

# Geometría y Cinemática de un Sistema Imbricado de Cabalgamientos en la Faja Pirítica Ibérica (Zona Sudportuguesa)

Geometry and Cinematics of the Fan Imbricated Thrust System in the Iberian Pyrite Belt (South Portuguese Zone)

E.M. Mantero <sup>(1)</sup>, F.M. Alonso-Chaves <sup>(1)</sup> y A. Azor <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Geodinámica y Paleontología, Universidad de Huelva. Avda. de las Ciencias s/n, 21007 Huelva. elena.mantero@dgyp.uhu.es; alonso@uhu.es.

<sup>(2)</sup> Departamento de Geodinámica, Universidad de Granada. Campus de Fuentenueva, 18002 Granada. azor@ugr.es.

## ABSTRACT

The Puebla de Guzmán and Valverde del Camino Anticlines consist of fault-propagation folds linked to a frontal thrust system striking N110°E. In the Puebla de Guzmán Anticline, the thrust system has a fan imbricated geometry and represents a  $\approx 40$  km-long and 4-5 km-wide frontal ramp; its internal structure results from the tectonic stacking of thrust sheets with normal stratigraphic polarities. Some thrusts show relay geometries, as for example the Valdecasajos and the Sierra de la Estrella Thrusts. An antiform-siniform system is developed in the intervening thrust sheet. Fault-propagation folds are very conspicuous in the hanging wall of most internal thrusts, where a rather continuous reverse limb is present. Both thrust system and fault-propagation folds, as well as a locally developed crenulation cleavage, were generated in a second tectonic phase.

Key words: Thrust system, imbricated fan, Iberian Pyritic Belt, South Portuguese Zone, Variscan Orogeny.

Geogaceta, 39 (2006), 47-50  
ISSN: 0213683X

## Introducción

Este artículo se centra en la descripción de la geometría y cinemática del sistema de cabalgamientos variscos que configura el borde meridional del Anticlinal de La Puebla de Guzmán (APG). Los datos aquí expuestos se derivan de estudios de campo detallados, desarrollados en áreas diversas, basados en una cartografía a escala 1:25.000 en el sector de Villanueva de los Castillejos, así como en el análisis de numerosos datos estructurales. Estudios previos (Soriano y Casas, 2002) ofrecen resultados similares en cuanto a la geometría general de los sistemas de cabalgamiento, pero no así en lo que respecta a la atribución de estructuras a fases tectónicas concretas dentro del proceso de deformación progresiva que experimenta esta región, de posición relativamente externa dentro de la Cadena Varisca Europea.

## Localización y Marco Geológico: La Faja Pirítica Ibérica

La Zona Sudportuguesa (ZSP) está integrada por materiales de edad Devónico superior a Pérmico, constituyendo el afloramiento más meridional del Orogéno Varisco Europeo (Fig. 1). De Sur a Norte, se diferencian tres dominios tectónicos en dicha región: el Grupo del SO Portugués, la Faja Pirítica Ibérica

