

Caracterización del campo de esfuerzos neógenos en Mallorca mediante el análisis de poblaciones de fallas.

Characterization of the Neogen stress regime in Mallorca based on fault population analysis.

Céspedes, A.⁽¹⁾, Giménez, J.⁽²⁾ y Sàbat, F.⁽³⁾

⁽¹⁾ Bosch i Ventayol Geoserveis S.L. Carrer Rocafort 261, atic 2^a. Barcelona, 08029.

⁽²⁾ Dept. Ciències de la Terra, UIB. Edificio Guillem Colom Casanovas, Crta. Valldemossa, km. 7.5., Palma de Mallorca, 07071. E-Mail: vdctjgg0@clust.uib.es

⁽³⁾ Dept. Geodinàmica i Geofísica. UB. Facultat de Geologia. Barcelona, 08028. E-mail: sabat@geo.ub.es

Abstract

The analysis of neoformed faults in Miocene to Plio-Quaternary sediments of Mallorca Island has been used to characterize the paleostress regime. 17 sites are located at the western part of Palma Basin, and 7 at the Sta. Margalida-Muro area. The paleostress regime has been established using Anderson (1951) method if a monoclinic symmetry of faults is observed. Reches (1983) and Krantz (1988) method has been applied where faults show an orthorhombic symmetry. Results indicate tectonic regime during Upper Miocene was extensional, close to radial, and during Plio-Quaternary was extensional too but with NW-SE direction of maximum extension.

Key words: Mallorca, Neogene and Quaternary, Fault population analysis.

Geogaceta, 30 (2001), 199-202
ISSN:0213683X

Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es caracterizar, mediante análisis poblacional de fallas, el régimen tectónico dominante en dos sectores de la isla de Mallorca durante el Mioceno medio y el Plio-Cuaternario. Para llevar a cabo este propósito se han realizado 17 estaciones en el borde oeste de la cuenca de Palma y 7 en la zona de Sta. Margalida-Muro (figuras 1 y 2). El régimen tectónico se ha obtenido mediante dos metodologías distintas: el modelo de fallas conjugadas de Anderson (1951), y el modelo de fallas ortorómbicas de Reches y Dieterich (1983), junto con el modelo de deslizamiento de Krantz (1988).

La principal motivación para este trabajo es que mientras el régimen tectónico de la Península Ibérica del Mioceno a la actualidad esta bien establecido (Herraiz et al., 2000), para el caso de las Baleares no hay trabajos a este respecto. Así, la información aportada por este trabajo contribuirá a completar el mapa de paleoesfuerzos del Mediterráneo occidental.

Marco tectónico y estratigrafía de la zona de estudio

En Mallorca, al finalizar la compresión alpina durante el Neógeno medio, se instauró un régimen distensivo. Esta distensión, que afectó gran parte del margen

oriental de Iberia, es diácrona, así durante el Neógeno inferior mientras la zona catalano-valenciana estaba en régimen distensivo, las Baleares estaban en régimen compresivo y no es hasta el Serravaliense que el régimen extensivo se establece en Mallorca (Vergés y Sàbat, 1999).

La distensión neógena forma en Mallorca varias pequeñas cuencas: tres de ellas alineadas en la zona occidental (Palma, Inca y Sa Pobla), limitadas por fallas NE-SW y separadas entre sí por umbrales NW-SE; y otra en la suroriental (Campos). Los materiales de relleno de estas cuencas tienen edades comprendidas entre el Mioceno medio y el Cuaternario (figuras 1 y 2).

Cabe destacar que en Mallorca existen estructuras que podrían tener un origen compresivo y que involucran sedimentos del Plio-Cuaternarios, como por ejemplo el anticlinal de Marratxí (dirección NW-SE) (Grimalt Gelabert y Rodríguez Perea, 1994) o el clivaje asociado a movimiento inverso en una falla normal neógena de Portals Vells (zona de Palma).

El Cenozoico de Mallorca, se subdivide en tres secuencias definidas con relación a la compresión alpina. La secuencia pre-orogénica, comprende el Paleógeno, la secuencia sin-orogénica comprende básicamente al Mioceno Inferior, y la post-orogénica abarca la parte restante del Neógeno y el

Cuaternario (Fornós et al., 1991). Los materiales estudiados en el presente trabajo pertenecen a la secuencia post-orogénica y tienen edades comprendidas entre el Serravaliense y el Cuaternario. Las dos zonas estudiadas están ubicadas en cuencas distintas con series estratigráficas ligeramente distintas.

