

# La Zona Transversal de Peñarrubia-Almargen (Béticas): tectónica transpresiva tardía y segmentación del relieve

*The Peñarrubia-Almargen Transverse Zone (Betics): Late transpressive tectonics and relief segmentation*

Alejandro Jiménez-Bonilla, Leticia Barcos, 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.  
ajimbon@upo.es, lbarmur@upo.es, iexpram@upo.es, jcbalrou@upo.es, mdiaazp@upo.es.

## ABSTRACT

The Peñarrubia-Almargen Transverse Zone (PATZ), Western Betics, separates the Torcal Shear Zone (TSZ) from a southwestern domain of different structural trend and style. The PATZ itself is a transpressional band oblique to both domains and its structural trend is defined by WNW-ESE folds and dextral reverse faults. The PATZ consists of two segments depicting an enechelon array connected by a compressive bridge. The control of the PATZ location on the relief segmentation and the age of the rocks affected, suggest that its deformation have occurred from the Upper Miocene to the Recent. The location of the PATZ could be linked to the pre-existence of a mechanical discontinuity in the basement or deep cover, but also could be explained as splays at the TSZ tip that have evolved to a transpressional band related to an eventual far-field vector rotation.

**Key-words:** Transpression, Western Betics, neotectonics.

## RESUMEN

En las Béticas Occidentales, la Zona Transversal de Peñarrubia-Almargen (ZTPA) separa la Zona de Cizalla del Torcal (ZCT) de un dominio suroccidental con diferente estilo y orientación estructural. La propia ZTPA es una banda transpresiva oblicua a ambos dominios y sus directrices estructurales están definidas por pliegues y fallas inversas dexas WNW-ESE. La ZTPA está formada por dos segmentos en escalón conectados por un puente compresivo. El control de la ZTPA sobre la segmentación del relieve y la edad de las rocas involucradas indican una edad de la deformación Mioceno Superior-Actual. La localización de la ZTPA podría relacionarse con una discontinuidad mecánica preexistente en la cobertera profunda o el basamento, pero podría explicarse también como una evolución hacia una banda transpresiva de splays en la terminación de la ZCT por la eventual rotación del far-field vector.

**Palabras clave:** Transpresión, Béticas Occidentales, neotectónica.

Geogaceta, 55 (2014), 7-10.  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 30 de junio de 2013  
Fecha de revisión: 22 de octubre de 2013  
Fecha de aceptación: 29 de noviembre de 2013

## Introducción

En las zonas externas de los orógenos se identifican bandas de deformación oblicuas a las directrices estructurales regionales, que coinciden con cambios laterales en la organización del sistema de pliegues y cabalgamientos. Conocidas como "zonas transversales", pueden ser debidas a cambios reológicos, fallas pre-existentes en el basamento u otras causas (Leslie y Krabbendam, 2009).

Estudios recientes de la rama norte del Arco de Gibraltar han señalado el control estructural en la segmentación del relieve (Jiménez-Bonilla *et al.*, 2012). Una de las discontinuidades estructurales y del relieve más notables de las Béticas occidentales es la denominada Zona Transversal de Peñarrubia-Almargen (ZTPA, Fig. 1)

Los objetivos de este trabajo son la caracterización estructural y cinemática de la

ZTPA a partir de la revisión de la cartografía existente (Cruz-Sanjulián, 1980), y la discusión del significado de esta banda en relación con los dominios estructurales que separa.

## Contexto geológico

Las Béticas se sitúan en la rama norte del Arco de Gibraltar y están originadas por la colisión neógena del Dominio de Alborán (zonas internas) con el paleomargen Sudibérico. Los modelos geodinámicos propuestos para la evolución neógena del Arco incluyen una zona de subducción con retroceso hacia el O y/o delaminación del manto litosférico (Gutscher *et al.*, 2012 y referencias dentro). En el área estudiada (Figs. 1 y 2) afloran principalmente las unidades del paleomargen Sudibérico (zonas externas), sobre las que se sitúan las unidades del Complejo de los Flyschs o afines a ellas

(Martín Algarra, 1987). Estas últimas se emplazaron sobre las unidades del margen durante el evento principal de acreción de la cuña externa orogénica (Mioceno Inferior-Medio). Las unidades del margen forman las principales sierras del sector estudiado, tanto al O de la ZTPA, donde afloran en núcleos antiformales y bloques de techo de fallas inversas (Figs. 1 y 3), como al E, donde los principales relieves coinciden con la Zona de Cizalla del Torcal (ZCT, Barcos *et al.* 2011).

