

Evolución geodinámica del límite de placas entre Eurasia y África en la zona del Banco de Gorringe y Golfo de Cádiz

Geodynamic evolution Eurasia-Africa plate boundary in the Gorringe Bank and Gulf of Cadiz region

D. Tortella, M. Torné y A. Pérez-Estaún

Instituto de Ciencias de la Tierra «Jaume Almera» (CSIC). c/ Solé i Sabarís s/n. 08028 Barcelona

ABSTRACT

Detailed structural interpretation on the recently acquired deep seismic multichannel CDP profiles along the Iberian Atlantic Margins (IAM Project, European Union Joule Program # J0U2-CT92-0177) provides new information on the geodynamic evolution of the eastern part of the Azores-Gibraltar plate boundary. Thrusting and folding of the Mesozoic and Cenozoic sedimentary cover of the Gorringe Bank region is consistent with Tertiary N-S convergence of Iberia and Africa. Compressive structures in the Gorringe bank region are spread over a wide area. The amount of shortening measured in a NW-SE direction is 3% and the convergence between the Iberian and the African plates in this zone, as estimated by Dewey et al. (1989), is about 40 km. The compressive structures in the Gulf of Cadiz are restricted to a narrower zone. The W-E lateral variation of deformation style is likely to be related to the change from oceanic to continental crust as well as the different amount of convergence recorded from W to E.

Key words: seismic, geodynamic evolution, Gorringe Bank, Gulf of Cadiz.

Geogaceta, 20 (4) (1996), 958-961
ISSN: 0213683X

Introducción

La zona de Azores-Gibraltar traza el límite occidental entre las placas Eurasiática y Africana. Esta zona, que se extiende desde el punto triple de las Azores y se continúa hacia el Mediterráneo (Fig. 1), ha sido objeto de numerosos estudios durante las últimas décadas. La mayor parte de trabajos se han centrado en datos de sismicidad, incluyendo distribución y localización de hipocentros y análisis de mecanismos focales (p.e. McKenzie, 1972; Udias *et al.* 1980; Grimson y Chen, 1986; Udias y Buforn, 1991); otros autores han utilizado datos magnéticos para la reconstrucción del movimiento relativo de ambas placas (p.e.: Olivet *et al.*, 1984; Srivastava *et al.*, 1990) o la modelización de anomalías gravimétricas y del geoide (p.e. Soriau, 1984). Además de estos trabajos, la zona de estudio (Banco de Gorringe-Golfo de Cádiz) ha sido objeto de distintas campañas de sísmica de reflexión multicanal y de gran ángulo (Purdy, 1975; Sartori *et al.*, 1994; Banda *et al.* 1995)

La sismicidad de la parte oriental de la zona de Azores-Gibraltar es difusa y no

permite delimitar con claridad el límite de placas (Udias y Buforn, 1991). Se han propuesto diversas hipótesis sobre la naturaleza y formación de las estructuras que se observan en la zona. Según Le Pichon *et al.* (1970) la parte oriental de la zona de Azores-Gibraltar correspondería a una zona de subducción iniciada recientemente. Purdy (1975), propone un mecanismo de consumición lenta de litosfera oceánica para explicar la formación del Banco de Gorringe. No obstante, Soriau (1984), utilizando datos de gravimetría y geoide, concluye que ninguna de estas hipótesis permite ajustar estos observables geofísicos. Recientemente, Sartori *et al.* (1994) basándose en datos de sísmica de reflexión multicanal demuestra que no existen evidencias claras de deformaciones relacionadas con una zona de subducción.

La estructura de la zona del Golfo de Cádiz es incluso más compleja ya que resulta de la interacción entre las placas Eurasiática y Africana y del desplazamiento hacia el Oeste del arco de Gibraltar (Banda *et al.* 1995)

En este estudio se presentan los resultados de la interpretación de diversos per-

files de sísmica de reflexión multicanal adquiridos en Agosto de 1993 dentro del proyecto europeo IAM (Banda *et al.*, 1995) que proporciona nuevos datos sobre el registro sedimentario, la estructura y la evolución meso-cenozoica del límite de placas entre Eurasia y África en esta zona.