En el borde Oeste de la cuenca de Palma afloran materiales mesozoicos, neógenos y cuaternarios. Los materiales neógenos tienen buzamientos que no superan los 25° y están afectados por fracturas NE-SW. La fractura principal (NE-SW) del borde oeste de la cuenca se reconoce al norte de la zona estudiada (figura 1).

En la Zona de Palma, la unidad estratigráfica post-orogénica más antigua son las Calcsiltitas con Heterostegina (Tortonense) que afloran, discordantes encima de materiales mesozoicos, en el extremo meridional y septentrional. Por encima de las Calcsiltitas se dispone la Unidad Arrecifal (Tortonense-Mesiniense), que es de carácter carbonatado y discordante encima de las Calcsiltitas. En la parte norte de la zona de Palma, la Unidad Arrecifal queda cubierta de manera discordante por la unidad de Margas de la Bonanova y, a su vez, éstas por la unidad de Calizas de Santanyí. A ambas unidades se les atribuye una edad Mesiniense-Plioceno. Hacia las inmediaciones de la

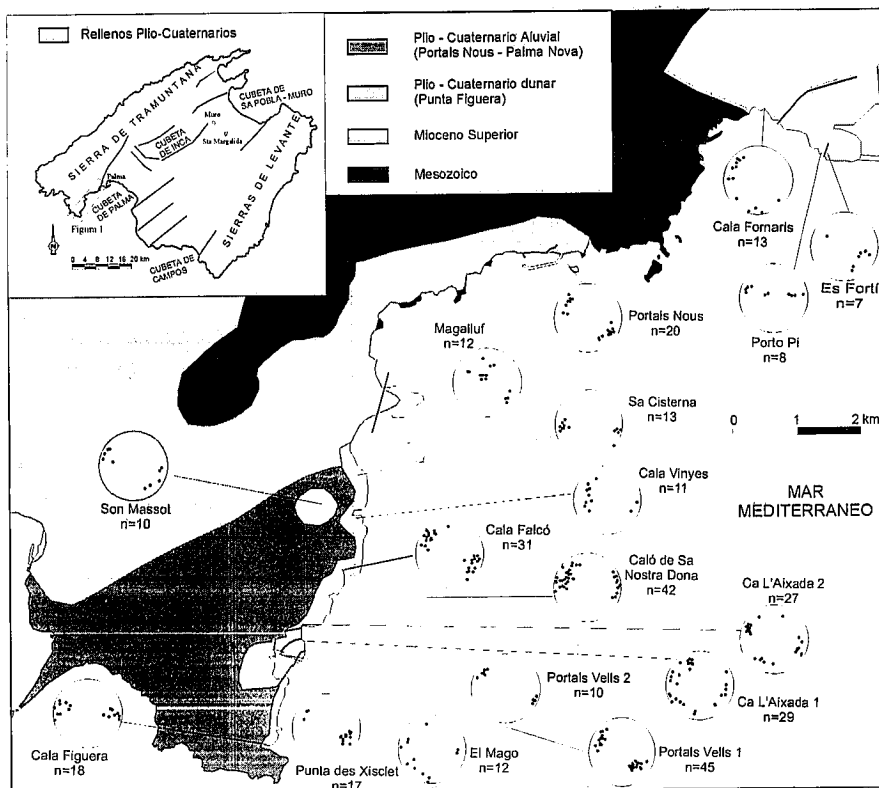


Fig. 1.- Esquema geológico de la zona oeste de la cuenca de Palma en el que se muestra la localización de las estaciones realizadas junto con las proyecciones estereográficas de los polos de las fallas.

Fig. 1.- Geological sketch of the western part of Palma Basin. Stereographical projections of each fault site are also indicated.

