

Indicadores estructurales y morfológicos de deformaciones postmiocenas en el sector occidental de la Falla de Crevillente (Cordillera Bética)

Structural and morphological indicators of postmiocene deformations in the western Crevillente Fault (Betic Cordillera).

C. Canora-Catalán y J.J. Martínez-Díaz

⁽¹⁾ Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, Ciudad Universitaria s/n, 28040, Madrid. ccanora@geo.ucm.es,

ABSTRACT

According to the NNW-SSE regional shortening direction active in the Eastern Betic Cordillera since the Upper Miocene, the ENE-WSW Crevillente Fault should be either blocked or locally reverse. However, dextral, sinistral or reverse movements have been reported along the fault zone. In this work, new observations on the post-Miocene deformations of the Crevillente Fault are described. A block-tectonics model active on different scales is proposed to explain the kinematics variability of the fault.

Key words: Crevillente Fault, stress field, neotectonic period.

*Geogaceta, 39 (2006), 71-74
ISSN: 0213683X*

Introducción

La Falla de Crevillente (Foucault, 1974), también llamada Accidente Cádiz-Alicante en su prolongación hacia el oeste (Sanz de Galdeano, 1983), es una falla de desgarre de gran longitud alcanzando más de 200 km desde la cuenca de Guadix-Baza hasta el Mar Mediterráneo (Fig. 1). Esta considerable longitud junto con su situación geodinámica en una de las zonas sísmicamente más activas de la Península Ibérica, hace que la Falla de Crevillente (FC) presente a priori un potencial sísmico importante. Por ello es de gran interés la búsqueda e interpretación de posibles estructuras de deformación neotectónicas (posmiocenas) generadas bajo el campo de esfuerzos actual que ayuden a caracterizar correctamente el grado de actividad actual de esta falla. A esto hay que añadir que desde 1999 la actividad sísmica en el entorno de la falla ha aumentado significativamente habiéndose producido tres series sísmicas con magnitudes máximas superiores a Mw 4,5 que han ocasionado daños materiales significativos (Mula, 1999, Bullas, 2002 y La Paca, 2005) (Benito *et al.*, en prensa).

Desde un punto de vista tectónico nos encontramos ante una zona de falla con una evolución cinemática compleja. En trabajos previos se documentan movimientos muy distintos en diferentes sec-

tores de la falla. Algunos autores describen en la FC movimientos desde el

Mioceno Medio de desgarre dextral (Azema, 1977; Hermes, 1978; Van de

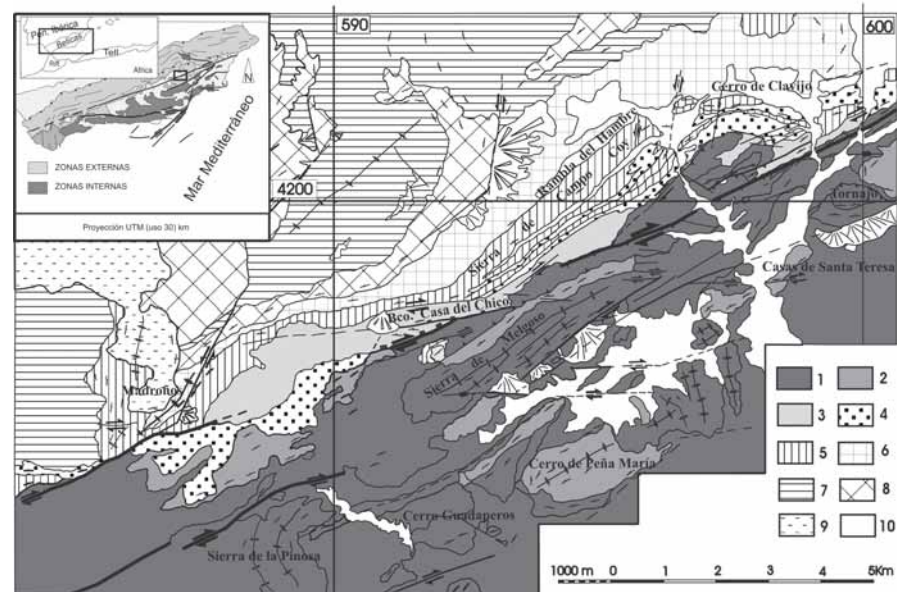


Fig. 1.- Mapa geológico de la zona de estudio. En la parte superior izquierda se marca con un recuadro la situación del área cartografiada. -1. Unidades subbéticas Triásico-Oligoceno. -2. Margas y calizas bioclásticas del Mioceno Inferior. -3. Margas y areniscas del Tortonense. -4. Conglomerados, areniscas y margas del Tortonense-Mesiniense. -5. Margas y yesos messinienses. -6. Margas y limos del plioceno Inferior. -7. Conglomerados y arcillas del Plioceno. -8 Calizas y margocalizas del Plioceno. -9. Calizas micríticas del Plioceno. -10. Depósitos aluviales cuaternarios.

