

La zona de falla de Gaucín (Cadenas Béticas Occidentales): cinemática y rasgos morfoestructurales asociados

The Gaucín fault zone (Western Betic Chains): kinematics and associated morphostructural features

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

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

ABSTRACT

The WNW-ESE trending Gaucín fault zone is divided into two segments. The western one is a brittle deformation band in which minor faults and folds, map-scale strike separations and counterclockwise rotations, indicate a left lateral transpressive regime. In contrast, the eastern segment shows an oblique, left lateral-normal slip sense (downthrow block on the SW side). Values of both SLk and Vf geomorphic indices suggest a segmentation of the structural and topographic relief, essentially due to the relative uplift of the northern block, especially in the eastern segment of the fault zone. In accordance with structural and geomorphic data, this fault zone has been probably active from the Upper Miocene up to the Pliocene or later.

Key-words: Fault zones, relief segmentation, neotectonics, Western Betics.

RESUMEN

La zona de falla ONO-ESE de Gaucín está dividida en dos segmentos: En el occidental domina la deformación frágil y las fallas, pliegues menores, separaciones de escala cartográfica y rotaciones antihorarias, indican un régimen transpresivo izquierdo. El oriental, en cambio, muestra un sentido de movimiento normal-izquierdo (siendo el bloque hundido el SO). Los valores de los índices SLk y Vf indican segmentación del relieve debida principalmente al levantamiento del bloque norte, especialmente en el segmento oriental. Atendiendo a los datos estructurales y geomorfológicos, esta zona de falla ha sido activa probablemente desde el Mioceno Superior hasta el Plioceno o después.

Palabras clave: Zonas de falla, segmentación del relieve, neotectónica, Béticas Occidentales.

Geogaceta, 55 (2014), 3-6.
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 29 de junio de 2013
Fecha de revisión: 22 de octubre de 2013
Fecha de aceptación: 29 de noviembre de 2013

Introducción

En las Cadenas Béticas Occidentales se ha puesto de manifiesto la coexistencia durante el Neógeno de estructuras de acortamiento NE-SO, paralelas a las directrices estructurales dominantes, y fallas normales y de salto en dirección que generan estiramiento paralelo (Balanyá *et al.*, 2007). Cabe destacar que la finalización de los relieves Subbéticos en la Serranía de Ronda (Zonas Externas Béticas; Fig. 1), así como los propios márgenes de la Depresión de Ronda, están controlados principalmente por estas fallas normales, algunas de las cuales han tenido actividad posterior al Mioceno Superior (Jiménez-Bonilla *et al.*, 2011).

Por otra parte, el uso conjunto del análisis estructural y geomorfológico en algunos sectores de las Béticas Occidentales ha mostrado las relaciones entre los patrones

de relieve y los modos de reparto de la deformación (Barcos *et al.*, 2012).

El propósito de este trabajo es doble: a) revisar la geometría y cinemática de las zonas de falla transversales a las directrices estructurales dominantes y cuyo trazado coincide con la terminación de los relieves más occidentales del Dominio de Alborán (Zonas Internas Béticas; Fig. 1); y b) a partir de la caracterización morfoestructural de la zona mediante el uso de índices geomorfológicos, discutir el control ejercido por las zonas de falla en los principales cambios de relieve.

Contexto tectónico y rasgos mayores del relieve

La región comprendida entre Ronda y Tarifa (Fig. 1) corresponde a un segmento orogénico compuesto por el Dominio de

Alborán (Complejos Alpujarride y Málaga) y su frente montañoso (Complejo de la Dorsal), un conjunto de unidades de cobertera en su mayoría pertenecientes al Subbético (derivado del paleomargen Sudibérico) y una representación de las unidades del Complejo de Flyschs que ocupan una posición tectónica intermedia entre los dos conjuntos anteriores. Las estructuras de la fase principal de acortamiento (pliegues y cabalgamientos vergentes hacia el NO) en el Subbético y en el Complejo de Flyschs son de edad Mioceno Inferior-Medio (Balanyá *et al.*, 2007). Todas las estructuras referidas están interferidas por pliegues de gran radio y dirección aproximada NE-SO que se nuclearon en el Mioceno Superior y que, en algunos casos, han continuado amplificándose en el Plioceno (Jiménez-Bonilla *et al.*, 2011; Balanyá *et al.*, 2012).