Registro sedimentario

La zona del Banco de Gorringe-Golfo de Cádiz se puede dividir en dos dominios con diferente tipo de corteza y con una secuencia sedimentaria bien diferenciada: a) el dominio de corteza oceánica que incluye el Banco de Gorringe, la llanura abisal de la Herradura, y las montañas submarinas del Coral Patch; y b) el dominio continental que comprende el Golfo de Cádiz.

Dominio oceánico:

En el dominio oceánico el basamento presenta un carácter sísmico muy reflectivo con difracciones internas (Fig. 2a). En el límite superior se observa una topografía irregular con crestas y valles (1 en Fig. 2a) con diferencias máximas de 1s TDR (tiempo doble de recorrido). Este relieve se

originó durante la formación del fondo oceánico, cuya edad de acuerdo con las anomalías magnéticas es Jurásico Superior a Cretácico Inferior (Malod y Mauffret, 1990).

La interpretación de perfiles de sísmica multicanal IAM (Fig. 2a) ha permitido dividir la secuencia sedimentaria en 6 unidades que de muro a techo son: Unidad O1: presenta una configuración de las reflexiones paralela rellenando las depresiones del basamento; la edad de esta unidad es Jurásico superior a Cretácico inferior según el sondeo DSDP 120. Unidad O2: con un espesor constante en todo el dominio oceánico, se caracteriza por un conjunto de reflexiones muy coherentes, de alta amplitud y baja frecuencia. La edad de esta unidad según los resultados del sondeo DSDP 135 es Cretácico superior. Unidad O3: se trata de un conjunto de reflexiones de baja amplitud que se extienden por la llanura abisal de la Herradura, biselándose hacia los altos estructurales del Banco de Gorringe y de las montañas submarinas Coral Patch. A pesar de que no se dispone de datos de sondeos, la correlación a partir de los perfiles sísmicos permite sugerir una edad Eoceno a Oligoceno inferior. Unidad O4: consiste en un cuerpo con una imagen sísmica caótica con reflexiones incoherentes y de alta amplitud y multitud de puntos difractantes. Su edad es Oligoceno Superior según se deduce de la correlación con el sondeo DSDP 135. Unidad O5: se trata de una secuencia de reflexiones muy coherentes, de alta amplitud y alta frecuencia; muestra disposición en abanico cerca de las estructuras compresivas. Esta unidad penetrada por los sondeos DSDP 120 y 135 tiene una edad Oligoceno Superior-Mioceno. Unidad O6: se caracteriza por una secuencia delgada de reflexiones continuas con una configuración paralela; los sondeos DSDP 120 y 135 muestran que esta unidad está formada por sedimentos pelágicos de edad plio-cuaternaria.

De la interpretación de los datos sísmicos y de los resultados de los sondeos DSDP 120 y 135 se deduce que las unidades mesozoicas O1 y O2 se depositaron en un régimen tectónico tranquilo, en el que la sedimentación tuvo lugar en ambiente pelágico abisal. Por encima de la unidad O2 se ha identificado una discordancia que representa la base del Terciario (figura 2a). La unidad O3 se adelgaza y desaparece hacia los flancos norte y sur de la llanura abisal de la Herradura y se coloca en forma de onlap por encima de la unidad precedente (figura 2a). La unidad O4 muestra un carácter sintectónico; esta unidad rellena un surco orientado E-W con una longitud total de unos 250 km, una anchura de unos 100 km y una potencia que alcanza 1,2 s TDR, 1200 m (considerando una velocidad de 2000 m/s). La base de la unidad O5 se caracteriza por presentar discordancias locales por encima de la