## Estructura de la Zona Transversal de Peñarrubia-Almargen

La ZTPA constituye una banda cartográfica de orientación ONO-ESE, oblicua tanto a las directrices estructurales de la ZCT (N070°-080°E), como a las estructuras SO-NE que se desarrollan en el dominio suroccidental (Fig. 1). Esta banda marca la terminación septentrional de estructuras de acor-

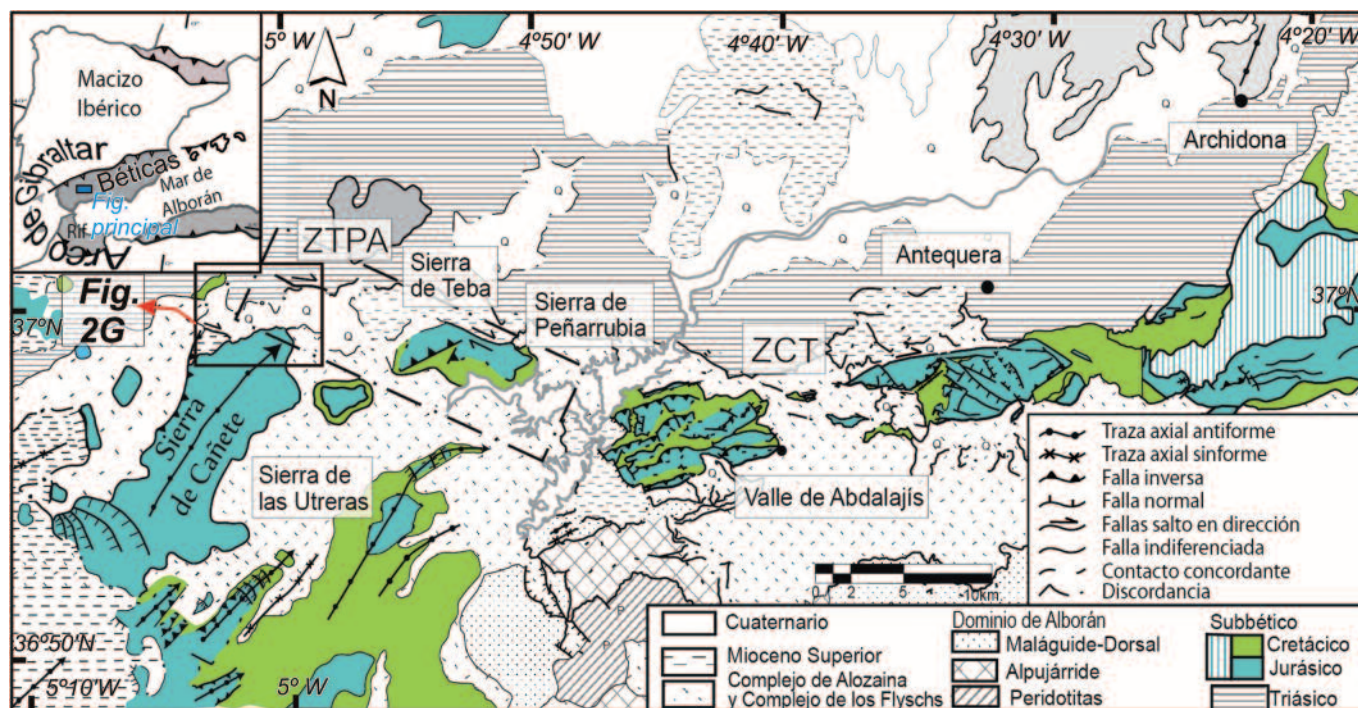


Fig. 1.- Mapa estructural y tectónico de la Zona Transversal y los dominios adyacentes.

Fig. 1.- Structural and tectonic map of the Transverse Zone and nearby domains.

tamiento SO-NE que levantan sierras (p.ej., Sª de Cañete y Sª de las Utreras, Fig. 1). Estas sierras se encuentran segmentadas por estructuras de extensión subortogonales a las directrices orogénicas (Balanyá *et al.*, 2007; Jiménez-Bonilla *et al.*, 2012, Figs 1, 2 y 2E de este trabajo). En su lado oriental, la ZTPA interrumpe la ZCT, interpretada como una banda N070°-080°E de deformación transpresiva dextra (Barcos *et al.*, 2011) que se manifiesta en el paisaje en forma de sierras con dicha orientación (Figs. 1 y 3)

La ZTPA está integrada por dos sectores cuyas directrices estructurales son ONO-ESE (sector Peñarubia-Guadalteba al este Fig. 2, y sector Almargen al oeste, Fig. 2G) que se relevan a favor de un sector central donde las estructuras son de orientación SO-NE (sector Sª de Teba).