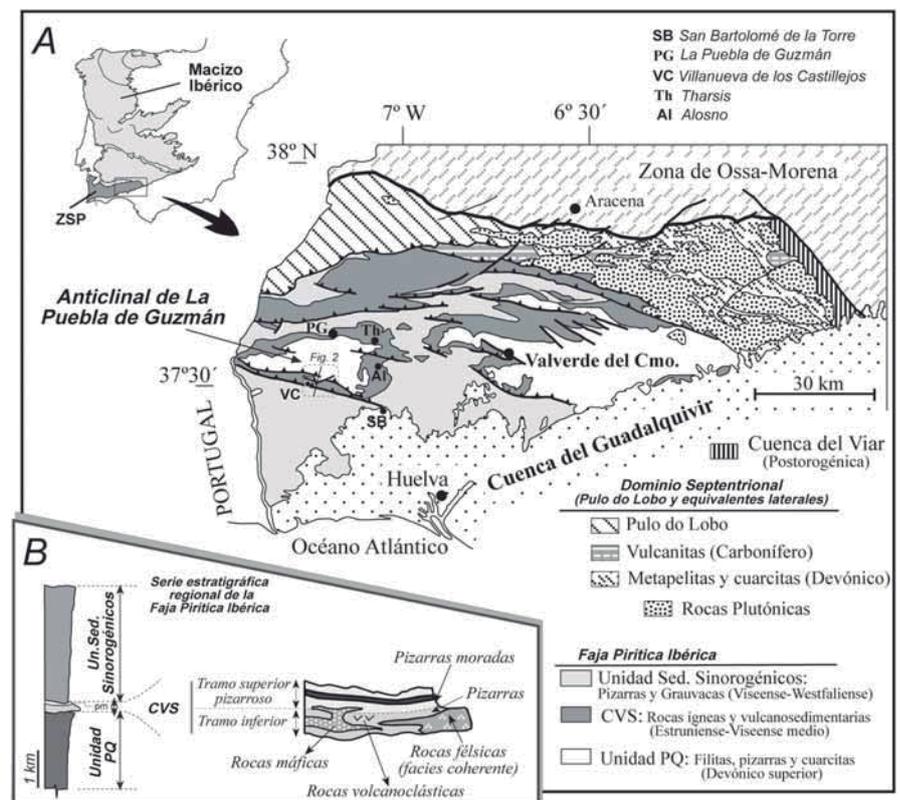


Fig. 1.- A. Localización y esquema tectónico del sector español de la Zona Sudportuguesa (basado en Alonso-Chaves *et al.*, 1999). B. Serie estratigráfica de la FPI y composición del CVS en el área de estudio.

Fig. 1.- Location and tectonic sketch of the Spanish side of the South Portuguese Zone (based on Alonso-Chaves *et al.*, 1999). B. Stratigraphic series for the IPB and composition of the CVS in the studied area.

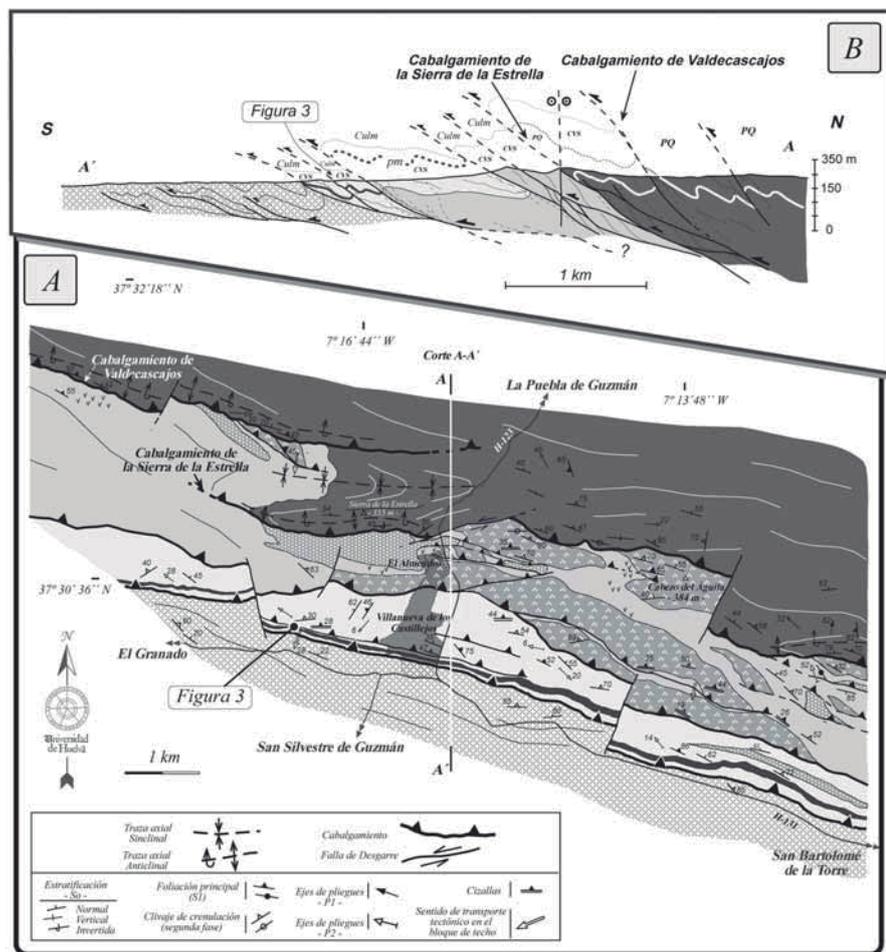


Fig. 2.- A. Mapa geológico del entorno de Villanueva de los Castillejos (ver situación en Fig. 1). B. Corte geológico transversal al sistema imbricado de cabalgamientos que define una rampa frontal en el borde sur del APG.

