm³); 2, Lower crust (2.89 g/cm³); 3, Upper crust (2.80 g/cm³); 4, Internal Zones (2.72 g/cm³); 5, External Zones (2.54 g/cm³); 6, 7, Neogene basins (2.45 g/cm³); 8, Guadalquivir basin and olistostro

Gravimetría

Los mapas de anomalías de Bouguer del I.G.N. (1976), en Tierra, y el mapa de Bonini *et al.*, (1973), que también incluye el Mar de Alborán, muestran una anomalía negativa en las Cordilleras Béticas que supera los –150 miligales. La anomalía es asimétrica, con un límite meridional de gradiente elevado, y situado entre 10 y 20 Km al N de la línea de costa, y un límite septentrional suave. Esta anomalía ha sido asociada en trabajos previos (Cloetingh *et al.*, 1992; Torné y Banda, 1992; Watts *et al.*, 1993) a un cambio muy brusco de espesor cortical.

Se ha realizado un modelo gravimétrico bidimensional de dicha anomalía, basado en la geometría de las principales unidades tectónicas determinadas en los perfiles de sísmica de reflexión profunda y en los datos de geología de superficie (Fig. 3.). En el modelo se han considerado cuerpos infinitos de dirección N90°E en el perfil meridional y N80°E en el septentrional, tal y como corresponde a la elongación media de las anomalías en cada región. En el modelo se diferencian en la parte más superficial, rocas metamórficas de las Zonas Internas, rocas sedimentarias de las Zonas Externas y de las depresiones neógenas de Guadix–

Baza, Guadalquivir y Mar de Alborán. Dos polígonos representan la corteza inferior y la superior del Macizo Ibérico, que continúa bajo las Cordilleras Béticas. En el Mar de Alborán, una corteza continental delgada se sitúa sobre un manto anómalo. El engrosamiento cortical entre el Macizo Ibérico y las Cordilleras Béticas se produce gradualmente, tal y como corresponde a un gradiente gravimétrico suave. La variación de grosor cortical entre la corteza delgada del Mar de Alborán y la corteza engrosada de las Cordilleras Béticas es muy neta y se produce en una banda muy estrecha. En ella la Moho puede tener buzamientos reales que superen los 60° N. Ello justifica el alto gradiente gravimétrico que se detecta en esta región. El límite de la anomalía gravimétrica tiene una dirección E–W muy marcada (I.G.N., 1976) lo que indica que la banda en la que se produce el engrosamiento cortical brusco también tiene dirección E–W.

Discusión y conclusiones

Los perfiles sísmicos de reflexión y los modelos gravimétricos indican que, en la transversal central de la Cordillera, la Corteza Continental Ibérica se flexiona y continúa bajo la mayor parte de la Cordillera Bética. La Moho es plana y su geometría no se correlaciona con la topografía de la región. La elevación que sufre toda la región meridional desde el Mioceno Superior puede ser debida a que la Corteza Continental Ibérica se desliza bajo las Cordilleras Béticas como consecuencia del acortamiento producido por la aproximación de Eurasia y Africa. El Mar de Alborán se cierra progresivamente debido al reajuste isostático que se produce tras el engrosamiento cortical de sus bordes. De hecho, la superficie actual del Mar de Alborán es mucho menor que la que tenía durante el Mioceno Superior (Rodríguez–Fernández, 1982). El proceso de engrosamiento cortical comienza al menos en el Mioceno Superior y afecta a una corteza que ya había sufrido procesos de adelgazamiento con formación de despegues, desde el Oligoceno Superior hasta el Mioceno Inferior.

El proceso de convergencia oblicua, en dirección NW–SE, puede ser el responsable del alto buzamiento de la Moho. Esta geometría es característica de los estadios iniciales del desarrollo de márgenes convergentes.