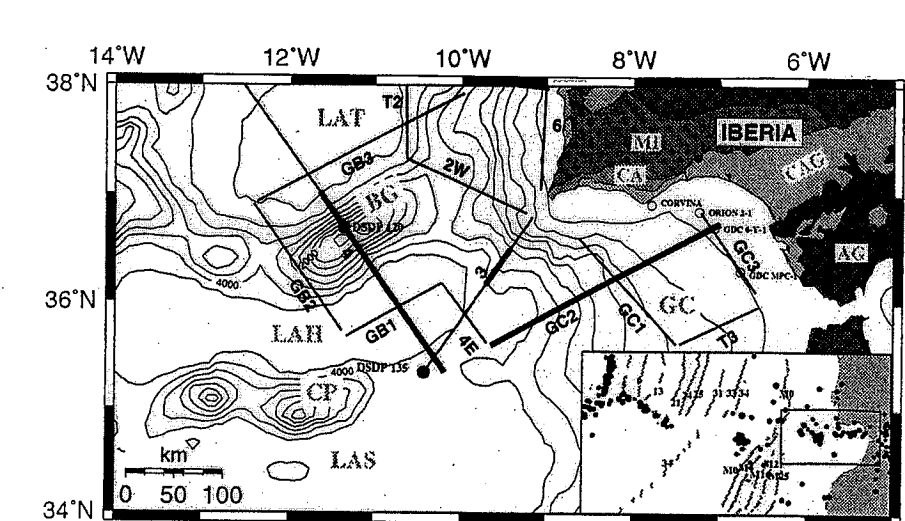


Fig. 1 - Mapa del área de estudio con la localización de los perfiles sísmicos adquiridos durante la campaña IAM, en más grueso los perfiles presentados en este trabajo. Localización de los sondeos DSDP presentes en el área de estudio así como los sondeos comerciales de exploración más significativos. Una batimetría simplificada del área de estudio muestra los principales rasgos topográficos. LAT: Llanura abisal del Tajo; BG: Banco de Gorringe; LAH: Llanura Abisal de la Herradura; CP: Coral Patch; LAS: Llanura abisal del Seine; GC: Golfo de Cádiz; MI: Meseta Ibérica; CA: Cuenca del Algarve; CAG: Cuenca de antepais del Guadalquivir; AG: Arco de Gibraltar. El pequeño mapa muestra rasgos regionales: Anomalías magnéticas en líneas grises y terremotos en puntos negros.

Fig. 1 - Map of the study area with location of the IAM seismic profiles, DSDP sites present in the area and some of the most significant exploration wells in the region. A simplified bathymetry of the region shows the main topographic features. LAT: Tagus Abyssal Plain; GB: BG: Gorringe Bank Region; LAH: Horseshoe Abyssal Plain; CP: Coral Patch Seamounts; LAS: Seine Abyssal Plain; GC: Gulf of Cadiz; MI: Iberian Meseta; CA: Algarve Basin; CAG: Guadalquivir Foreland Basin; AG: Gibraltar Arc. Small Map shows regional features: magnetic anomalies in grey lines and earthquakes in solid dots.

unidad O4 y por una conformidad por encima de la unidad O2 en el Coral Patch. El contacto entre la unidades O5 y O6 es una discordancia que puede relacionarse con la actividad de los cabalgamientos (figura 2a).

Dominio continental

Este dominio se caracteriza por un adelgazamiento cortical hacia el oeste que varía de 30 km en la línea de costa hasta 15 km en la parte más occidental del Golfo de Cádiz (Gonzalez *et al.*, en prensa). El basamento del Golfo de Cádiz constituye la prolongación sur del basamento paleozoico del Macizo Ibérico.

