

# Reparto de la deformación en la terminación oriental de la Zona de Cizalla del Torcal (Béticas, S España)

*Strain partitioning in the eastern-end of the Torcal Shear Zone (Betics, S Spain)*

Leticia Barcos, Alejandro Jiménez-Bonilla, Inmaculada Expósito, Juan Carlos Balanyá y Manuel Díaz-Azpiroz

Departamento de Sistemas Físicos, Químicos y Naturales, Universidad Pablo de Olavide, cra. de Utrera km 1, 41013 Sevilla, España  
lbarmur@upo.es, ajimbon@upo.es, iexpram@upo.es, jcbalrou@upo.es, mdiaazp@upo.es

## ABSTRACT

The eastern end of the Torcal Shear Zone (TSZ) is made up of two structural domains that accommodate variable proportions of the strain partitioning associated to the TSZ dextral transpressive deformation. The Sierra de las Cabras Domain is a dextral transpressive band at an angle to the TSZ giving way southeastward to the Sierra de Camorolos Domain, whose thrusts and folds accommodate mainly coaxial strain, though some dextral component must be present. Kinematic analysis carried out on these structures permit to establish a range between N120°-160°E for the far-field displacement vector in this sector, in contrast to the WNW-ESE orientation obtained for the central TSZ. Given that the structural organization is coeval in the whole ZCT, the difference in the far-field displacement vector orientation may point to a decreasing simple shear component toward the end of the dextral transpressive band.

**Key-words:** Oblique convergence, dextral transpression, far field vector, External Betics.

## RESUMEN

La terminación oriental de la Zona de Cizalla del Torcal (ZCT) está definida por dos dominios estructurales que acomodan el reparto de la deformación transpresiva dextra de la ZCT en proporciones variables. El Dominio de la Sierra de las Cabras es una banda transpresiva dextra, oblicua a la ZCT, que se releva en su sector SE con el Dominio de Sierra de Camorolos, cuyos cabalgamientos y pliegues acomodan una deformación principalmente coaxial, aunque con cierta componente dextra. El análisis cinemático de estas estructuras permite estimar un vector de desplazamiento con una orientación comprendida entre N120°-N160°E, frente a la orientación ONO-ESE obtenida de los macizos centrales de la ZCT. Dado que la organización estructural de los dos dominios es coetánea con la que registra el resto de la ZCT, podría concluirse que la diferencia en la orientación de los vectores de desplazamiento responde a una disminución de la componente de cizalla simple de la deformación transpresiva dextra hacia la zona de terminación de la banda.

**Palabras clave:** Convergencia oblicua, transpresión dextra, vector desplazamiento, Zonas Externas Béticas.

Geogaceta, 56 (2014), 23-26.  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 31 de enero de 2014  
Fecha de revisión: 29 de abril de 2014  
Fecha de aceptación: 30 de mayo de 2014

## Introducción

Los contextos de convergencia oblicua generan zonas deformadas que, típicamente, incluyen bandas de deformación transpresivas con diferentes modos de reparto de la deformación. En condiciones relativamente superficiales, características de las zonas externas de las cordilleras, el grado de reparto de la deformación es alto, desarrollándose estructuras con naturaleza y dirección de transporte muy diferentes. En estas bandas transpresivas, las fallas pueden acomodar la mayor parte de la deformación por cizalla simple, pero son necesarias otras estructuras que acomoden la parte coaxial de la deformación (Teyssier *et al.*, 1995).