En el sector Peñarubia-Guadalteba las directrices estructurales están determinadas por pliegues y fallas de orientación ONO-ESE (Fig. 2). Los pliegues son de escala kilométrica y las rocas más jóvenes involucradas en ellos son de edad Mesiniense (Martín *et al.*, 2001). Dentro de este tren de pliegues, está el antiforme de Peñarubia de orientación N110°E, en cuyo núcleo afloran las calizas jurásicas que configuran la sierra del mismo nombre (Fig. 2).

El flanco norte del antiforme de Peñarubia está cortado por planos de falla de orientación aproximada N110°E, subparalelos al

eje del pliegue, que producen el escarpe que limita por el NE el relieve de la Sª de Peñarubia. Estas fallas presentan buzamientos entre 50° y 80° hacia el SO, sobre los que se observan dos juegos de estrías: uno de ellos está más desarrollado e indica una fuerte componente en buzamiento con salto inverso, mientras que el otro tiene un cabeceo de entre 5° y 50°SE (Fig. 2A) y está acompañado de un intenso desarrollo de fracturas *comb*. Estas fracturas tienen una separación milimétrica y un espaciado decimétrico y están rellenas de calcita. En este último juego de estrías no se observan criterios que indiquen el sentido de movimiento de la falla, pero hacia el NO, en la terminación NE de la Sª de Teba, las estrías que se observan sobre planos de falla son de similar orientación (N130°E/80° SO) lo que junto con los criterios cinemáticos observados indica una cinemática dextra-inversa (Fig. 2). Esta cinemática es congruente con el levantamiento de la Sª de Peñarubia respecto a materiales más recientes al NE. Al norte de la sierra, se observan también planos de falla de orientación N110°E que buzán entre 20° y 40° hacia el NE, cuyas estrías indican una componente principal en buzamiento y sentido normal (Figs. 2 y 2B).

El escarpe NE de la sierra está desplazado por fallas normales con buzamientos entre 30° y 80°, que también constituyen el límite SE de la sierra (Fig. 2B). Se organizan

en dos sistemas, uno de orientación NNO-SSE con buzamientos hacia el ENE y otro de orientación OSO-ESE, con buzamientos hacia el NNE (Fig. 2B).

En el interior de la sierra hay fallas de buzamiento entre 70° y 90° y orientaciones muy variables, aunque parecen distribuirse en dos sistemas, uno de orientación media SO-NE y otro, menos representado, de orientación NNO-SSE (Fig. 2C). Las estrías observadas son sub-horizontales (cabeceos inferiores a 25°) y presentan haces de fibras de calcita que indican un salto predominantemente dextro (Fig. 2C). La dirección de acortamiento que acomodan las fallas de salto en dirección, tanto en el interior como en el límite de la Sª de Peñarubia, es NO-SE (Figs. 2A y 2C).

En el antiforme de Peñarubia, la Fm. Capas Rojas está deformada por pliegues *chevron* de escala métrica, con desarrollo de foliación de plano axial. Son vergentes al N o NO, independientemente del flanco del antiforme de Peñarubia sobre el que se encuentren, lo que descarta que se hayan generado como pliegues de orden menor de esta estructura tardía. Adicionalmente, su localización en la secuencia y su geometría permite correlacionarlos con estructuras previas, generadas durante el emplazamiento de las Unidades del Complejo de los Flyschs sobre las unidades del paleomargen (Expósito *et al.*, 2012), que han sido posterior-