La presencia de materiales evaporíticos triásicos dificulta la identificación de las diferentes unidades estratigráficas en los perfiles sísmicos (figura 2b). De todos modos, se han podido diferenciar cuatro unidades principales siguiendo criterios de imagen sísmica: la unidad C1 caracterizada por reflexiones de baja amplitud e incoherentes, se encuentra presente en todo el dominio continental. Esta unidad ha sido penetrada por varios sondeos de exploración (p.e. GDC 6Y1, Orion 2-1 y Corvina) y está formada por sal, anhidrita y arcillas de edad triásica. La unidad C2 consiste en un conjunto de reflexiones poco cohe-

rentes que engloban varias unidades estratigráficas que se pueden diferenciar por su imagen sísmica; la edad de estas formaciones va de Jurásico a Oligoceno, según la correlación con sondeos de exploración. La unidad C3 se presenta como una secuencia de reflexiones continuas que corresponden a arcillas, areniscas y calizas de edad miocena según los resultados de los sondeos DSDP 120 y 135. La unidad C4 se identifica por una secuencia de reflexiones continuas, con una configuración paralela y en abanico; los sondeos que han penetrado esta unidad muestran que está formada por arcillas de edad plio-cuaternaria. La sedimentación de esta unidad se produce en potentes depocentros controlados por la actividad halocinética.

Cabalgamientos, pliegues y estructuras halocinéticas afectan las unidades C1 y C2 e influyen la sedimentación de las unidades C3 y C4 (figura 2b). La unidad C3 se deposita discordante encima de la unidad C2 y muestra un carácter sintectónico en relación con la formación de domos salinos que son fuertemente activos durante el Mioceno (figura 2b). En la parte más oriental y meridional del Golfo de Cádiz, la unidad C4 es muy potente, forman-