Fig. 1.- Geological map of the study area. In the upper left the mapped area is pointed out with a square. -1. Subbetic units (Triassic-Oligocene). -2. Marls and bioclastic limestones (Lower Miocene). -3. Marls and sandstones (Tortonian). -4. Conglomerates, sandstones and marls (Tortonian-Messinian). -5. Marls and gypsum (Messinian). -6. Marls and silts (Pliocene). -7. Conglomerates and muds (Pliocene). -8. Limestones and marly limestones (Pliocene). -9. Micritic limestones (Pliocene). -10. Alluvial deposits (Quaternary).

Fliert *et al.*, 1980; Sanz de Galdeano, 1983; Smet, 1984; entre otros), otros describen cinemáticas de desgarre sinestrales (Sanz de Galdeano, 1983; Estévez y Sanz de Galdeano, 1983; Loiseau, 1988) y finalmente en otros estudios identifican movimientos puntuales de tipo inverso afectando a materiales muy recientes, incluso cuaternarios (Alfaro *et al.*, 2001).

Bajo el campo de esfuerzos regional compresivo NO-SE que se asume activo en la región desde el Mioceno Superior (Argüs *et al.*, 1989; DeMets *et al.*, 1990) la FC debería estar bloqueada o presentar movimientos inversos, tal y como se interpreta en sectores más orientales (Sanz de Galdeano y Buforn, 2005). Sin embargo, la variabilidad cinemática que encontramos en esta zona muestra una evolución compleja del movimiento de la falla. Esta variabilidad aconseja un análisis estructural de la zona de falla a distintas escalas con el fin de determinar posibles cambios locales en la dirección de los esfuerzos horizontales principales que la expliquen.

El objetivo de este trabajo es, por tanto, doble. Por un lado aportar nuevas observaciones de estructuras de deformación recientes que ayuden a comprender el comportamiento reciente de la FC y, por otro, aportar nuevos datos de tasa de movimiento y estructura de la zona de falla que ayuden a mejorar las estimaciones de peligrosidad sísmica en la zona.

Marco geológico y morfotectónico

La FC es fácilmente reconocible al este de las Cordilleras Béticas, desde las proximidades de Alicante hasta la cuenca de Guadix (Fig. 1). Discurre paralela a las subzonas paleogeográficas de las Zonas Externas y presenta una dirección aproximada N 70° E. La traza es muy rectilínea y limita relieves y depresiones a ambos lados, como la cuenca de Tarragona o la sierra del Cambrón. Constituye un importante corredor tectónico que hace de límite entre el Subbético interno al sur y el Subbético Medio hacia el norte (Loiseau, 1988). La continuidad de la falla hacia el oeste es más difícil de observar y, localmente, pone en contacto las unidades béticas Externas e Internas (Sanz de Galdeano, 1983; Martín-Algarra *et al.*, 1988). Así mismo, el carácter neotectónico de la falla a escala regional ha sido ya puesto de manifiesto en cartografías previas (Baena *et al.*, 1993).

La zona estudiada en detalle se sitúa entre la cuenca de Baza y la localidad de Bullas (Fig. 1). En este sector destaca como marcador fundamental de la actividad neotectónica de la falla la depre-