La existencia de despegues corticales explica la falta de relación directa entre las estructuras que se observan en superficie y las estructuras en profundidad, aunque todas ellas se formen en un mismo proceso. Durante el acortamiento se ha deformado esencialmente la parte superior de la corteza, que está en continuidad lateral con la corteza continental delgada del Mar de Alborán. Este acortamiento es en parte el responsable de la formación de los grandes pliegues de vergencia N que deforman esencialmente las Zonas Internas y que controlan las formas topográficas actuales. También sería responsable de las estructuras compresivas NW–SE que se forman en las Zonas Externas desde el Mioceno Superior.

El engrosamiento cortical produce una elevación isostática a escala de la Cordillera y hace que en la zona más superficial de las Zonas Internas, el campo de esfuerzos sea heterogéneo, con grandes áreas en extensión, tal y como lo demuestra la sismicidad (Galindo–Zaldívar *et al.*, 1993). Sin embargo, las Zonas Externas, donde la corteza es más delgada, continúan en compresión. Las variaciones en las características de la deformación y de los campos de esfuerzo son consecuencia del proceso de convergencia cortical.

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de D. L. Rubalcaba del I.G.N. quien amablemente nos facilitó los datos gravimétricos. Este trabajo ha sido financiado mediante los proyectos PB90–0860–C03–01 y ESCI–Béticas de la C.I.C.y T.

Referencias.

Banda, E., Gallart, J., García–Dueñas, V., Dañobeitia, J. J. y Makris, J. (1993): *Tectonophysics,* 221, 53–66.

Bonini, W. E., Loomis, T. P. y Robertson, D. (1973): *Jour. Geophys. Res.*, 76, 1372–1382.

Cloetingh, S., van der Beek, P.A., van Rees, D., Roep, Th. B., Biermann, C., and Stephenson, R.A. (1992): *Geo—Mar. Lett.*, 12, 66–75.

Dewey, J. F., Helman, M. L., Turco, E., Hutton, D. H.W. y Knott, S. D. (1989) In: Coward, M. P., Dietrich, D. and Park, R.G. (Eds.), *Geol. Soc. London, Spec. Pub.*, 45, 265–283.

Galindo–Zaldívar, J., González-Lodeiro, F. y Jabaloy, A. (1989): *Geodinamica Acta*, 3, 73–85.

Galindo–Zaldívar, J., González-Lodeiro, F. y Jabaloy, A. (1993): *Tectonophysics*, 227, 105–126.

García–Dueñas V., Banda, E., Torné, M., Córdoba, D. y ESCI–Béticas Working Group (1994): *Tectonophysics*, 232,77-89.

I.G.N. (1976) Mapa de anomalías de Bouguer. Escala 1:500.000.

Jabaloy, A., Galindo–Zaldívar, J. y González–Lodeiro, F. (1993): *Jour. Struct. Geol.*, 15, 555–569.

López–Garrido, A.C. (1971): Geología de la Zona Prebética al NE de la Provincia de Jaén. *Tesis Univ. Granada*, 317 pp.

Monié, P., Galindo–Zaldívar, J., González–Lodeiro, F., Goffé, B., y Jabaloy, A. (1991): *Jour. Geol. Soc. London*, 148, 289–297.

Rodríguez-Fernández, J. (1982): El Mioceno en el sector central de las Cordilleras Béticas.*Tesis Univ. Granada*, 224 pp.

Sanz de Galdeano, C. (1973): Geología de la transversal Jaén – Frailes (Provincia de Jaén). *Tesis, Univ. Granada*, 274 pp.

Suriñach, E. y Udias, A. (1976) En: Reunión sobre la Geodinamica de la Cordillera Bética y Mar de Alborán. *Secret. de Publ. de la Univ. de Granada.* 25–34.

Suriñach, E. y Vegas, R. (1993): *Geogaceta*, 14, 126–128.

Torné, M. y Banda, E. (1992): *Geo–Mar. Lett.*, 12, 76–81.

Watts, A. B., Platt, J. P. y Buhl, P. (1993): *Basin Research*, 5, 153–177.

Weijermars, R., Roep, T.B., Van Den Eeckhout, B., Postma, G. y Kleverlaan, K. (1985): *Geol. Mijnb.* 64, 397-411.