Fig. 2.- A. Geological map of Villanueva de los Castillejos surroundings (see location in Fig. 1). B. Geological cross section to the imbricated thrust system defining a frontal ramp in the southern margin of APG

(FPI), y el Dominio Septentrional. Este último incluye las Unidades del Antiforme del Pulo do Lobo, el Batolito de la Sierra Norte de Sevilla y sus metasedimentos encajantes (Alonso-Chaves *et al.*, 1999). La FPI, una provincia metalogénica de primer orden por sus enormes reservas de sulfuros masivos, constituye el dominio central y el más amplio dentro de la ZSP. El grado de metamorfismo, la edad y la intensidad de la deformación tectónica aumentan progresivamente hacia el Norte.

La serie estratigráfica regional de la FPI (Schemerhorn, 1971) incluye tres unidades tectoestratigráficas de características litológicas y tectónicas contrastadas (Fig. 1). La unidad inferior o Unidad PQ consiste en una alternancia monótona de pizarras, filitas y cuarcitas del Devónico superior. Esta unidad es más heterogénea hacia techo, donde aparecen niveles conglomeráticos y lentejones de

material detrítico carbonatado. Por encima de ella, se sitúa el Complejo Vulcanosedimentario (CVS), integrado por una sucesión de pizarras y material vulcanoclástico de edad Estruniense-Viseense medio, en la que se interdigitan cuerpos de rocas félsicas y máficas de composiciones diversas, así como depósitos de sulfuros masivos. Un nivel guía situado muy cerca del techo de esta unidad son las Pizarras Moradas. La serie culmina con la Unidad de Sedimentos Sinorogénicos (Grupo Culm), depositados a partir del Viseense medio, formados por una sucesión monótona de pizarras y grauvacas.

Los Anticlinales de la Puebla de Guzmán y Valverde del Cmo. (Fig. 1), constituyen las estructuras tectónicas mayores en la mitad oriental de la FPI. Ambas estructuras tienen un estilo muy similar, representativo de la tectónica de tipo «thin-skinned» que caracteriza la defor-

mación en toda la ZSP (Ribeiro y Silva, 1983; Silva *et al.*, 1990; Quesada, 1998; Simancas *et al.*, 2003). Estos dos pliegues están relacionados con sistemas de cabalgamientos frontales de dirección N100-120°E (Mantero *et al.*, 2003; Mantero *et al.*, 2004). Los dos antiformes tienen dimensiones kilométricas, y el núcleo está constituido por rocas de la Unidad PQ. En los cierres periclinales occidentales se forman pliegues menores, con una suave inmersión hacia el Oeste. Una característica propia del APG es su amplio cierre oriental, cuya compleja traza cartográfica se relaciona con una rampa lateral de orientación NNE-SSO (Alonso-Chaves *et al.*, 1999; Soriano y Casas, 2002).

### Sistema de Cabalgamientos: Rampa Frontal

El borde meridional del APG se extiende desde unos kilómetros al Oeste de El Granada hasta San Bartolomé de la Torre, ocupando una franja de algo más de 40 km de longitud. En este sector las tres unidades que integran la FPI han sido superpuestas tectónicamente mediante cabalgamientos con movimiento al S-SO. Muchos de ellos aparecen concentrados dentro de la banda de afloramiento del CVS (Fig. 2A). Las diferencias reológicas dentro de esta unidad (rocas félsicas o máficas de facies coherentes, incluidas en una secuencia de pizarras) parecen ejercer un importante control sobre la distribución de los cabalgamientos. En detalle, éstos muestran geometrías anastomosadas, existiendo gran número de superficies menores que se entrelazan y generan morfologías sigmoidales. En conjunto, dichos cabalgamientos muestran una disposición geométrica en abanico imbricado (Fig. 2B), con una disminución progresiva en su buzamiento desde el sector más septentrional (40-45°N) hacia el Sur (20°N). Sin embargo, su dirección experimenta pocas variaciones, manteniéndose próxima a N110°E.

El sistema de cabalgamientos ha sido ligeramente retocado por fallas de desgarre de distinta orientación (desde N80°E a N-S), que desplazan ligeramente sus trazas cartográficas y modifican localmente la orientación de elementos estructurales de referencia.

En la parte más alta de este sistema imbricado, las rocas de la Unidad PQ aparecen superpuestas tectónicamente sobre el CVS. En el área al Norte de El Almenro este contacto consiste en dos superficies de cabalgamiento dispuestas en relevo: los cabalgamientos de Valdecasajos,

al Norte, y de la Sierra de la Estrella, al Sur. Ambos cabalgamientos definen una zona de rampa frontal, tanto para el bloque de techo como para el de muro (Fig. 2A).