Fig. 1.- Mapa tectónico de la región estudiada y áreas vecinas. FC, Falla de Colmenar. FG, Falla de Gaucín.

Fig. 1.- Tectonic map of the study sector and neighbouring areas. FC, Colmenar Fault. FG, Gaucín Fault.

Las alineaciones principales de relieve en la región están controladas esencialmente por los pliegues de gran radio tardíos y corresponden a sierras de 1.400-1.600 m de altitud orientadas NE-SO o NNE-SSO, tanto en el Subbético como en el Dominio de Alborán (Figs. 1 y 2).

La caída generalizada del relieve localizada en la terminación SO del Subbético y del Dominio de Alborán, coincide espacialmente con el trazado de la falla normal de Colmenar (Luján *et al.*, 2000) y de la falla de salto en dirección de Gaucín (El Adraoui *et al.*, 2007; Balanyá *et al.*, 2007; Fig. 1). En la zona donde el río Guadiaro discurre entre ambas fallas se han detectado valores especialmente altos de los índices morfológicos estudiados (Balanyá *et al.*, 2012).

Estructura y cinemática de la Zona de Falla de Gaucín

La Zona de Falla de Gaucín (ZFG) aflora a lo largo de 21 km entre Gaucín y la costa, con una orientación general ONO-ESE (Fig. 2). Mientras la terminación oeste de la ZFG se identifica cerca de dicha localidad (Balanyá *et al.*, 2007), por el otro lado su trazado bajo el mar ha sido identificado 10 km al ESE de Estepona, a partir de perfiles sísmicos (Suades *et al.*, 2012). Si bien se ha considerado que la ZFG es parte de un sistema de fallas de salto en dirección conjugadas ONO-ESE y ENE-OSO (Balanyá *et al.*, 2007), lo que es congruente con nuestros resultados (Fig. 2D), las observaciones realizadas permiten identificar dos segmentos

con características geométricas y cinemáticas específicas.

El segmento occidental de la ZFG, de 12,5 km de longitud, tiene una dirección N130°E. La banda de deformación asociada a este tramo se identifica tanto por la concentración de estructuras frágiles como por la reorientación sistemática de las superficies de referencia (foliación, estratificación, contactos tectónicos) y lineaciones (ejes de pliegues, lineaciones de estiramiento) previas (Fig. 2). La anchura de la zona de falla crece hacia su terminación occidental, entre 0,5 km (Norte de Casares) y 5 km (NO de Gaucín). Las superficies de falla principales son subverticales en la mitad oriental de este tramo y buzan generalmente al NE (45°-85°) en la mitad occidental. Las estructuras menores (estrías y fibras con ángulo de cabeceo muy bajo, y estructuras SC frágiles) y los criterios de escala cartográfica (separación de los contactos a lo largo de las superficies de falla y rotación antihoraria de los marcadores; Fig. 2), indican un movimiento predominante lateral izquierdo. La inflexión antihoraria de las superficies de referencia hacia la traza principal de la ZFG es máxima (70°-80°) en la zona de terminación tanto en el lado Norte como en el lado Sur. Dentro de la zona de falla se han identificado pliegues rectos o vergentes al SO de dirección N120°-150°E en las unidades del Cp. de Flyschs (Fig. 2).

El segmento oriental de la ZFG aflora a lo largo de 8,5 km, con una dirección N100°E. En este tramo la banda de deformación frágil es estrecha (máximo 150 m) y no se identifican rotaciones significativas de los marcadores previos. La superficie de falla principal buza hacia el SSO en la mayor parte del trazado (N100°E/50°S) y es subvertical al Norte de Estepona. Las estructuras menores asociadas (estrías y fibras, estructuras SC) indican un movimiento normal-izquierdo. La mayor parte de las superficies desplazadas por la falla en este tramo (como el contacto Maláguide-Alpujarride), tienen las líneas de corte con un cabeceo menor que el de las estrías (en ambos casos hacia N100°E; Fig. 2), por lo que en este sector el mapa muestra separaciones dextras. Se ha estimado que el salto de falla en este tramo es de 3 km.