Este tipo de situación se ha estudiado en la Cordillera Bética sobre distintos segmentos de la denominada Zona de Cizalla del Torcal (ZCT), banda transpresiva dextra desarrollada sobre las unidades más meridionales de las Zonas Externas Béticas (Barcos *et al.*, 2011). En trabajos previos, se han analizado su parte central (macizos del Torcal, MTA, y del Valle de Abdalajís, MVA; Barcos *et al.*, 2011 y 2012) y su terminación occidental (Zona Transversal de Peñarubia-Almargen, ZTPA; Jiménez-Bonilla *et al.*, 2013). El tercio oriental ha sido estudiado por Sanz de Galdeano (2012), quien ha descrito su estructura y discutido las relaciones paleogeográficas de las unidades implicadas. En este sector, sin embargo, no se ha abordado

la cinemática transpresiva en términos de reparto de la deformación ni se han caracterizado las estructuras que pudieran estar asociadas a la terminación lateral de la ZCT.

Con este fin, el presente trabajo se centra en: a) identificar el tipo de estructuras asociadas a la terminación oriental de la ZCT; b) realizar un análisis cinemático de dicho sector; y c) comparar los modos de reparto de la deformación a lo largo de la ZCT.

## Marco tectónico y estructural

La Cordillera Bética se sitúa en la rama norte del Arco de Gibraltar y resulta de la colisión miocena de un bloque de naturaleza continental, compuesto en su mayor parte

por rocas metamórficas (Dominio de Alborán) sobre unidades del Paleomargen Suribérico (Prebético y Subbético, principalmente) (Fig. 1). La ZCT es una banda de deformación con una orientación OSO-ESE, de aproximadamente 60 km de longitud y 5-7 km de anchura. Está compuesta por varios macizos formados por unidades del Subbético Interno (calizas y dolomías jurásicas y margocalizas cretácicas). Se extiende desde la Sierra de Teba, en el sector occidental, hasta el límite SO de la Sierra de Gibalto (Fig. 1). Al norte de la ZCT afloran las unidades del surco de los Flyschs, emplazadas sobre el margen Suribérico en el Mioceno Medio. Este trabajo se centra en el estudio del sector oriental (sierras de las Cabras y de Camorolos, Fig. 2).

La ZCT se ha estructurado bajo una cinemática transpresiva, con importantes levantamientos asociados (Barcos *et al.*, 2012; Jiménez-Bonilla *et al.*, 2013). En toda la banda se ha descrito un importante reparto de la deformación transpresiva, acomodado por asociaciones de estructuras de diferente régimen y orientación. Sin embargo, el modo de reparto es heterogéneo a lo largo de la banda, variando de un macizo a otro.

La terminación occidental de la banda está constituida por la ZTPA, donde las directrices estructurales están definidas por pliegues y fallas inversas dexas OSO-ESE, oblicuas a la orientación regional de la ZCT,

y fallas normales NE-SO (Jiménez Bonilla *et al.*, 2013) (Fig. 1).

El MVA se organiza como un sistema de escamas cabalgantes con componente dextra, buzantes hacia el SSE, y pliegues OSO-ESE. El límite sur del MVA es una zona de falla subvertical dextra cuya componente en buzamiento contribuye a la extrusión del macizo. También existen fallas normales con extensión subparalela a la dirección de las estructuras de acortamiento (Barcos *et al.*, 2012) (Fig. 1).

En el MTA se diferencian dos dominios principales: uno central con pliegues y fallas inversas SO-NE y fallas normales NO-SE que acomodan extensión paralela a la dirección de las estructuras de acortamiento, y otro dominio externo que presenta principalmente fallas de salto en dirección dextra paralelas a la banda (Barcos *et al.*, 2011; Díaz Azpiroz *et al.*, en revisión) (Fig. 1).

### Estructura de las sierras de las Cabras y Camorolos

El conjunto de sierras que constituyen la terminación oriental de la ZCT está integrado por dos dominios estructurales (Fig. 2); i) Dominio de la S<sup>a</sup> de las Cabras, cuya directriz estructural es N120°E, y ii) Dominio de la S<sup>a</sup> de Camorolos, con una orientación estructural OSO-ESE. Estos dos dominios están conectados por una zona de relevo.