#### El Cabalgamiento de Valdecasajos

Al NO de El Almendro, se observa una superficie de cabalgamiento que sitúa una secuencia de pizarras con algunos estratos de cuarcitas de hasta 30 cm de potencia (Unidad PQ) sobre materiales de diversa composición (rocas volcanoclásticas, félsicas coherentes e intrusiones máficas incluidas en una secuencia de pizarras) pertenecientes a la base del CVS. Esta estructura, denominada Cabalgamiento de Valdecasajos, tiene una longitud de al menos 10 km y termina lateralmente hacia el Este en el meridiano de El Almendro. Su orientación media es N110°E/36°N, y es característica la presencia de un flanco inverso en su bloque de techo que se recupera rápidamente, describiendo un antiformal de propagación de relativa continuidad lateral. En su bloque de muro, hay una banda de unos 15 m de espesor con deformación intensa, en la que incluso se desarrollan fábricas plano-lineares. La lineación de estiramiento es paralela a la dirección de transporte tectónico regional (S-SO). La presencia de numerosas estrías sobre las superficies de cabalgamiento y otros criterios como el arrastre de la foliación principal ( $S_1$ ) sobre fallas de bajo buzamiento asociadas al cabalgamiento principal (falsas estructuras S-C), indican un movimiento general al S-SO. Las relaciones entre la  $S_0$  (o las superficies envolventes a los pliegues menores) y el cabalgamiento evidencian la existencia de una zona de rampa frontal del sistema de cabalgamientos (Fig. 2B).

#### El Cabalgamiento de la Sierra de la Estrella

La cartografía detallada en el entorno de Villanueva de los Castillejos y El Almendro permite observar la existencia de relevos laterales entre algunos cabalgamientos que definen la parte más alta del sistema imbricado frontal del APG.

Aproximadamente 1-2 km al NO de El Almendro el Cabalgamiento de Valdecasajos es relevado por una estructura equivalente de posición algo más meridional: el Cabalgamiento de la Sierra de la Estrella. Este último tiene más de 10 km de longitud, extendiéndose más allá del área cartografiada en la figura 2A. Su traza es desplazada ligeramente por varias fallas de desgarre, pero mantiene una

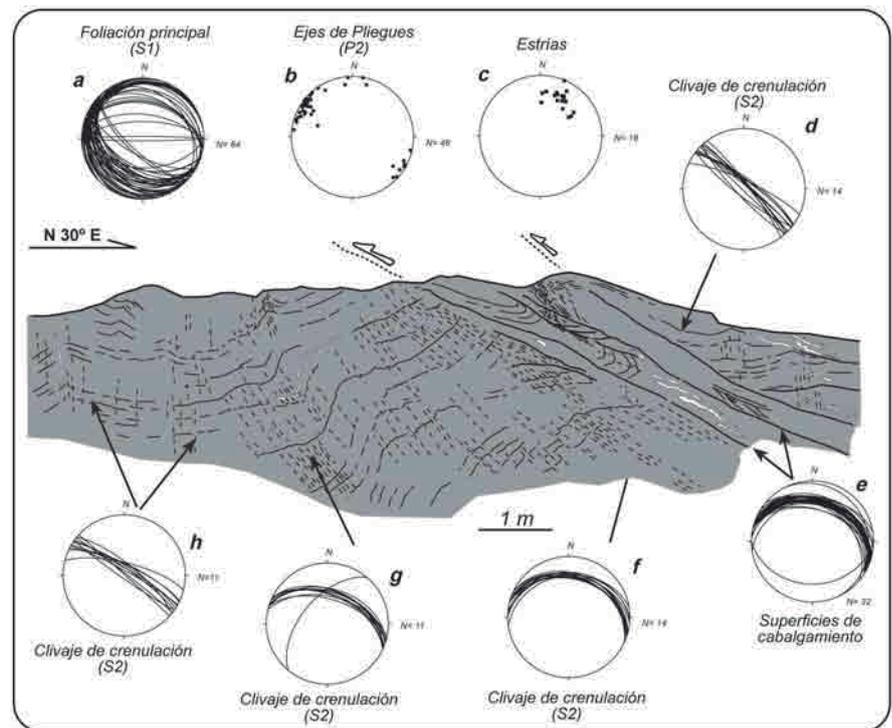


Fig. 3.- Esquema que muestra la  $S_1$  plegada y la distribución en abanico de la  $S_2$  respecto a la superficie de cabalgamiento cuya posición se marca en la figura 2A. Se muestra la orientación de diversos elementos estructurales en este punto (proyección equiareal, hemisferio inferior).