Al Sur de la ZFG y paralela a ésta, se identifica otra zona de deformación frágil de 1 km de ancho (Zona de Falla de Casares; Fig. 2). Está formada por un conjunto de superficies de falla subparalelas o anas-

tomosadas con estrías de cabeceo muy bajo (0-30°), que delimitan cuerpos alargados de carbonatos (Dorsal) incluidos en una matriz de materiales poco competentes (Complejo de Flyschs y afines).

Morfología del curso medio y bajo del Río Genal y de la terminación SO de S^a Bermeja

El Río Genal, principal afluente de la margen izquierda del Río Guadiaro (Fig. 1), discurre en su mayor parte por rocas del Dominio de Alborán y atraviesa con un ángulo alto la ZFG. En el sector comprendido en la Fig. 3, el Río Genal presenta dos tramos bien diferenciados por sus características morfológicas (índice Vf de anchura-altura del valle, entre otras; Keller y Pinter, 2002) y el carácter aluvial o no del cauce. Estos tramos se corresponden con el trazado del Río Genal al Norte y al Sur de la ZFG, respectivamente: a) un tramo Norte, no aluvial, valor medio de Vf = 0,54, con una dirección media del cinturón de meandros N030°E; y b) un tramo sur, netamente aluvial (depósitos de hasta 700-1000 m de anchura), de dirección aproximada N-S, con valores de Vf muy superiores a los tramos anteriores (Vf medio = 3,03).

Por otra parte, el mapa del índice SLk (índice normalizado de longitud-gradiente del cauce; Pérez-Peña *et al.*, 2009) señala para esta parte de la cuenca valores altos en el tramo Norte y bajos en el tramo Sur (Fig. 3).

Fuera del perímetro de la cuenca del Río Genal se identifican también tres zonas con valores relativamente altos de SLk (Fig. 3): a) en el bloque Norte del segmento oriental de la ZFG; entre la traza de la ZFG y el vértice de Los Reales; b) entre Casares y el mar, coincidiendo con la Zona de Falla de Casares y zonas próximas de su bloque NE; c) en la zona de la Sierra de Los Canutos al OSO de Estepona (Figs. 2 y 3). Coincidiendo con esta Sierra se localiza la traza axial de un antiformal tardío de eje N-S, atravesado por un río antecedente de dirección E-O (Figs. 2 y 3).

Discusión

El segmento occidental de la ZFG muestra la coexistencia de dos tipos principales de estructuras que consisten, básicamente, en fallas de salto en dirección izquierdo N120°-140°E y pliegues rectos o vergentes al SO de dirección similar (Fig. 2). Esta aso-