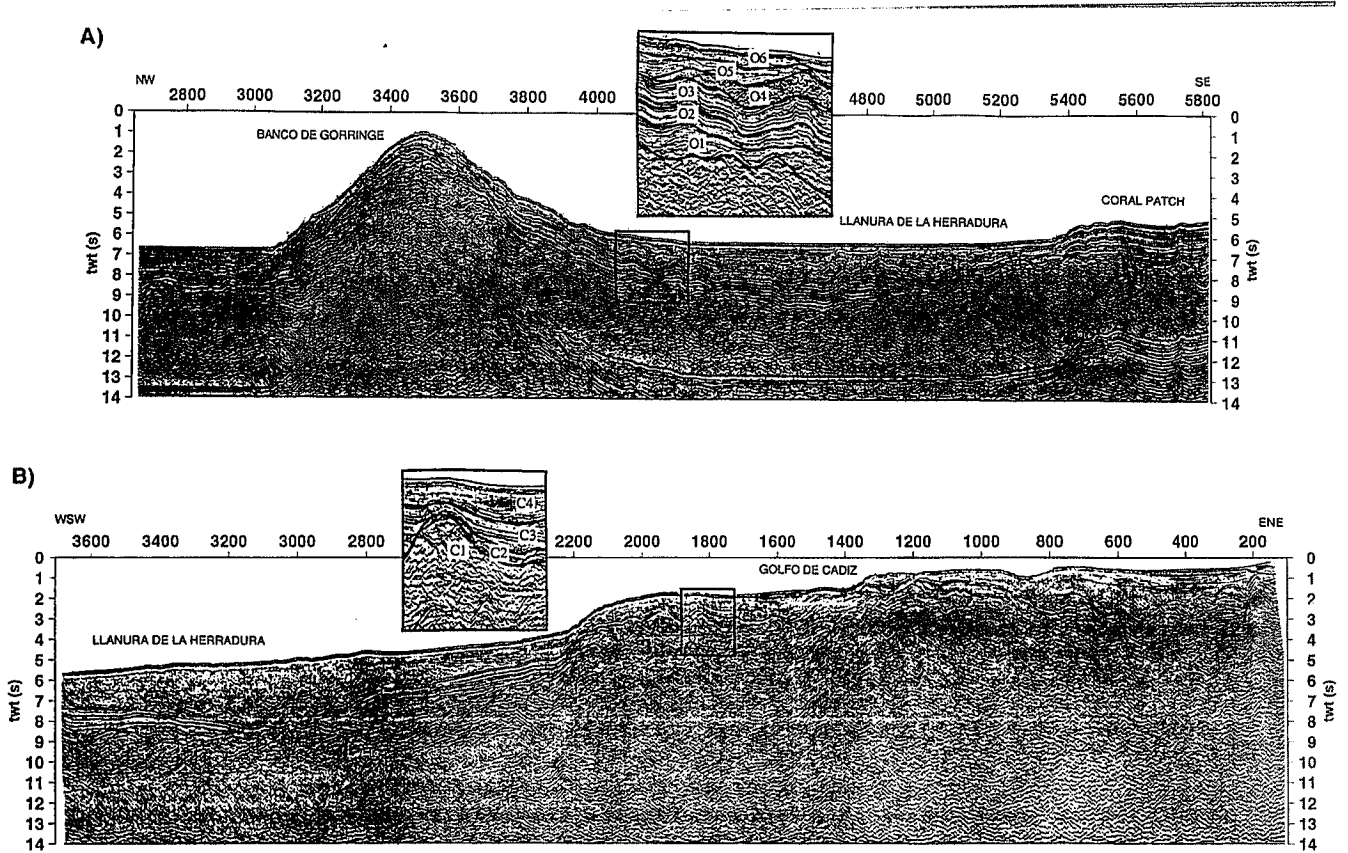


Fig. 2 - A) Perfil sísmico IAM4. En la ampliación se puede ver la imagen sísmica de las unidades diferenciadas en el dominio oceánico. 1: relieve irregular del basamento oceánico; 2: cabalgamientos orientados WSW-ENE. B) Perfil sísmico GC2. En la ampliación se puede ver la imagen sísmica de las unidades diferenciadas en el dominio continental. 1: falla inversa; 2: cabalgamientos de orientación E-W; 3: ejemplo de estructuras halocinéticas.

Fig. 2 - A) Seismic profile IAM4, enlargement showing the seismic image of units O1 to O6 in oceanic domain. 1: basement relief; WSW-ENE oriented thrusts; B) Seismic profile GC2, enlargement showing the seismic image of units C1 to C4 in continental domain. 1: reverse fault; 2: E-W oriented thrusts; 3: halocinetic structure.

do importantes depocentros controlados por estructuras salinas; en ocasiones se trata de diapiros que penetran a través de la unidad C4 y suben hasta casi la superficie del fondo marino.

Estructura

Dominio Oceánico

El dominio oceánico se caracteriza por una serie de promontorios orientados WSW-ENE que separan cuencas rellenas por una potente secuencia sedimentaria (Fig. 1). En el dominio oceánico se distinguen varios tipos de estructuras: cabalgamientos orientados WSW-ENE, estructuras tipo «pop-up» orientadas N-S y una falla inversa de alto ángulo al este de la llanura de la Herradura con vergencia aparente hacia el SW.

Los cabalgamientos con orientación WSW-ENE se distribuyen de forma irregular en todo el dominio oceánico (2 en Fig. 2a), presentan vergencia hacia el centro de las cuencas, tienen pendientes suaves en el basamento, son subverticales en los sedimentos y llevan asociados una serie de pliegues abier-

tos. La propagación de la deformación hacia los sedimentos se produce tanto por ampliación de pliegues como por la progresión de los cabalgamientos (Fig. 2a). No existen evidencias de componentes laterales en su desplazamiento. El salto vertical de los cabalgamientos varía a través de la secuencia sedimentaria, mostrando el carácter sintectónico de las unidades O3 a O6, con un salto vertical máximo de 1 s TDR. El acortamiento que representan estos cabalgamientos durante el Terciario es del 3% (6 km) según la orientación del perfil IAM4 (Figs. 1 y 2a), mientras que la convergencia total entre Eurasia y África, según Dewey *et al.* (1989), es de unos 40 km. Esto plantea la necesidad de que el resto del desplazamiento se encuentre distribuido a lo largo de otras estructuras situadas al N y S del área estudiada.

En el Perfil IAM3 (Fig. 3) se observa una estructura de tipo «pop-up» bordeada por fallas inversas que se formó durante el depósito de las unidades O4, O5 y O6, lo que sugiere que es contemporáneo a los cabalgamientos de orientación WSW-ENE. Esta estructura tiene una orientación N-S según se deduce de

la correlación con estructuras similares observadas en perfiles situados más al norte (Fig. 1).