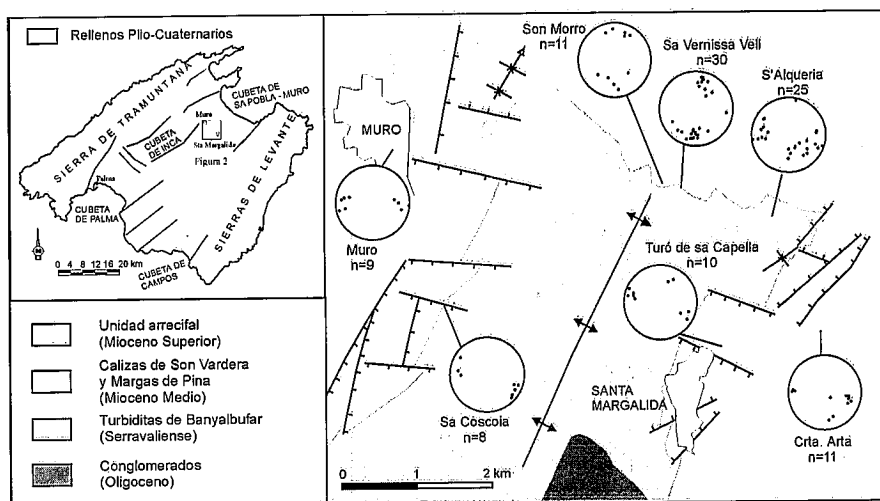


Fig. 2.- Esquema geológico de la zona de Sta. Margalida-Muro en el que se muestra la localización de las estaciones realizadas junto con las proyecciones estereográficas de los polos de las fallas.

Fig. 2.- Geological sketch of the Sta. Margalida-Muro zone. Stereographical projections of each fault site are also indicated.

Sierra de Tramuntana, todas las unidades mencionadas pasan lateralmente a conglomerados del Complejo Terrígeno Marginal. La unidad más moderna de la zona de Palma son los Limos Rojos de Palma (Plio-Cuaternario). Es discordante sobre todas las unidades anteriormente citadas y comprende una subunidad inferior alu-

vial, y una superior constituida por depósitos dunares (figura 1).

La zona de Santa Margalida-Muro se caracteriza por la presencia de un anticlinal laxo NE-SW que corresponde al anticlinal de bloque superior de la falla normal y lítrica que limita por el NW la cuenca de Sa Pobla (Gelabert, 1998) (fi-

gura 2). Los materiales post-orogénicos de esta zona están afectados por fallas normales con orientaciones NW-SE y NE-SW, que, en ciertos casos, son sinsedimentarias ya que condicionan la potencia de las unidades neógenas. Al Sur de Sta. Margalida afloran conglomerados oligocenos, y en el núcleo del anticlinal sedimentos sin-orogénicos (figura 2). La serie post-orogénica es discordante y se inicia con dos unidades del Serravaliense: Margas de Pina y Calizas de Son Vardera (Fornós et al., 1991). La Unidad Arrecifal es discordante sobre las dos anteriores y en Sta. Margalida-Muro es el término más moderno. La ausencia de materiales posteriores a la Unidad Arrecifal indica que, a diferencia de la cuenca de Palma, esta zona no ha experimentado subsidencia significativa desde finales del Mioceno.

Metodología utilizada

Para la obtención del régimen tectónico se han utilizado dos metodologías: el modelo de Anderson (1951), y el modelo de fallas ortorómbicas (Reches y Dieterich, 1983; Reches, 1983) junto con el modelo de deslizamiento de Krantz (1988). Estos modelos sólo son adecuados para fallas neoformadas, condición que se cumple para todas las fallas utilizadas.

El modelo de Anderson (1951) considera que en un campo de esfuerzos biaxial ($s_1 > s_3$, y $s_2 = 0$) se forman dos familias de fallas conjugadas dispuestas de manera simétrica respecto a los ejes principales de esfuerzos.

El modelo de fallas ortorómbicas de Reches y Dieterich (1983) junto con el modelo de deslizamiento de Krantz (1988) considera que el campo de esfuerzos es triaxial ($s_1 > s_2 > s_3$), lo cual se asemeja más a la realidad. Bajo este campo se pueden formar hasta 4 sistemas de fallas dispuestos siguiendo una simetría ortorómbica respecto a los planos principales de deformación (XY, XZ y YZ). A partir de los polos medios de las cuatro familias de fallas Reches (1983) propone un método para obtener la orientación de los ejes de deformación, el valor de la relación (k) entre el eje intermedio y el de acortamiento, y el ángulo de fricción interna (F).

En los afloramientos en los que se dispone de estrías se ha utilizado el modelo de deslizamiento de Krantz (1988), que permite comparar la estría real con la estría teórica que se formaría bajo el campo de esfuerzos obtenido.