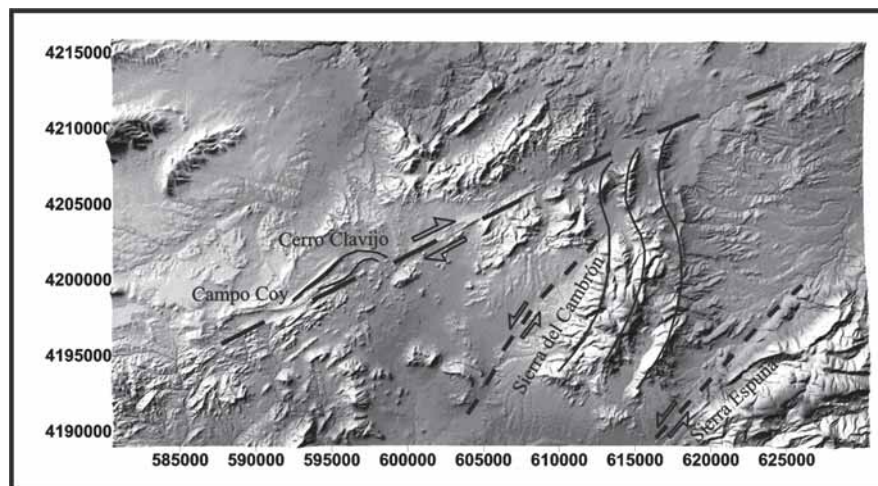


Fig. 2.- Modelo digital del terreno de la zona de estudio sobre el que se representa la traza de la falla de Crevillente así como líneas de dirección de las capas que forman las morfoestructuras de la sierra del Cambrón y de Campo Coy-Cerro Clavijo. Estas líneas muestran el arrastre dextral de la falla de Crevillente que controla dichas morfoestructuras. Así mismo, se observa que el arrastre dextral de la sierra del Cambrón aparece modificado por el desplazamiento sinistral de fallas de dirección NE-SO.

Fig. 2.- Digital elevation model of the study area. The fault line of the Crevillente fault and the trend lines of the Cambrón Range and Campo Coy-Cerro Clavijo morphostructures are showed. These lines show the dextral movement of the Crevillente fault. The dextral drag fold of the Cambrón range appears modified by the movement of NE-SO sinistral faults.

sión Mio-Pliocena de Tarragona, formada por materiales recientes, del Mioceno y Plioceno, principalmente yesos, margas, conglomerados y calizas. Estos materiales presentan claras discordancias progresivas internas asociadas a movimientos sinsedimentarios de la FC. Los valles y ramblas se disponen con dirección ENE-WSW, claramente controlados por la fracturación del sistema de Crevillente N 70° y fallas secundarias E-O. Predominan los valles amplios formados sobre depósitos miocenos y pliocuaternarios. Al sur de la FC, el relieve tiene como dirección predominante ENE-OSO, salvo al sur de la Pinososa y al este de Peña María, donde siguen una dirección N-S o NO-SE.

Toda la zona entorno a la FC está intensamente fracturada y deformada, las fallas predominantes son las N 90-100° como la Falla del Hambre (Fig. 3), las N 45° y las N 0-10°. Los ejes de pliegues afectando materiales miocenos o posteriores presentan dos direcciones contrastadas, una N-S y otra paralela a la FC, N 70°.

También se aprecia como hacia el oeste la zona de falla presenta una gran anchura alcanzando los 4 km, mientras que hacia el este la zona de falla se estrecha no superando el km de anchura. A grandes rasgos puede decirse que la FC presenta una estructura interna compleja, una abundante fracturación secundaria acompañante y un evidente control de la

morfología y de la evolución de la sedimentación miocena, pliocena y cuaternaria en la zona.

Estructuras de deformación neotectónicas

El análisis de las estructuras neotectónicas se ha llevado a cabo mediante una cartografía geológica a escala 1:25.000, un análisis morfoestructural a escalas 1:5000 y 1:25.000, y un análisis de afloramientos singulares en los que se interpretan estructuras de deformación con criterios cinemáticos (fallas con fibras y/o estrías, venas de cizalla con fibras de yeso, pliegues y huellas de presión y estrías en cantos).

Observaciones a escalas 1:5.000 a 1:25.000- A escala regional y a partir de la observación del relieve en el modelo digital del terreno a escala 1:25.000 elaborado por el Instituto Geográfico Nacional y la ortofotografía a escala 1:5000, se han identificado megaestructuras de arrastre producidas por el movimiento dextral de la FC, tanto en el Cerro Clavijo como en la Sierra del Cambrón (Fig. 2). Este movimiento dextral afecta a las unidades de yesos Messinienses y es coherente con los pliegues que afectan al relleno Plioceno de la cuenca de Tarragona. Además, el arrastre dextral de las unidades de la sierra del Cambrón está a su vez replegado por movimientos sinestrales de

fallas N 45-50° como las asociadas a las series sísmicas de Bullas 2005 (Benito *et al.*, en prensa) formándose sigmoides característicos a escala regional (Fig 2).

De forma más local, se observan en detalle los arrastres dextrales de las formaciones Messinienses, producidos por el movimiento de la FC bajo un campo de esfuerzos compresivo ONO-ESE. Este movimiento induce la formación de los planos secundarios N 90-100° (planos Riedel de la cizalla dextral). En la figura 3 se observa como el movimiento dextral de uno de estos planos, la Falla del Hambre, induce la reactivación dextral de un sector de la FC y de la fracturación asociada N 45-50°.