La falla inversa al este de la llanura de la Herradura se encuentra en el perfil GC2 (1 en Fig. 2b). Es difícil determinar la orientación de esta estructura ya que no ha sido cortada por ningún otro perfil y no tiene una expresión topográfica en el fondo marino. Por otro lado se reconoce corteza oceánica hacia el SW del accidente y corteza continental hacia el NE (figura 2b), de modo que muy probablemente esta falla esté situada cerca o en el límite de corteza oceánica-continental.

Dominio Continental

En el Golfo de Cádiz se reconocen estructuras compresivas (cabalgamientos y pliegues), horsts y grabens y estructuras halocinéticas generalizadas producidas por la presencia de evaporitas triásicas de la unidad C1.

Los cabalgamientos identificados en el dominio continental tiene una orientación aproximadamente E-W con vergencia hacia el S (2 en Fig. 2b). Su geometría en profundidad es difícil de determinar aunque en la parte superior tienen pendientes muy pronunciadas.

A partir de la disposición de las reflexiones se deduce que el movimiento de estos cabalgamientos se produjo durante el depósito de las unidades C3 y C4 (figura 2b).

Se han observado, al sur del Algarbe, asociaciones de fallas normales que configuran sistemas de horsts y grabens de orientación E-W y afectan las reflexiones más superiores produciendo los relieves actuales observables en los mapas batimétricos.

La secuencia sedimentaria en la zona S y E del Golfo de Cádiz se encuentra intensamente afectada por estructuras halocinéticas (3 en Fig. 2b). La sedimentación de la unidad C4 (plio-cuaternaria) está muy influenciada por la actividad salina, desarrollándose potentes depocentros que alcanzan los 2.5 s TDR. En muchos casos la sal penetra a través de los sedimentos y ascienden hasta casi el fondo marino. Las estructuras halocinéticas son menos importantes hacia el norte, debido, probablemente, a una disminución de la potencia de la unidad C1.

Conclusiones

El área de estudio se divide en dos dominios principales, uno oceánico y otro continental, en los que la secuencia estratigráfica y la estructuras son diferentes.

En la secuencia sedimentaria del dominio oceánico se han distinguido 6 unidades que comprenden desde el Jurásico hasta la actualidad. La sedimentación se produjo en un ambiente tectónico tranquilo y en condiciones pelágicas abisales durante el mesozoico (unidades O1 y O2). Por el contrario las unidades O3 a O6, de edad terciaria, muestran carácter sintectónico.

La deformación en el dominio oceánico alcanza su máximo desarrollo durante el depósito de la unidad O4 en el Oligoceno superior. Esta unidad de tipo caótico se encuentra rellenando un surco orientado E-W, con una longitud total de unos 250 km, una anchura de 100 km y una potencia máxima de 1.2 s TDR, (1200 m considerando una velocidad de 2000 m/s). Estos materiales se depositan mediante sucesivas avenidas submarinas.

En el dominio continental se distinguen 4 unidades sedimentarias (C1 a la C4) con edades que van desde Triásico a la actualidad. La unidad C1 corresponde a materiales triásicos evaporíticos y las unidades C3 y C4, de edades Miocena y Plio-Cuaternaria respectivamente, presentan carácter