El método de Anderson se ha aplicado a todas las estaciones y el método de Reches sólo se ha aplicado en aquellos casos donde la distribución de las fallas

presenta una simetría ortorómbica. Cabe destacar que la práctica ausencia de estrías no ha permitido realizar una buena caracterización del régimen de deformación ni la aplicación exhaustiva del método de Krantz.

Análisis poblacional de fallas

Para hacer una primera valoración de la distribución de las fallas en ambas zonas estudiadas, se muestra una proyección estereográfica de todos sus polos (figura 3). Esta figura muestra que hay ciertas diferencias entre ambas zonas; en Palma existe una orientación preferente de los polos (segundo y cuarto cuadrante), mientras que en Sta. Margalida-Muro la distribución es de carácter más radial.

En la figura 4 se muestran los ejes obtenidos mediante el método de Anderson para todas las estaciones. En todos los casos el eje de máximo esfuerzo (s1) es subvertical y los dos restantes son subhorizontales indicando un régimen extensional. El eje de mínimo esfuerzo (s3) adopta, en la mayoría de estaciones, una dirección cercana a WNW-ESE. Existen 6 estaciones (4 en Sta. Margalida-Muro y 2 en Palma) en las que s3 es cercano a NNE-SSW. El eje intermedio (s2) presenta inclinaciones mayores que s3 pero sin superar los 28° y en la mayoría de los casos presenta una orientación NNE-SSW, exceptuando las 6 estaciones anómalas.

La figura 5 muestra la disposición de los ejes de deformación de las estaciones que presentan una distribución ortorómbica. En todos los casos el eje Z es subvertical y los dos restantes son subhorizontales, indicando un régimen extensional. En 8 de las 10 estaciones el eje X tiene una orientación NW-SE, y en las dos restantes, situadas en la zona de Sta. Margalida-Muro, la dirección del eje X es cercana a NE-SW.

Los valores de k obtenidos están comprendidos entre -0.1 y -0.5 que corresponden a una extensión radial que es pura para el caso de $k = -0.5$ (Krantz, 1988; Herraiz et al., 2000).

Los valores obtenidos para el ángulo de fricción están entre 10° y 30°, que son los usuales en rocas poco o medianamente cementadas como las del presente estudio.

El pitch teórico de las estrías obtenido con el método de Krantz es de 90° para todos los casos menos para uno. Lo cual indica que en la mayoría de los casos las fallas deben ser consideradas como normales puras. Aún así, las estrías reales indican que las fallas poseen una pequeña componente direccional, ya que en la mayoría de los casos es cercano a 75°.

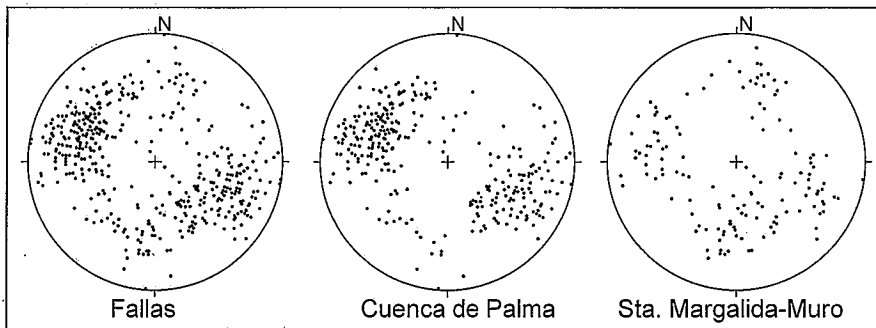


Fig. 3.- Proyecciones estereográficas de los polos de las fracturas utilizadas.

Fig. 3.- Stereographical projections of the used fault poles.