Además, este movimiento dextral provoca el plegamiento de los Yesos Messinienses-Pliocenos creando un pliegue de eje con elevada inmersión, que da lugar a una zona de alta complejidad cinemática con campos de esfuerzos compresivos locales de direcciones muy diferentes, e incluso tectónica extensional en la zona del núcleo del pliegue. Este pliegue se interpreta asociado a la reactivación dextral postmessiniense y probablemente postpliocena de un pequeño segmento de la FC, al mismo tiempo que el segmento situado más al este permanece bloqueado. Si deshacemos el pliegue obtenemos un desplazamiento mínimo horizontal de 490 m. Considerando que este desplazamiento se ha producido durante todo el Cuaternario, la tasa de movimiento sería de 0.27 m/Ka. Si asumimos que se ha producido durante el Plioceno y el Cuaternario esta tasa sería de 0.09 m/Ka.

La influencia del movimiento dextral de la Falla del Hambre sobre la cinemática de la FC desaparece hacia el este, donde la formación de los Yesos Messinienses-Pliocenos sigue una dirección paralela a la FC. A esta escala también se observa como el campo regional induce el plegamiento de las Calizas y Margas Pliocenas de la cuenca de Tarragona, coherente con el acortamiento que activa la Falla del Hambre.

Observaciones a escala de afloramiento. Los materiales que nos aportan más información en este sentido son los yesos Messinienses. En ellos podemos observar fallas inversas, pliegues de ejes verticales y desgarres con formación de fibras, que en algunos casos indican diferentes direcciones del campo de esfuerzos para un mismo periodo de tiempo, lo que define una cinemática compleja para la zona. Un ejemplo de esta complejidad aparece en la figura 4B, en

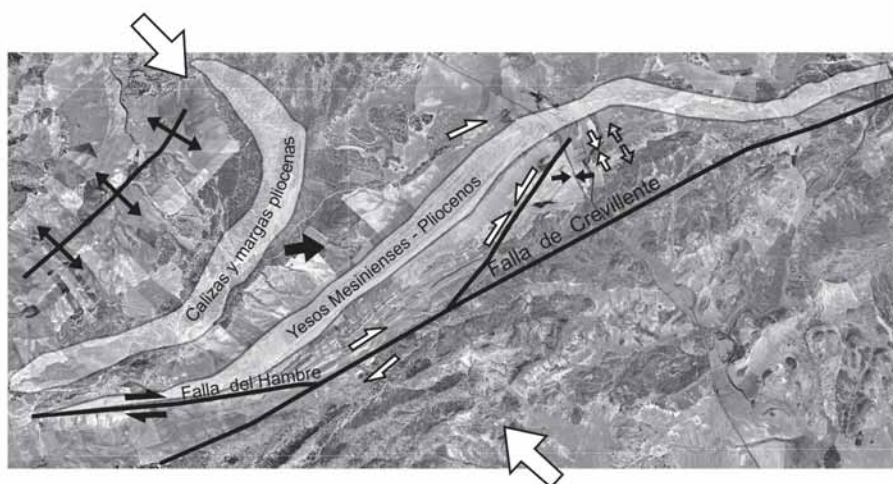


Fig. 3.- Ortofotografía de la zona de Campo Coy-Cerro Clavijo donde se observa el pliegue de los Yesos Messinienses-Pliocenos producidos por el movimiento dextral de la Falla del Hambre (N 90-110°).

Fig. 3.- Orthorectified photography of the Campo Coy-Cerro Clavijo area where a drag fold affects the messinian gypsums produced by the dextral movement of the El Hambre fault (N90-110°).

la que se muestran dos fases de movimiento (en fallas y fibras en venas de cizalla N 100-120°), una sinistral con la formación de fibras y otra dextral que crea el sigmoide de arrastre. Así mismo, en la figura 4A se observa en la misma falla y en una zona próxima, un movimiento inverso predominante junto con el arrastre y orientación de los cantos producido por el mismo. Otros ejemplos de la actividad neotectónica de la FC aparecen en forma de huellas de presión y estrías en los cantos de los Conglomerados Tortonienses y en los planos de falla estriados de las Calizas Miocenas. Estas observaciones junto con las venas de cizalla suman más de 200 medidas repartidas en cinco estaciones que están siendo tratadas mediante métodos de inversión de esfuerzos. Los resultados preliminares apoyan la existencia de direcciones de acortamiento horizontal variables entre NNE-SSO y NO-SE en función de la localización de las estructuras (Canora-Catalán, 2005)