Fig. 3.- Sketch showing folded  $S_1$  planes and the fan distribution of  $S_2$  with regard to the thrust surface located in figure 2A. Orientation of several structural features at that point is shown (equal area projection, lower hemisphere).

orientación media N105°E/42°N, similar a la del Cabalgamiento de Valdecasajos. De igual modo que en éste, se observa un flanco inverso bastante continuo perteneciente al pliegue antiformal de propagación generado en el bloque de techo del cabalgamiento por la traslación producida sobre su rampa frontal.

#### Geometría interna de las Láminas Cabalgantes

La arquitectura de este sistema de cabalgamientos imbricados viene dada por el apilamiento de láminas tectónicas enraizadas hacia el norte, en las que se ha desarrollado una deformación interna previa a los cabalgamientos. Las estructuras asociadas a la primera fase de acortamiento son pliegues asimétricos, vergentes al Sur, con una foliación de plano axial ( $S_1$ ). La  $S_1$  aparece plegada localmente por una fase posterior, que origina pliegues de segunda generación (P2, Figs. 3a y b), así como un clivaje de crenulación ( $S_2$ ).

Uno de los rasgos más significativos obtenidos del análisis de los datos estructurales es que todas las láminas tectónicas del sector se encuentran en posición estructural y estratigráfica normal, aunque

existen inversiones locales en la polaridad estratigráfica, localizadas en el flanco corto de algunos pliegues vergentes al Sur.

En la zona de relevo lateral entre los cabalgamientos de Valdecasajos y Sierra de la Estrella, se ha originado un par de pliegues anticlinal-sinclinal dentro del bloque de techo de este último. El contacto PQ-CVS marca bien la geometría de estos pliegues de propagación de los cabalgamientos, menos evidentes en otras zonas por la ausencia de marcadores estratigráficos. El anticlinal frontal tiene una geometría apretada, con un flanco sur invertido, mientras que el sinclinal que le sucede es más abierto.

#### Ejes Principales de Deformación

Los datos de campo indican una estrecha relación entre la posición de los cabalgamientos y la distribución e intensidad de las estructuras ligadas a la segunda fase tectónica (ej.  $S_2$ ). En algunos puntos, se observa incluso una distribución en abanico de la  $S_2$ , cuyo buzamiento desciende progresivamente al aproximarnos al cabalgamiento (Fig. 3). Estos datos, junto con la existencia de arrastres de la  $S_1$  ligados a fallas relacionadas con los

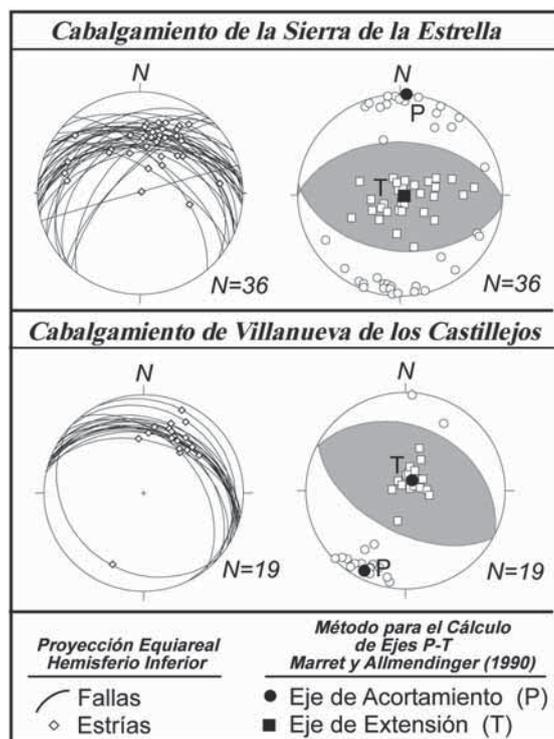


Fig. 4.- Orientación de las cizallas y estrías en los cabalgamientos de La Sierra de la Estrella y en el situado al Norte del de Villanueva de los Castillejos (Fig.3). Posición de los ejes P-T calculados en cada caso.