### Dominio de la S<sup>a</sup> de las Cabras

Constituye una zona de cizalla frágil-dúctil de unos 5 km de longitud y 1,5-2 km de anchura. Su orientación es N120°E, oblicua a la ZCT (Fig. 1).

El límite SO del Dominio de la S<sup>a</sup> de las Cabras es una zona de falla N124°E/78°NE. Cuando esta zona de falla se desarrolla sobre las calizas y dolomías jurásicas se desarrollan planos discretos que buzanan entre 60°N y 90°, responsables del fuerte escarpe meridional de la sierra (ca. 200 m). En las margocalizas cretácicas, se desarrollan bandas con estructuras S-C de pocos metros de espesor. Las estrías y fibras de calcita presentan ángulos de cabeceo bajos (< 25° hacia el NO) y los criterios cinemáticos indican un sentido de movimiento dextro (Fig. 2A).

El límite NE está marcado por una zona de falla que genera un fuerte escarpe. Aunque no se dispone de indicadores cinemáticos, su geometría y orientación es similar tanto a la zona de falla que limita por el SO la S<sup>a</sup> de las Cabras, como a la que limita por el NE el MTA (Fig. 2), también dextra, por lo que podría tratarse de una zona de régimen similar.

En el interior de la sierra se desarrollan pliegues cuya orientación es subparalela a los límites del macizo.

También se desarrollan dos sistemas de fallas oblicuos a los límites del dominio, que