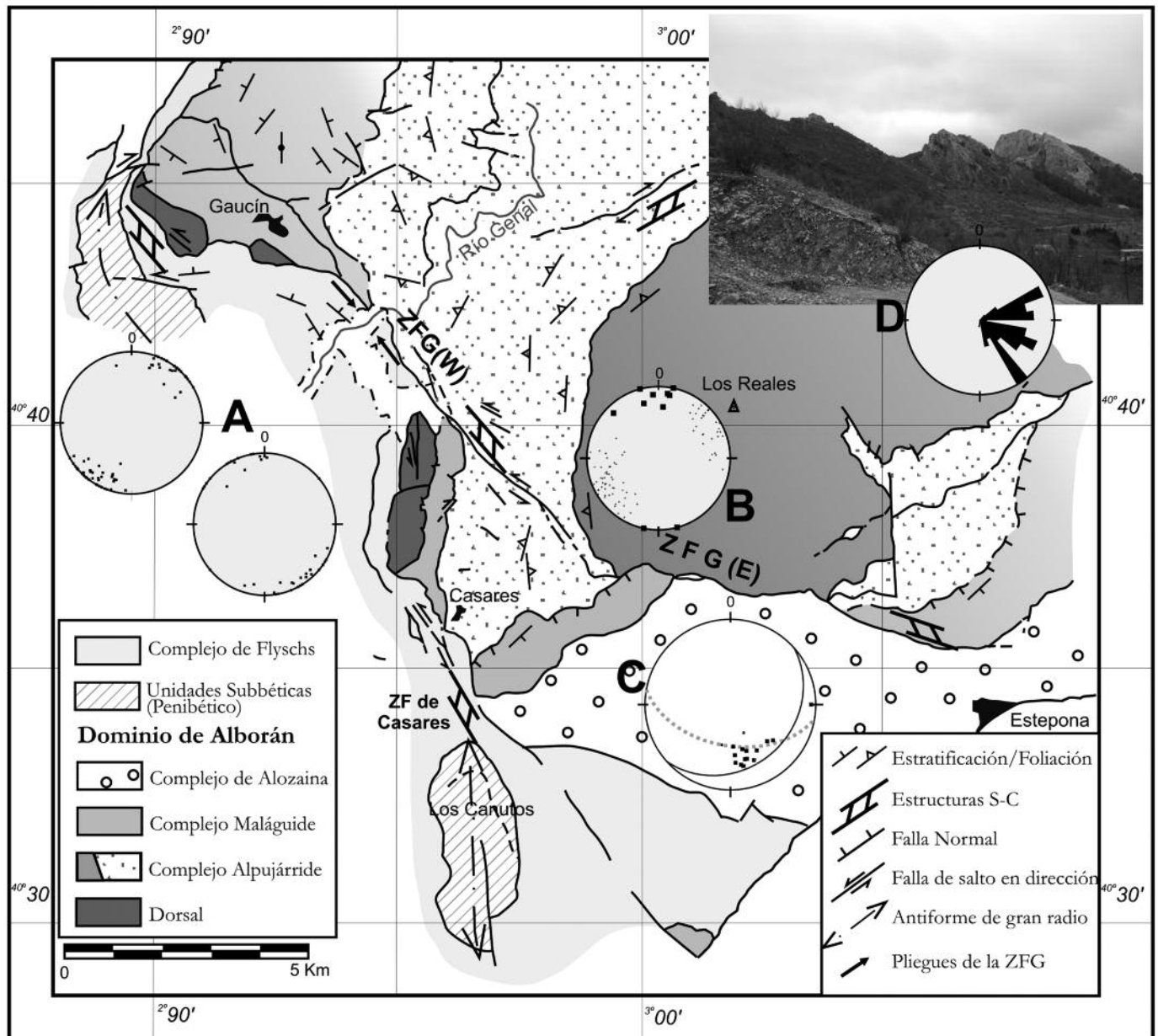


Fig. 2.- Mapa estructural de la zona de falla de Gaucín: A) ejes de pliegues vergentes (Penibético) al N y al S de la ZFG, B) lineaciones de estiramiento alpujárrides en gneises y peridotitas de la ladera occidental de Los Reales fuera (puntos) y dentro (cuadrados) de la ZFG, C) falla principal (línea discontinua), estrías (puntos) y estratificación (línea continua) en el sector oriental, D) fallas conjugadas dextras ENE-OSO e izquierdas NO-SE (base datos de Balanyá et al., 2007 y nuevos datos); fotografía: ejemplo de dos fallas dextras ENE-OSO y de su expresión en el relieve (desplazamiento de las crestas).

Fig. 2.- Structural map of the Gaucín fault zone: A) vergent folds (Penibetic) N and S of the GFZ; B) alpujarride stretching lineations in gneiss and peridotite of the Los Reales western slope out (dots) and within (squares) the GFZ; C) main fault (broken line), striae (dots) and bedding (solid line) in the eastern sector, D) ENE-WSW dextral and NW-SE sinistral conjugate strike-slip faults (data base of Balanyá et al., 2007 and new data); photo: example of two ENE-WSW dextral faults and their topographic expression (off set of mountain crests).

ciación de estructuras, junto con la geometría cabalgante (buzamiento hacia el NE) de algunas de las *splays* y de la propia falla principal al oeste del Río Genal, sugiere que la cinemática de la ZFG en este sector es transpresiva.