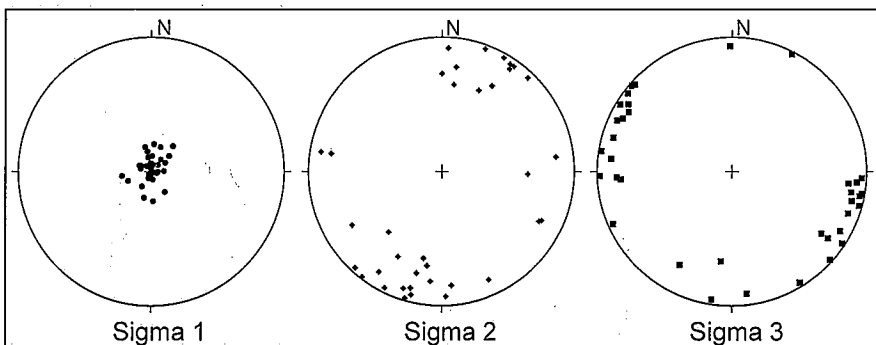


Fig. 4.- Proyecciones estereográficas de los ejes de esfuerzos máximos obtenidos con el método de Anderson (1951)

Fig. 4.- Stereographical projections of the main stress axis obtained with Anderson (1951) method.

Discusión y conclusiones

Los ejes de esfuerzo obtenidos para cada estación se han agrupado por unidades estratigráficas en cada una de las dos zonas estudiadas y se han obtenido los ejes medios de cada uno de los grupos (tabla 1, figura 6). Tratados en esta forma, la dirección de la mayoría de los ejes de esfuerzo mínimo (s3) es WNW-ESE y, en dos casos, es NW-SE (ambos en la zona de Sta. Margalida-Muro, grupos F y H).

Aplicando el mismo tratamiento a los ejes de deformación (tabla 1, figura 6), la

dirección de la mayoría de los ejes de máximo alargamiento (X) es NW-SE excepto en un caso en que es NE-SW intercambiándose con el eje Y (grupo G de Sta. Margalida-Muro).

Estos resultados muestran que los ejes de esfuerzo y deformación no experimentan variaciones significativas a lo largo del Neógeno Superior y Pliocuaternario, aunque en ciertas ocasiones el eje de máximo alargamiento y el intermedio, que también es de alargamiento, intercambien sus direcciones. Por otro lado, los valores de k indican que durante

Zona	Unidad	sigma 1	sigma 2	sigma 3	Eje Z	Eje Y	Eje X
Cuenca de Palma	Calcsilititas (A)	85, 017	07, 199	02, 291	86, 294	02, 053	03, 141
	CTM (B)	84, 175	06, 027	02, 294	82, 020	08, 213	01, 124
	Unidad Arrecifal (C)	81, 012	09, 199	01, 108	82, 359	06, 210	04, 117
	Marga Bonanova y Caliza Santanyí (D)	81, 339	08, 201	04, 110	---	---	---
	Limos de Palma (E)	88, 110	01, 217	02, 307	86, 203	04, 033	01, 301
Santa Margalida Muro	Margas y Calizas Son Verdadera (F)	86, 161	06, 066	08, 147	83, 252	06, 038	03, 134
	Margas y CTM (G)	84, 200	02, 020	05, 110	87, 337	02, 147	02, 239
	Unidad Arrecifal (H)	83, 311	08, 058	09, 146	---	---	---

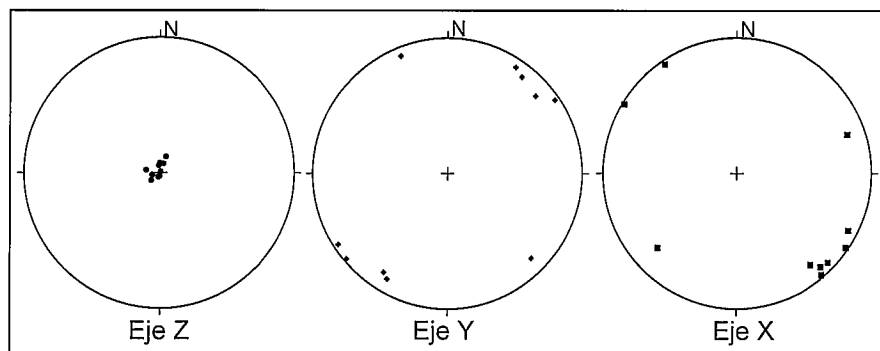


Figura 5: Proyecciones estereográficas de los ejes principales de deformación obtenidos con el método de Reches (1983).

Figure 5: Stereographical projections of the main strain axis obtained with Reches (1983) method.