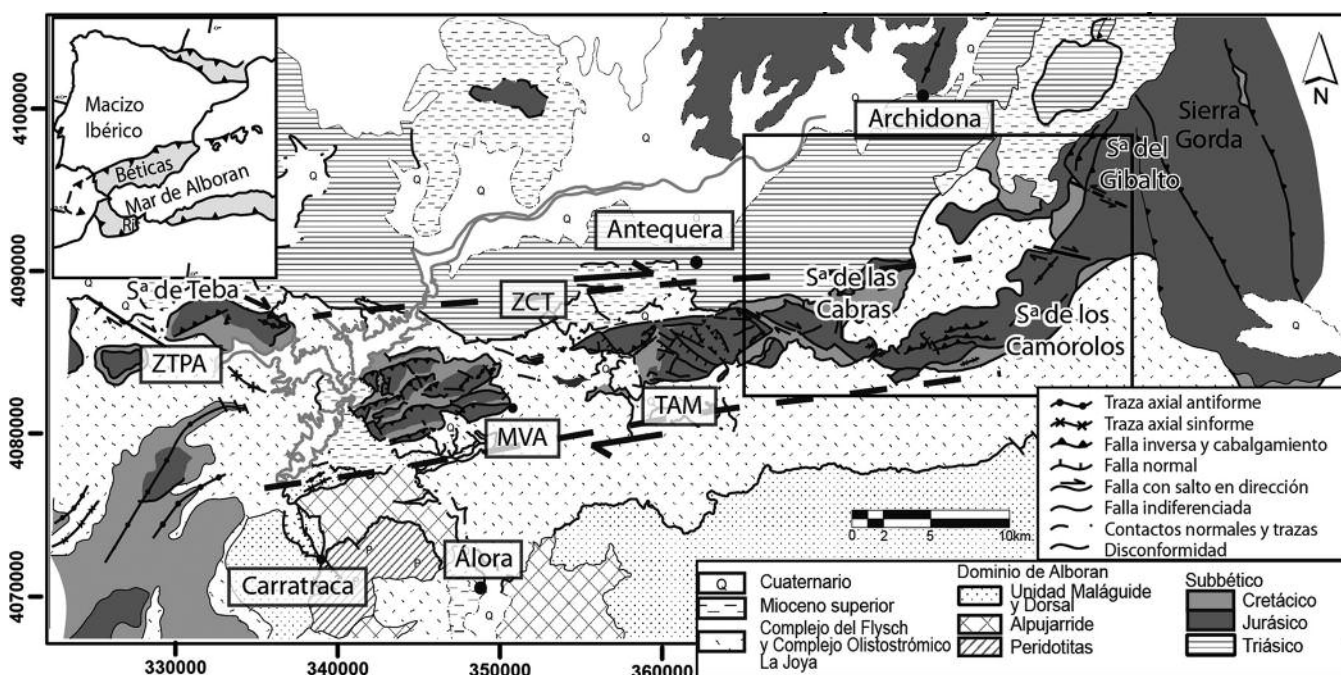


Fig. 1.- Mapa tectónico y estructural de la ZCT y situación de las Sierras de las Cabras-Camorolo y Gibalto.

Fig. 1.- Tectonic and structural map of the TSZ and the location of the Sierras de las Cabras, Camorolos and Gibalto.



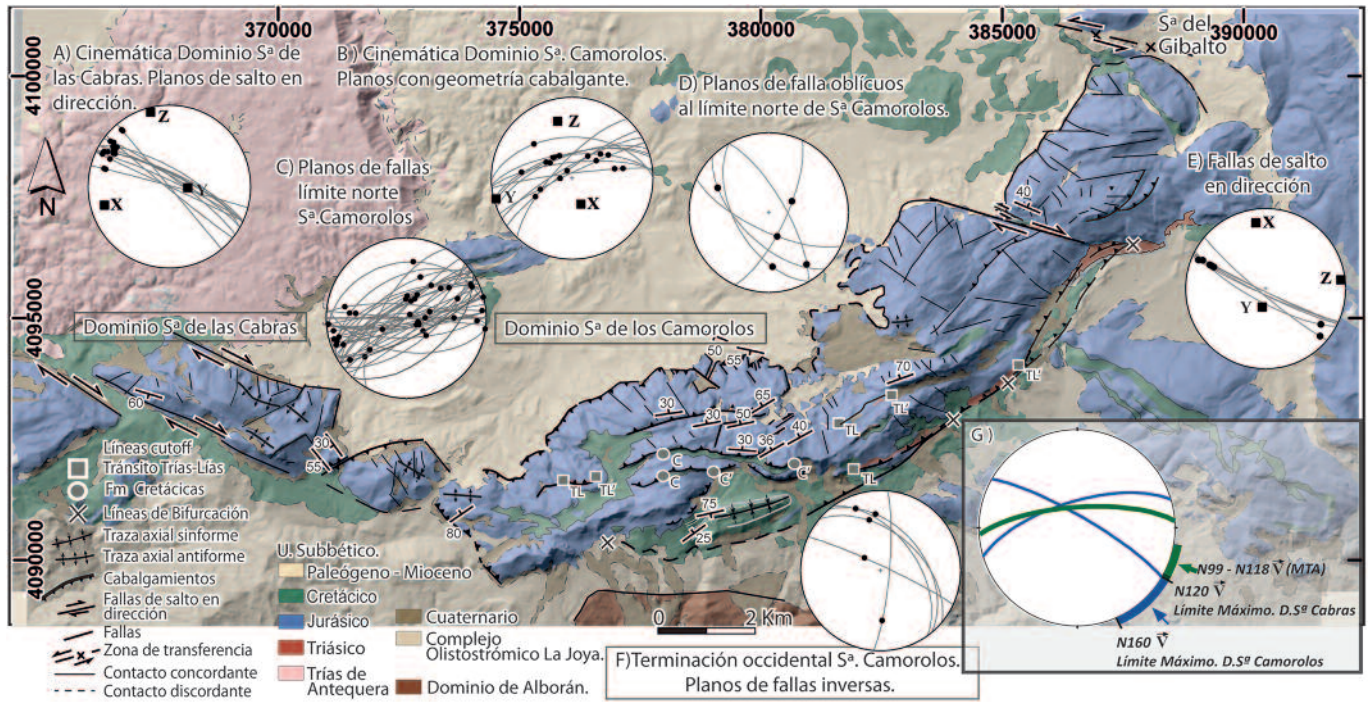


Fig. 2.- Mapa estructural de las sierras de Cabras y Camorolos (modificado de Barba Martín *et al.*, 1977). A)-F) Diagramas de proyección equiareal (hemisferio inferior) de planos de fallas y estrías. G) Rango de orientaciones del vector desplazamiento para el sector oriental y central de la ZCT.