Los contactos desplazados por la ZFG en este sector muestran separaciones de signo izquierdo de hasta 4,4 km. Si bien con los datos disponibles no es posible hacer un cálculo riguroso del desplazamiento, es ra-

zonable suponer, dado el cabeceo muy bajo de las estrías, un salto del orden de los 2-4 km.

En el segmento oriental de la ZFG, el buzamiento y el valor medio de las estrías en la parte situada al sur de Los Reales permite estimar un salto de falla normal-izquierdo de 3 km y un salto vertical asociado de 1,6 km, lo que explica que las formaciones del Mioceno inferior discordantes sobre el Complejo Maláguide (Complejo de Alosaina

en figura 2) descansen directamente sobre niveles relativamente bajos del Complejo Alpujárride. En este tramo la traza de la falla coincide con una rotura de pendiente neta y la diferencia de alturas en uno y otro bloque es de hasta 1.200 m. Por otra parte, la geometría y cinemática de las fallas asimilables a la ZFG en el mar es similar a lo identificado en este tramo oriental, con el bloque hundido hacia el SSO, según el sentido del buzamiento (Suades et al., 2012).

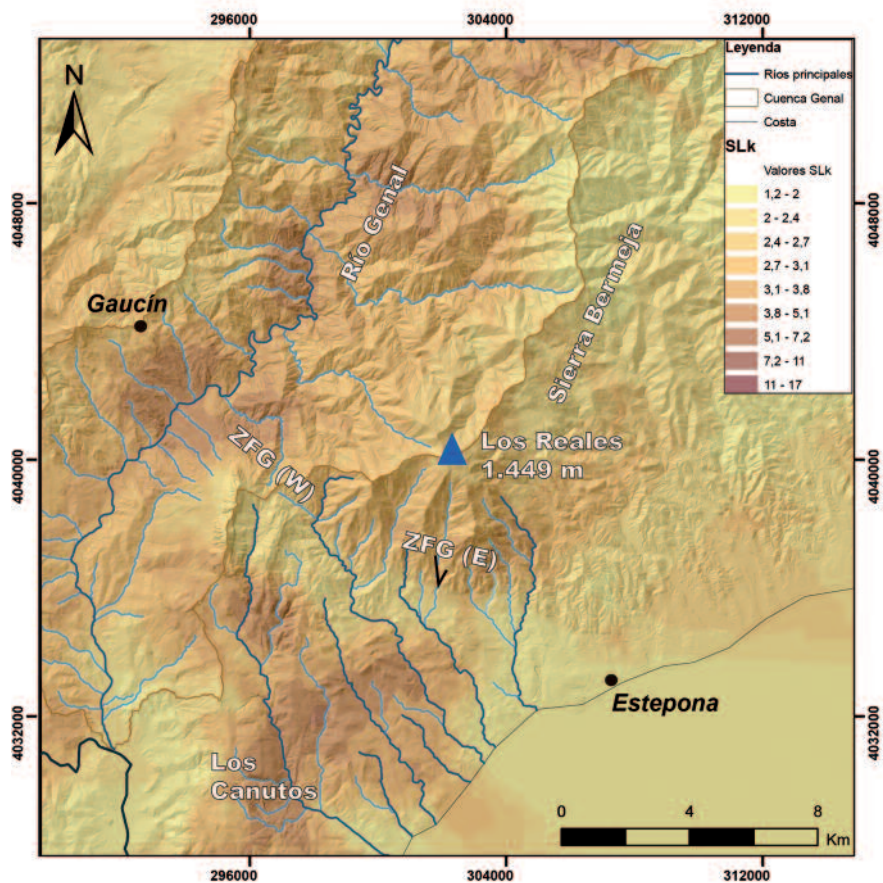


Fig. 3.- Mapa de valores del índice morfológico SLk de la cuenca del Río Genal y sectores adyacentes.
Fig. 3.- SLk index map of the Genal Basin and neighbouring areas.

La traza de la ZFG coincide con un cambio importante en las características morfológicas de la cuenca del Río Genal, dividiendo el cauce en dos tramos. En el tramo situado en el bloque Norte de la ZFG los valores de los índices calculados indican un cauce encajado y con un alto gradiente, lo que es congruente con la posición del bloque relativamente levantado. Fuera del perímetro de la cuenca del Genal, los valores altos del índice SLk en la Zona de Falla de Casares señalan la misma situación para su bloque NE.