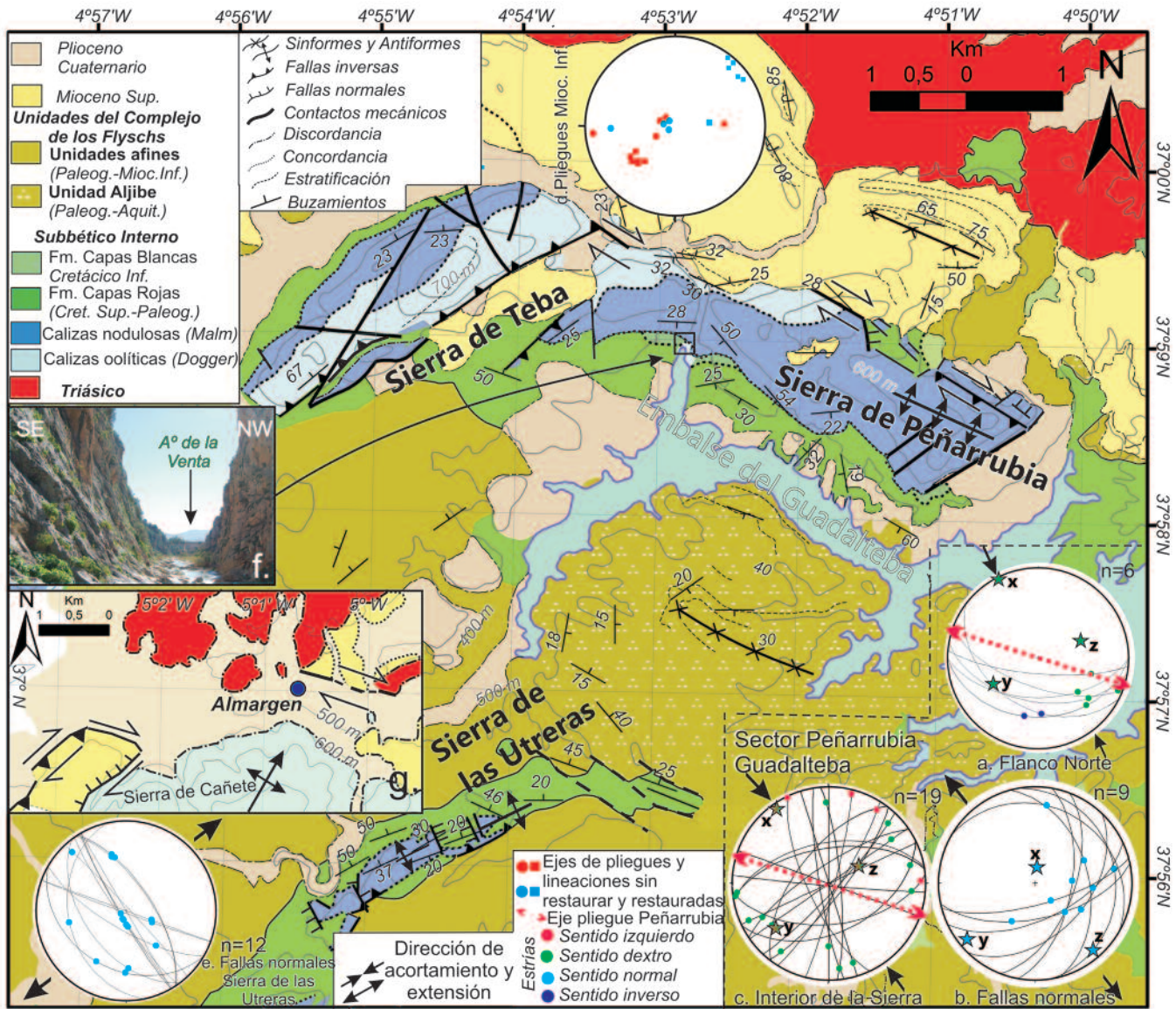


Fig. 2.- Mapa geológico del sector Teba-Peñarubia y proyecciones estereográficas (a), (b), (c), (d) and (e). Mapa geológico del sector Almargen (g).  
 Fig. 2.-Geological map of the Teba-Peñarubia area and stereographic plots of the main structures (a), (b), (c), (d) and (e). Geological map of the Almargen sector (g).

mente interferidas por este pliegue tardío. Estos pliegues tienen ejes y lineaciones de intersección NE-SO, una vez restituidos (Fig. 2D).

En el área cartografiada, las fallas y pliegues NO-SE del sector Peñarubia-Guadalteba, truncan e interfieren respectivamente al antiforme de la S<sup>a</sup> de las Utreras, de dirección N055°E. (Fig. 2). Este antiforme pertenece al conjunto de estructuras de acortamiento de orientación SO-NE que caracterizan el dominio suroccidental, responsables de la alternancia de sierras (ej., la S<sup>a</sup> de Cañete) y valles (Figs. 1 y 3). Por el NE, tanto estas estructuras como sus relieves asociados (Fig. 3) terminan en una zona de falla de orientación N110°-130°E, que constituye el sector de Almargen, el más occidental de

la ZTPA (Figs. 1 y 2G). En esta zona de falla se miden planos que buzcan entre 70° y 90° hacia el SO. Sobre estos, se desarrollan estrías con cabeceos de 0°-30° que indican sentido dextro. Hacia el este, la zona de falla se oculta bajo el aluvial del A° Almargen cuyo curso se inflexiona al paso por la zona de falla, haciéndose paralelo a esta (Figs. 1, 2 y 3).