Fig. 2.- Structural map of Sª Cabras and Sª Camorolos (modified from Barba Martín *et al.*, 1977). A)-F) Equal area lower hemisphere plots of fault planes and slickenlines. G) Orientation range of the far field displacement vector for the central and eastern TSZ.

desplazan marcadamente el trazado del escarpe norte y sur, uno de orientación N020-030°E con buzamientos de 56-70° al oeste y otro de orientación NO-SE con buzamientos verticales. Las estrías y fibras de calcita medidas en estos planos presentan ángulos de cabeceo altos.

*Dominio de la Sª de Camorolos*

La Sª de Camorolos está estructurada por un conjunto de fallas inversas y cabalgamientos OSO-ENE con buzamientos hacia el NNO, a excepción de la falla que marca el límite de la sierra por el norte, de buzamiento hacia el SE. Estas estructuras deforman las secuencias subbéticas, las unidades del Complejo de Flyschs y las unidades del complejo olistostromico de La Joya (Mioceno medio, Suades y Crespo-Blanc, 2013).

Los cabalgamientos tienen una continuidad máxima de 8 km y un espaciado de 0,5-1 km. En la cartografía se identifican varias líneas de corte, tanto en la base de las formaciones cretácicas, como en el tránsito Triás-Lías (puntos C y TL en Fig. 2). Todas ellas tienen orientaciones comprendidas entre N043°E y N093°E y se sitúan en rampas de bloque inferior. Las líneas de bifurcación observables tienen una

orientación similar y están relacionadas con superficies de cabalgamiento divergentes hacia el SE. La lámina más meridional está compuesta por rocas cretácicas y su estructura interna es un pliegue sinclinal N080°E, de vergencia SSE (Fig. 2).

Las estrías medidas en las superficies de cabalgamiento presentan en general ángulos de cabeceo altos (63°-87°) (Fig. 2B), aunque a lo largo de la falla del límite septentrional, los ángulos de cabeceo son bajos a veces (Fig. 2C). Los indicadores cinemáticos señalan en todos los casos movimiento inverso. Considerando las orientaciones medias de las estrías, las orientaciones de las líneas de corte y de bifurcación, y la geometría ascendente hacia el S y SE de las rampas, cabe suponer que todos estos elementos corresponden a estructuras frontales (Fig. 2B). Localmente, se han medido planos de orientación N040E°/70°SE que cortan a estas estructuras frontales. Las estrías y fibras de calcita medidas en ellos presentan ángulos de cabeceo entre 4°-10° y los criterios cinemáticos indican un salto dextro.

Uniformemente distribuido por todo el dominio, se desarrolla un sistema de fallas con componente normal. Sus planos se orientan entre N115-150°E, con buzamientos de 50° a 70° SO. Desarrollan estrías y fi-

bras de calcita con ángulos de cabeceo de 35° a 72° (Fig. 2D).

Dentro del sector NE de este dominio, las estructuras cabalgantes quedan interrumpidas por una zona de cizalla subvertical de orientación ONO-ESE (Fig. 2E). Esta zona de falla se muestra como un conjunto de planos discretos con espejos de fallas sobre las unidades jurásicas, mientras que en las unidades cretácicas se reconocen estructuras S-C. Las estrías y fibras de calcita presentan ángulos de cabeceo bajos (10-15°) y los criterios cinemáticos observados indican un salto dextro, coherente con el efecto cartográfico que produce ésta zona de falla (Fig. 2E). Sin embargo, en algunos planos que limitan por el norte la zona de falla, las estrías indican salto izquierdo (Fig. 2E).