Interpretación y conclusion

La distribución del afloramiento de las unidades sedimentarias miocenas y posteriores en la zona de estudio está estrechamente controlada por la FC y por fallas secundarias (N 90-110°). Los análisis tectónicos realizados en la zona coinciden en que la evolución de los esfuerzos durante el periodo neotectónico ha sido compleja a escala local. Gracias a este análisis, se han identificado campos de esfuerzos compresivos de orientaciones distintas, que actúan de forma alternativa con direcciones NNO-SSE, NE-SO y E-O. La primera orientación coincide con el campo de esfuerzos regional actual. Una posible razón para que se produzcan estos cambios en las direcciones de los esfuerzos es que la neotectónica local en las Cordilleras Béticas orientales esté controlada a distintas escalas por una tectónica de bloques. Cada bloque se comporta de manera diferente ante los esfuerzos, ya sea por la naturaleza de los

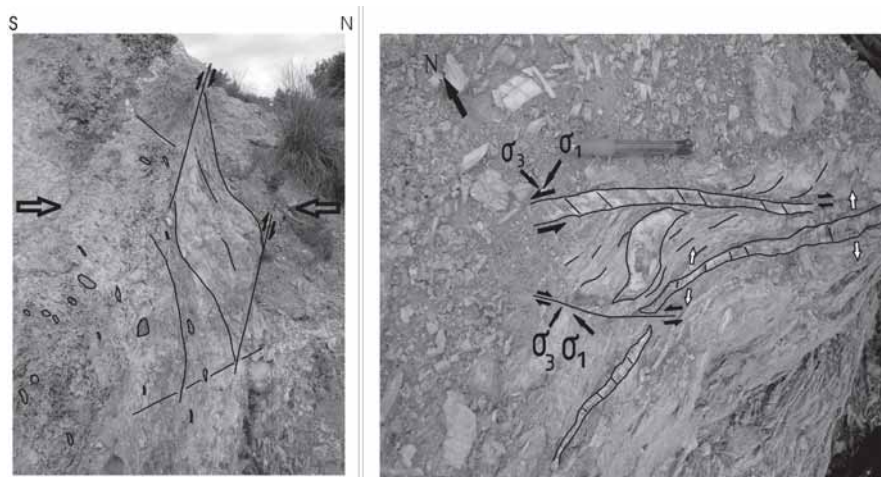


Fig. 4.- A. Yesos y Margas Messinienses afectados por la falla del Hambre (N110°) con movimientos inversos produciendo arrastres y orientación de los cantos englobados en las margas. **-B.** Yesos y Margas Messinienses deformados por dos etapas de movimiento distintas, una sinistral que forma las fibras y es coherente con una dirección de máximos esfuerzos horizontales (Shmax) E-O y otra dextral que genera el sigmoide y que coincide con una Shmax NNW-SSE.

Fig. 4.- A. Messinian gypsum and marls affected by reverse movements along the N110° El Hambre fault. These movements produce drag and reorientation of pebbles embedded in marls. **-B.** Messinian marls and Gypsums affected by two phases of movements. One sinistral movement that produce gypsum fibers in shear veins. These fibers are coherent with a (Shmax) E-W. The dextral movement generate drags and sigmoidal shapes coherent with Shmax NNW-SSE.

materiales que lo forman, o por la orientación y la forma que presentan. De esta manera se transmiten pequeñas desviaciones en la dirección de compresión que hacen que el campo de esfuerzos esté variando continuamente, en función de la cinemática de los bloques.

Como se aprecia en el mapa geológico (Fig. 1), las fallas que parecen controlar esta tectónica de bloques son las fallas N 70° (dirección Crevillente), las N 90-110° (en especial la Falla del Hambre), las fallas N 40-50° y las fallas N-S o NNE-SSO.