El sector de Almargen y el de Peñarubia-Guadalteba están conectados por el sector S<sup>a</sup> de Teba (Figs. 1 y 2). Este sector está constituido por el antiforme de Teba, de escala kilométrica, cuyo eje N065°E, es subperpendicular a los dos sectores que conecta (Fig. 2). Este antiforme es cortado en su flanco SE por una falla inversa N060°E y buzamiento de más de 50°NO (Fig. 2). Sobre este plano

se han medido estrías con un cabeceo de 60°NE. En la terminación occidental de la S<sup>a</sup> de Peñarubia se observa otra falla inversa de orientación similar, aunque buzante al SE, con componente izquierda (Fig. 2). Ambas fallas inversas cortan sedimentos del Mioceno Superior (Fig. 2). Dentro de la S<sup>a</sup> de Teba se desarrolla un sistema de fallas normales de orientación NO-SE, subperpendiculares a las estructuras de acortamiento descritas.

### Discusión

La orientación ONO-ESE del sector Peñarubia-Guadalteba está determinada tanto por la dirección de fallas de componente lateral dextro, concentradas en el límite NE de

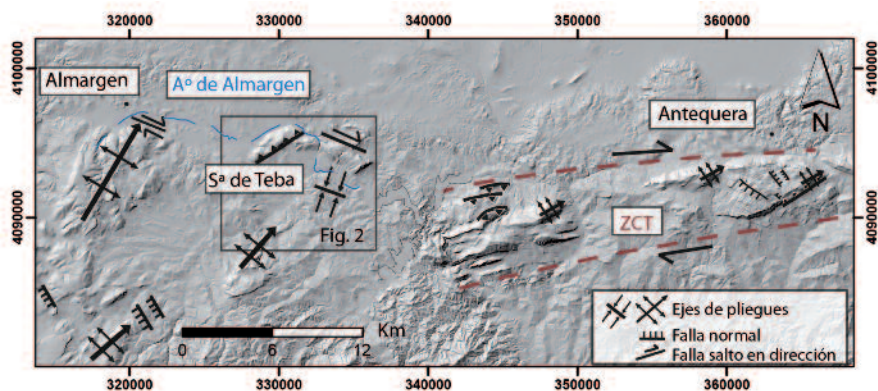


Fig. 3.- Mapa de relieve mostrando la estructura de la ZTPA y de los dominios adyacentes.

Fig. 3. - Relief map showing the ZTPA structure and the nearby domains.

la Sª de Peñarrubia, como por la de estructuras de acortamiento paralelas (Fig. 2). Subperpendiculares a estas estructuras, se desarrollan fallas normales que contribuyen a una extensión paralela a la orientación de la ZTPA en el sector Peñarrubia-Guadalteba. A partir de criterios de superposición estructural puede deducirse que estas estructuras han actuado simultáneamente. Por otra parte, todas estas estructuras afectan a sedimentos del Mesiniense.

Si consideramos el conjunto de estructuras de edad Mesiniense Superior-Actual, resulta consistente con la interpretación del sector Peñarrubia-Guadalteba como una banda de deformación transpresiva dextra, donde las estructuras de acortamiento y las de componente lateral acomodan el reparto de la deformación transpresiva.

La actividad reciente de estas estructuras explica la segmentación del relieve generada por la ZTPA (Fig. 3), así como la incisión de algunos ríos antecedentes a los pliegues de Teba y Peñarrubia, como por ejemplo el Aº de la Venta (Fig. 2F).

Este sector es interrumpido por el NO por las estructuras de acortamiento SO-NE del sector de la Sª de Teba, a partir del cual, la banda de deformación es relevada hacia el oeste por una zona de falla de componente horizontal dextra de igual orientación ONO-ESE (sector de Almagren) (Figs. 1 y 3). Esta zona de falla ejerce una influencia notable en el relieve topográfico, ya que supone la terminación de los relieves SO-NE del dominio occidental y condiciona el trazado del cauce del río Almagren que se inflexiona para orientarse paralelamente a la zona de falla (Fig. 3). Esta influencia en el relieve sugiere que la actividad de esta zona de falla es simultánea a la de la banda de estructuras de Peñarrubia-Guadalteba. En este con-

texto, el sector de Almagren y el sector de Peñarrubia-Guadalteba se interpretan como dos segmentos de una zona transversal de componente dextra, cuyo relevo en escalón da lugar a la generación de un puente compresivo (Gamond, 1987) conectando ambos segmentos, localizado en el sector de la Sª de Teba (Figs. 2 y 3). La edad deducida para las estructuras de la ZTPA es similar a la de la ZCT (Barcos *et al.*, 2011), y a las del dominio suroccidental (Jiménez Bonilla *et al.* 2011).