La comparación de los resultados obtenidos con otros estudios sobre los controles estructurales de las terminaciones de las alineaciones de relieve subbéticas (Jiménez-Bonilla *et al.*, 2011; Balanyá *et al.*, 2012), sugiere que la segmentación del relieve estructural y topográfico es debido esencialmente al estiramiento paralelo a las directrices estructurales regionales, acomodado tanto por fallas normales como por sistemas conjugados de fallas de salto en dirección (Fig. 2D). En el caso de

la ZFG, el cambio topográfico más notable corresponde a la terminación SO de Sierra Bermeja, controlada por la componente normal del segmento oriental de la ZFG (Fig. 3).

En lo referente a la edad, los criterios de superposición estructural, apoyados en los resultados de los índices geomorfológicos, sugieren que, al igual que en estos otros casos, las estructuras responsables del desnivel estructural y topográfico identificadas en este trabajo han sido activas hasta, al menos, el Mioceno Superior y Plioceno.

Conclusiones

La ZFG se compone de dos tramos de direcciones N130°E y N100°E, y características cinemáticas específicas. A lo largo de toda la ZFG se identifica una componente de desplazamiento izquierdo muy importante. El bloque NE (Dominio de Alborán), además, corresponde al bloque levantado.

El tramo occidental presenta una aso-

ciación de estructuras característica de una zona de cizalla frágil-dúctil transpresiva izquierda, cuya zona de terminación genera una rotación antihoraria de hasta 80° de elementos estructurales de los dos bloques.

El tramo oriental corresponde a una zona de falla normal-izquierda. Tiene un salto vertical asociado de 1,6 km y limita por el sur la alineación montañosa de Los Reales (1.449 m).

La transición entre el curso medio y bajo del Río Genal es brusca y coincide con la traza de la ZFG. Esta situación produce un grado de encajamiento alto ($V_f = 0,5$) del cauce en el bloque NE y un desequilibrio en su perfil longitudinal (máximos del índice SLk). La Zona de Falla de Casares y el Antiforme de la Sierra de Los Canutos se relacionan igualmente con máximos locales del índice SLk.

Los criterios de superposición estructural y las características geomorfológicas apuntan a una edad Mioceno Superior-Plioceno, o más tardía, para las estructuras relacionadas con la ZFG.

Agradecimientos

Trabajo financiado por los proyectos CGL2009-11384, RNM 215, y RNM3713. Nuestro agradecimiento al Dr. J.M. Azañón y a un revisor anónimo por la revisión del manuscrito.

Referencias

Balanyá, J.C., Crespo-Blanc, A., Díaz-Azpiroz, M., Expósito, I. y Luján, M. (2007). *Tectonics* 26, 1-19.
 Balanyá, J.C., Moral, F., Barcos, L., Jiménez-Bonilla, A., Expósito, I., Rodríguez, M., Díaz-Azpiroz, M. (2012). *Geo-Temas* 13, 476-481.
 Barcos, L., Expósito, I., Balanyá, J.C. y Díaz Azpiroz, M. (2012). *Geo-Temas* 13, 507-601.
 El Adraoui, A., Ait Brahim, L. y Sanz de Galdeano, C. (2007). *Geogaceta* 41, 71-74.
 Jiménez-Bonilla, A., Balanyá, J.C., Expósito, I. y Díaz-Azpiroz M. (2011). *Geogaceta* 50, 23-26.
 Keller, E.A. y Pinter, N. (2002). *Active tectonics. Earthquakes, Uplift and Landscape*. Prentice-Hall, New Jersey, 362 p.
 Luján, M., Balanyá, J.C. y Crespo-Blanc, A. (2000). *Comptes Rendues Academie Sciences* 330, 631-638.
 Pérez-Peña, J.V., Azañón, J.M., Delgado, J. y González-Lodeiro, F. (2009). *Earth Surface processes and Landforms* 34, 16-25.
 Suades E., Comas M.C. y Crespo-Blanc, A. (2012). *Geo-Temas* 13, 485- 488.