Los dominios de la Sª de Camorolos y Sª de las Cabras quedan conectados por una zona de relevo donde las directrices estructurales OSO-ENE de la Sª de Camorolos acaban en una serie de planos de orientación mayoritaria NO-SE y buzamientos entre 50° y 85° al NE (Fig. 2F). Las estrías y fibras de calcita medidas presentan ángulos de cabeceo entre 23 y 70°, mayoritariamente al NO, y los criterios cinemáticos observados indican un sentido de movimiento inverso con componente dextra (Fig. 2F).

Este dominio estructural caracterizado por fallas inversas y cabalgamientos de techo mayoritariamente al SE, se extiende por el NE hasta la S<sup>a</sup> del Gibalto (Figs. 1 y 2), cuyo estilo estructural está marcado por cabalgamientos de techo hacia el OSO, y cuyas directrices giran en sentido antihorario respecto a las del dominio de la Sierra de los Camorolos.

## Discusión

La organización estructural de la terminación oriental de la ZCT está definida por dos dominios estructurales principales (Fig. 2). El Dominio de la S<sup>a</sup> de las Cabras de orientación N120°E, dominado por una cinemática transpresiva dextra, supone un cambio en la orientación OSO-ENE de la ZCT.

En la terminación SE del Dominio de la S<sup>a</sup> de las Cabras, las fallas laterales dexas son relevadas por los cabalgamientos NO-SE de componente dextra que limitan por el SO el Dominio de la S<sup>a</sup> de Camorolos. Por su dirección de transporte, estas últimas estructuras podrían interpretarse como rampas laterales de los cabalgamientos OSO-ENE que caracterizan a la S<sup>a</sup> de Camorolos. La terminación oriental del Dominio de la S<sup>a</sup> de Camorolos, supone de nuevo una zona de relevo, de orientación ONO-ESE que separa este dominio de la Sierra de Gibalto, donde la vergencia de los cabalgamientos cambia hacia el ONO (Fig. 1). Este cambio lateral de la vergencia de las estructuras cabalgantes, junto con la separación cartográfica que se localiza en esta zona de relevo, sugieren que el límite NE del Dominio de la S<sup>a</sup> de Camorolos es una zona de transferencia de cinemática izquierda.

El conjunto de estructuras que definen el Dominio de la S<sup>a</sup> de Camorolos (cabalgamientos frontales y pliegues OSO-ENE) apuntan a que este dominio acomoda principalmente la componente coaxial de la deformación en la terminación oriental de la ZCT. Esta deformación coaxial dominante indica que el vector de desplazamiento (*far-field displacement vector*; Jones *et al.*, 2004) debe tener una orientación próxima a la dirección de máximo acortamiento, N340°E, que de ella se obtiene (Figs. 2B y 2G, aunque con alguna desviación antihoraria que justifique cierta componente de cizalla simple acomodada por la zona de falla dextra del sector NE de este dominio (Fig.

2E) y otras menores distribuidas en su interior y borde norte.

En cualquier caso, si asumimos una cinemática común para ambos dominios, esta desviación del vector de desplazamiento nunca llegaría a situarlo paralelo a las estructuras dexas de la S<sup>a</sup> de las Cabras, ya que la deformación coaxial acomodada por los pliegues de esta sierra indican que debe tener una orientación más noroesteada que las fallas de cinemática dextra de este dominio. De hecho, si el vector de desplazamiento obtenido de la deformación coaxial del Dominio de la S<sup>a</sup> de Camorolos (160°-340°) es aplicado a una banda de orientación N120°E, como es el caso del Dominio de la S<sup>a</sup> de las Cabras, produciría la deformación transpresiva dextra que caracteriza a este dominio.