La localización, orientación y cinemática dextra de la ZTPA permitiría interpretarla en relación con la terminación occidental de la ZCT. En este contexto, formaría parte de un abanico inicial de *splays* sintéticas dexas y convergentes hacia la ZCT (Kim y Sanderson, 2006). Posteriormente, la ZTPA podría haber alcanzado una cinemática transpresiva a partir de una moderada reorientación horaria del vector desplazamiento (*far-field displacement vector*; Jones *et al.*, 2004) desde una orientación ONO calculada en la adyacencia ZCT (Barcos *et al.*, 2013).

Adicionalmente, su localización, podría estar relacionada con la existencia en la misma vertical de una discontinuidad litosférica ("tear fault", Meighan *et al.*, 2013).

## Conclusiones

La ZTPA constituye una banda de deformación transpresiva dextra, oblicua a las directrices estructurales que caracterizan los dos dominios que separa.

La edad Mesiniense de las rocas deformadas por la ZTPA y la influencia de esta banda en la segmentación del relieve, indican que ha debido ser activa de forma simultánea a las estructuras que configuran tanto el dominio suroccidental, como la ZCT.

Los sectores de Peñarrubia-Guadalteba y Almagren constituyen dos segmentos de la ZTPA de orientación ONO-ESE, que se disponen en escalón conectados por un puente compresivo localizado en el sector de la Sª de Teba.

La localización de esta ZTPA puede estar en relación con una evolución a zona transpresiva de la zona de terminación de la ZCT, o bien estar controlada por la existencia de discontinuidades en la cobertera profunda o el zócalo.

## Agradecimientos

Agradecemos la revisión del manuscrito a L. Eguiluz y G. Booth-Rea. Trabajo financiado por los proyectos CGL2009-11384, RNM 215, y RNM3713.

## Referencias

- Balanyá, J.C., Crespo-Blanc, A., Díaz-Azpiroz, M., Expósito, I. y Luján, M. (2007). *Tectonics* 26, 1-19.
- Barcos, L., Díaz-Azpiroz, M., Balanyá, J.C. y Expósito, I. (2011). *Geogaceta* 50, 31-34.
- Barcos, L., Díaz-Azpiroz, M., Faccena, C., Expósito, I. y Jiménez-Bonilla, A. (2013). *Geophysical Research Abstracts* 15, EGU2013-10838.
- Cruz San Julián, J. (1980). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 1.037 (Teba) y memoria*. IGME, Madrid, 89 p.
- Expósito, I., Balanyá, J.C., Crespo-Blanc, A., Díaz-Azpiroz, M. y Luján, M. (2012). *Tectonophysics* 576-577, 667-679.
- Gamond, J.F. (1987). *Journal of Structural Geology* 9, 609-620.
- Gutscher, M.A., Dominguez, S., Westbrook, G.K., Le Roy, P., Rosas, F., Duarte, J.C., Terrinha P., Miranda, J.M., Graindorge, D., Gailler, A., Sallares, V. y Bartolome, R. (2012). *Tectonophysics* 574-575, 72-91.
- Jiménez-Bonilla A., Balanyá J.C., Expósito I. y Díaz-Azpiroz (2012). *Geo-Temas* 13, 499-503.
- Jones R. R., Holdsworth R.E., Clegg P., McCaffrey K. y Tavarnelli E. (2004). *Journal of Structural Geology* 26, 1531-1548.
- Kim, S. y Sanderson, D.J. (2006). *Terra Nova* 18, 330-344.
- Leslie, A.G. y Krabbendam, M. (2009). *Bollettini Società Geologica Italiana* 128, 295-306.
- Martín M., J., Braga J.C. y Betzler C. (2001). *Terra Nova* 13, 418-424.
- Martín-Algarra A. (1987). *Evolución geológica alpina del contacto entre las zonas internas y externas de la Cordillera Bética*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 1171 p.
- Meighan, H., Brink, U. y Pulliam, J. (2013). *Geophysical Research Letters* 40, 4244-4248.