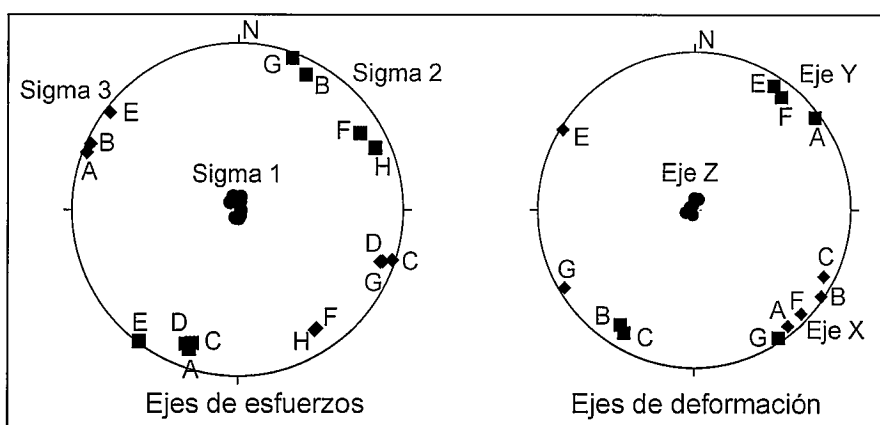


Figura 6: Proyecciones estereográficas de los polos medios de los ejes de esfuerzos y de deformación agrupados según materiales (ver tabla I).

Figure 6: Stereographical projections of the stress and strain axis grouped by materials (see table I).

el Serravaliense y Tortoniense la extensión es radial casi pura, mientras que durante Mesiniense y Plio-Cuaternario existe extensión en una dirección predominante. También cabe destacar que en la zona de Sta. Margalida-Muro el régimen es más cercano a una extensión radial pura que en la zona de Palma.

Existen evidencias para pensar que durante el Plio-Cuaternario Mallorca ha experimentado algún pulso direccional o compresivo, local o regional (Anticlinal de Ma-

rratxí y clivaje asociado a movimiento inverso en una falla normal neógena de la Cuenca de Palma). Aun así, no se han observado fracturas neoforzadas bajo estos regímenes y no se ha podido precisar el carácter de esta posible deformación.

Si comparamos los resultados anteriores con los obtenidos para diversas zonas de la Península Ibérica observamos algunas diferencias. Así, mientras en Mallorca para los sedimentos del Mioceno superior el eje intermedio es horizontal y

tiene una dirección cercana a NE-SW, su dirección en gran parte de la Península es NW-SE (Herraiz et al., 2000). Aunque, como el régimen de deformación del Mioceno superior de Mallorca es una extensión radial casi pura, los ejes horizontales podrían intercambiarse, coincidiendo con los determinados para la Península.

Por otra parte, en Mallorca la dirección de los ejes no experimenta variación durante el Mioceno superior y el Plio-Cuaternario, mientras que en parte de la Península varían ligeramente de forma que el eje intermedio (Y o s2) NW-SE adquiere tardíamente una dirección cercana a N-S (Herraiz et al., 2000).

Referencias

- Anderson, E.M. (1951): Oliver & Boyd, Edimburg, 133 pp.
- Fornós, J., Marzo, M., Pomar, L., Ramos-Guerrero, E. y Rodríguez Perea, A. (1991): I Congreso del Grupo español del Terciario. Libro-Guía Excursión nº2, Ed. F. Colombo, 145 pp.
- Gelabert, B., (1998): ITGE, Colección Memorias, pp 1-129.
- Grimalt Gelabert, M y Rodríguez Perea, A. (1994): III Reunión de geomorfología de la Sociedad Española de Geomorfología, pp. 403-411.
- Herraiz, M., De Vicente, G., Lindo-Naupari, R., Giner, J., Simon, J. L., Gonzalez-Casado, J. M., Vadillo, O., Rodriguez-Pascua, M. A., Cicuendez, J. I., Casas, A., Cabanas, L., Rincon, P., Cortes, A. L., Ramirez, M., Lucini, M., (2000): Tectonics, 19 (4), pp. 762-786.
- Krantz, R.W., (1988): Journal of Structural Geology, 10, 3, pp. 225-237.
- Reches, Z., (1983): Tectonophysics, 95, pp. 133-156.
- Reches, Z. y Dieterich, J.H., (1983): Tectonophysics, 95, pp. 111-132.
- Vergés, J. y Sàbat, F., (1999): En: Durand, B., Jolivet, L., Horvath, F y Seranne, M (ed.), The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen, Geological Society, London, Special Publications, 156, pp. 63-80.