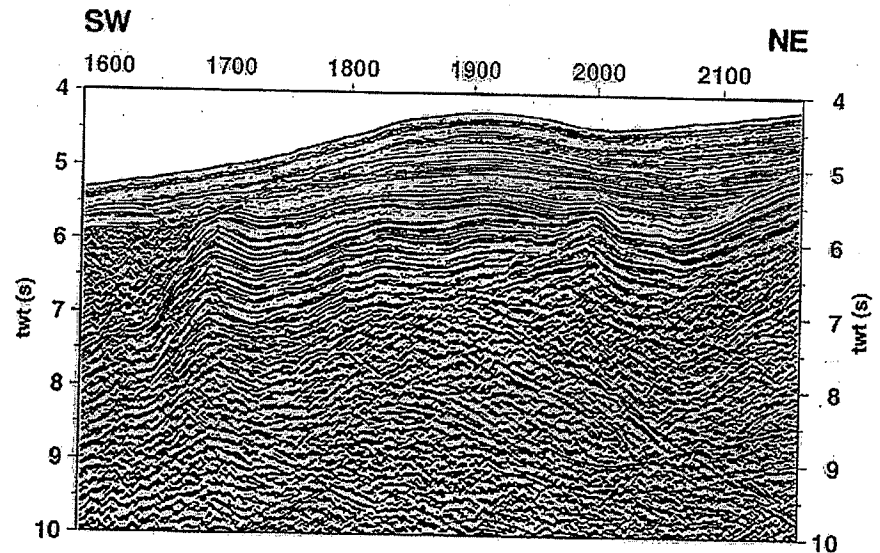


Fig. 3 - Sección del perfil sísmico IAM3 que muestra la estructura tipo «pop-up» citada en el texto.

Fig. 3 - Section of seismic profile IAM3 showing the pop-up like structure referred as in the text.

marcadamente sintectónico.

Las estructuras dominantes en el dominio oceánico son cabalgamientos orientados WSW-ENE que producen los relieves actuales del fondo oceánico. Estas estructuras son activas durante el Terciario con una actividad máxima en el Oligoceno Superior. La zona del Golfo de Cádiz también muestra estructuras compresivas con la misma orientación que las desarrolladas en la parte oceánica, de edad terciaria. Estructuras de orientación aproximada N-S (cabalgamientos y pliegues) contemporáneas a las estructuras anteriores están relacionadas con el límite de corteza oceánica-continental. En el área de estudio el acortamiento observado en el dominio oceánico es menor que el que sería de esperar considerando los valores estimados de convergencia de placas. De ello se deduce que la deformación compresiva relacionada con la convergencia de placas ha de encontrarse distribuida en una zona más amplia.

Referencias

- Banda, E., Torne, M. y the IAM Group, 1995. *Eos*, 76, 3, pp. 25, 28, 29.
 Dewey, J.F., Helman, M.L., Turco, E., Hutton, D.H.W. y Knott, S.D., 1989. In: Coward, M.P., Dietrich, D. y Park, R.G. (eds.), *Alpi-*

ne Tectonics. Geological Society Special Publication No. 45, pp. 265-283.

Grimson, N.L. y Chen, W.P., 1986. *Journal of Geophysical Research*, 91, pp. 2029-2047.

Malod, J.A. y Mauffret, A., 1990. *Tectonophysics*, 184, pp. 261-278.

McKenzie, D.P., 1972. *Royal Astronomical Society Geophysical Journal*, 30, pp. 109-185.

Olivet, J.L., Bonnin, J., Beuzart, P. y Auzende, J.M., 1984. *Brest, Centre National pour l'Exploitation des Océans, Rapports Scientifiques et Techniques*, 54, 108p.

Purdy, G.M., 1975. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 43, pp. 973-1000.

Royden, L.H., 1993. *Tectonics*, 12, 3 pp. 629-638.

Sartori, R., Torelli, L., Zitellini, N., Peis, D. y Lodolo, E., 1994. *Geology*, v. 22, pp. 555-558.

Souriau, A., 1984. *Earth and Planetary Science Letters*, 68, pp. 101-114.

Srivastava, S.P., Roest, W.R., Kovacs, L.C., Oakey, G., Levesque, S., Verhoef, J. y Macnab, R., 1990. *Tectonophysics*, 184, pp. 229-260.

Udias, A., 1980. In: *Tectonic Stresses in the Alpine-Mediterranean Region*, Rock Mech. Suppl. 9, pp. 75-84.

Udias, A. y Buforn, E., 1991. *Pageoph*, 136, 4, pp. 433-448.