Bajo el campo de esfuerzos regional NNW-SSE, la FC, con una orientación de N 70°, en principio quedaría bloqueada. Sin embargo, esta dirección de compresión provoca movimientos dextrales en la Falla de Hambre y otras paralelas, que a nivel local inducen movimiento dextral a este sector de la FC. Esto crea un campo de esfuerzos local, de orientación E-W, que es el responsable de algunas de las estructuras observadas, sobre todo en los Yesos Messinienses. Cuando las fallas N 90-110° están inactivas la orientación de los máximos esfuerzos horizontales gira, hasta situarse con una dirección regional NNW-SSE. Bajo esta dirección las fallas NNE-SSW se mueven como desgarres sinistral y los bloques limitados por estas fallas inducen compresiones NNE-SSW. Con estas direcciones de compresión las fallas N 70° y N 50° son suscepti-

bles de moverse como desgarres sinistral. Este movimiento lo registramos en el campo en numerosas estructuras, y coincide con la cinemática de muchas venas de cizalla rellenas de fibras en los Yesos Messinienses. De esta manera, las distintas direcciones de máximos esfuerzos horizontales que se reconocen quedan englobadas en una tectónica de bloques, que parece controlar la distribución de los esfuerzos neotectónicos en la zona, de forma coherente con la dirección de acortamiento regional NNW-SSE.

De las evidencias presentadas puede concluirse que la FC es una falla activa para tiempos postmiocenos con un comportamiento segmentado por la acción de una tectónica de bloques. Algunos de los segmentos de las fallas presentan tasas de deslizamiento del orden de 0.1 m/Ka similares a las obtenidas en trabajos previos en fallas de mayor actividad sísmica.

Referencias

- Alfaro, P., Delgado, J., Estevez, A. y Lopez Casado, C. (2001). *Acta Geológica Hispánica*, 36, 233-244.
- Angelier, J. y Mechler, P. (1977). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 19, 1309-1318.
- Angelier, J. y Goguel, J. (1979). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de*

Paris, 288, 307-310.

- Argüs, D.F., Gordon, R.G., Demets, C. y Stein, S. (1989). *Journal of Geophysical Research*, 94, 5585-5602.
- Azéma, J. (1977). *Étude géologique des zones externes des Cordillères Bétiques aux confins des provinces d'Alicante et de Murcie (Espagne)*. Tesis Doctoral, Univ. Paris VI, 393 pp.
- Baena, J., Barranco L.M, Zazo, C., Goy, J.L., Silva, P.G., Somoza, L., Bardají, T., Estevez, A., Sanz de Galdeano, C. y Rodriguez, T. (1993). *Mapa neotectónico, sismotectónico y de actividad de fallas de la Región de Murcia* 1:200.000 y 1:100.000. ITGE-CARM.
- Benito, B., Capote, R. Murphy, P., Gaspar-Escribano, J.M., Martínez-Díaz, J.J., Tsige, M., Stich, D. García-Mayordomo, J., García, M.J., Jiménez, M. E., Insua-Arévalo, J.M., Álvarez-Gómez J.A. y Canora, C. (en prensa). *Bulletin of the Seismological Society of America*.
- Canora Catalán C. (2005). *Evolución neotectónica de la zona de falla de Crevillente (Sector Occidental). Implicaciones sismotectónicas*. Tesis de Licenciatura, Univ. Complutense, 130 pp.
- DeMets, Ch., Gordon, R.G., Argus, D.F. y Stein, S. (1990). *Geophysical Journal International*, 101, 425-478.
- Estevez, A. y Sanz de Galdeano, C. (1983). *Revue de Géologie Dynamique et de Géographie Physique*, 24, 23-34.
- Foucault, A. (1974). *Travaux et titres scientifiques et universitaires*. Paris, 36 pp.
- Hermes J. J. (1978). Koninklijke Nederlandse Akademie Van Wetenschappen. *Proceedings Series b-physical Sciences*, 81, 1-54.
- Loiseau, L. (1988). *Le segment Archena-Mula de l'Accident Northbetique (Espagne). Ses relations avec la sédimentation néogène; implications structurales*. Tesis Doctoral, Univ. Orsay, Paris-Sud, 192 pp.
- Martín-Algarra, A., Díaz, J.L., Sandoval, J. y Checa, A. (1988). En: *III Coloquios de Estratigrafía y Paleogeografía del Jurásico de España*, 62-85.
- Sanz de Galdeano, C. (1983). *Estudios Geológicos*, 59, 157-165.
- Sanz de Galdeano, C. y Buforn, E. (2005). *Geológica Acta*, 3, 241-250.
- Smet, M.E.M. de (1984). *Investigations of the Crevillente Fault Zone and its role in the Tectogenesis of the Betic Cordilleras, Southern Spain*. Tesis Doctoral, Univ. Amsterdam, 174 p.
- Van de Fliert, J. R., Graven, H., Hermes, J. J. y de Smet, M. (1980). *Eclogae Geologicae Helvetia*, 73, 1, 223-237.