El rango que se obtiene para la orientación del vector de desplazamiento lo sitúa, en cualquier caso, en una posición más ortogonal a la dirección de la ZCT, que la que se ha calculado para el vector (Barcos *et al.*, 2011; Díaz Azpiroz *et al.*, 2014 a, b) en sectores centrales de la ZCT (Fig. 2G), aunque la diferencia en ángulo entre los vectores pueda ser de un valor moderado. Los criterios de superposición estructural, junto con la edad de las unidades deformadas, indican que los dos dominios estructurales estudiados se deformaron simultáneamente a los otros macizos de la ZCT, en un evento Mioceno Sup-Actual (Barcos *et al.*, 2011, 2012; Jiménez Bonilla *et al.*, 2013). Por tanto, la diferencia en la orientación del vector de desplazamiento sugiere una disminución de la componente de cizalla simple de la deformación transpresiva dextra hacia la zona de terminación de la ZCT. Con independencia de las variaciones en este vector, la mayor parte del desplazamiento asociado a la ZCT podría haberse transferido a los cabalgamientos de la S<sup>a</sup> de Gibalto que, con una dirección de transporte tectónico 120°, podrían corresponder a una zona de terminación de tipo contractivo.

## Conclusiones

1. La organización estructural que presenta la terminación oriental de la ZCT se explica por una transpresión dextra activa durante el Mioceno Sup-Actual, coetánea con la deformación producida en el resto de macizos de la ZCT.

2. En este sector oriental, existe un reparto de la deformación en dominios, cuyas estructuras acomodan en proporciones variables la componente de cizalla simple y la coaxial: el Dominio de la S<sup>a</sup> de las Cabras está caracterizado por una cinemática transpresiva dextra y el Dominio de la S<sup>a</sup> de Camorolos acomoda una deformación mayoritariamente coaxial.

3. El vector de desplazamiento que mejor reproduciría la cinemática del sector oriental de la ZCT debe tener una orientación comprendida entre N120°E y N160°E, frente a la orientación N099°-118°E obtenida para el vector en los macizos centrales.

4. La orientación del vector de desplazamiento hacia orientaciones más ortogonales a la ZCT en su sector oriental sugiere una disminución de la componente de cizalla simple de la deformación transpresiva dextra.

## Agradecimientos

Agradecemos la revisión del manuscrito a A. Casas y F. Pérez Valera. Trabajo financiado por los proyectos LGL2013-46368-P, RNM 215, y RNM3713.

## Referencias

- Barcos, L., Díaz-Azpiroz, M., Balanyá, J.C. y Expósito, I. (2011). *Geogaceta* 50, 31-34.
- Barcos L., Expósito, I., Balanyá J.C. y Díaz-Azpiroz, M. (2012). *Geo-Temas* 13, 507-601.
- Barba Martín, A., Martín-Serrano, A. y Piles Mateo, E. (1977). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 1039 (Colmenar) y memoria*. IGME, Madrid, 89 p.
- Díaz-Azpiroz, M., Barcos, L., Balanyá, J.C., Fernández, C., Expósito, I. y Czeck, D.M. (2014 a) *Journal of Structural Geology* 68, 316-336.
- Díaz-Azpiroz, M., Barcos, L., Expósito, I., Jiménez-Bonilla, A. y Balanyá, J.C. (2014 b). *Geogaceta* 56, 27-30.
- Jiménez-Bonilla, A., Barcos, L., Expósito, I., Balanyá, J.C. y Díaz-Azpiroz, M. (2013). *Geogaceta* 55, 7-10.
- Jones, R.R., Holdsworth, R.E., Clegg, P., McCaffrey, K. y Tavarnelli, E. (2004). *Journal of Structural Geology* 26, 1190-1204.
- Sanz de Galdeano, C. (2012). *Estudios Geológicos* 68, 189-202.
- Suades, E. y Crespo-Blanc, A. (2013). *Geologica Acta* 11, 215-229.
- Teysier, C., Tikoff, B. y Markley, M. (1995). *Geology* 23, 447-450.