Fig. 4.- Orientation of shears and slickensides in the La Sierra de la Estrella Thrust and to the north of Villanueva de los Castillejos Thrust (Fig. 3). Orientation of P-T axis calculated for each case.

cabalgamientos (falsas estructuras S-C), sugieren que el sistema imbricado se generó durante una segunda fase tectónica, posterior a la foliación principal. Los pliegues P2 (Fig. 3b) tienen sus ejes contenidos en el plano de las superficies de cabalgamiento (Fig. 3e), e inclinaciones en ambos sentidos, predominando al NO. Esto también sugiere que los P2 y los cabalgamientos se generaron en el mismo episodio de acortamiento.

La orientación de los ejes principales de deformación (Fig. 4) en la zona de estudio se ha realizado a partir de la orientación de los cabalgamientos y de sus estrías. Éstas indican una componente principal de salto en buzamiento (Figs. 3c y 4) y los criterios cinemáticos indican traslación hacia el SO para el bloque de techo. El eje de máximo acortamiento obtenido (Fig. 4) es casi horizontal, lo que confirma la interpretación de la estructura como un apilamiento de láminas tectónicas (Soriano y Casas, 2002), que no han sido plegadas posteriormente.

## Conclusiones

El borde meridional del APG está constituido por un sistema imbricado de cabalgamientos de dirección N110°E y

movimiento del bloque de techo hacia el S-SO. Dicho sistema integra numerosas superficies menores de cabalgamiento, que en detalle muestran geometrías anastomosadas y que disminuyen progresivamente su buzamiento desde el sector más septentrional (40°N) hacia las zonas externas y meridionales (20°N). El sistema de cabalgamientos superpone la Unidad PQ sobre el CVS, y éste, a su vez, sobre los sedimentos del Viseense medio-superior, mostrando una geometría de rampa, tanto para el bloque de techo como para el de muro.

El desarrollo de este tipo de sistemas imbricados de cabalgamiento es congruente con una tectónica de tipo «thin-skinned», en la cual el acortamiento total se genera por la suma de saltos discretos distribuidos en numerosas fallas. La génesis de este sistema imbricado de cabalgamientos se puede considerar ligada a la segunda fase de deformación que tuvo lugar en la mitad meridional de la FPI. Esto se confirma por dos hechos: (i) la existencia de estructuras de una fase anterior de deformación, como es la foliación principal ( $S_1$ ), que resultan deformadas por los cabalgamientos (falsas S-C); y (ii) por la estrecha asociación entre la posición de los cabalgamientos y las es-

tructuras generadas durante la segunda fase, como por ejemplo la foliación de crenulación ( $S_2$ ) y los pliegues  $P_2$ . La primera fase se habría generado previamente, asociada al desarrollo de pliegues asimétricos de vergencia sur, relacionados con despegues basales más profundos.

## Agradecimientos

Este trabajo está financiado por el proyecto BTE2003-09544-C02-02, el grupo de investigación RNM-316 de la Junta de Andalucía y una beca FPDI concedida por este mismo organismo. Además forma parte del proyecto IGCP-502, «Global Comparison of Volcanic-hosted Massive Sulphide Districts» de la UNESCO.

## Referencias

- Alonso-Chaves, F.M., García-Navarro, E. y Camacho, M. (1999). *Geogaceta*, 25, 11-14.
- Mantero, E. M., Alonso-Chaves, F. M., y Azor, A. (2003). *Geogaceta*, 34, 175-178.
- Mantero, E. M., García-Navarro, E., y Alonso-Chaves, F. M. (2004). *Geotemas*, 6-3, 85-88.
- Marrett, R. y Allmendinger, R.W. (1990). *Journal of Structural Geology*, 12, 973-986.
- Quesada, C. (1998). *Mineralium Deposita*, 33, 31-44.
- Ribeiro, A. y Silva, J.B. (1983). *Memoirs dos Serviços Geológicos de Portugal*, 29, 83-89.
- Schemerhorn, J. L. G. (1971). *Boletín Geológico y Minero de España* 82, 239-268.
- Silva, J. B., Oliveira, J. T. y Ribeiro, A. (1990). En: *Pre-Mesozoic geology of Iberia* (R. D. Dallmeyer y E. Martínez García, E., Eds.). Springer-Verlag, 348-363.
- Simancas, J. F., Carbonel, R., González, Lodeiro, F., Pérez Estaún, A., Jehlin, C., Ayarza, P., Kashubin, A., Azor, A., Martínez Poyatos, D., Almodóvar, G.R., Pascual, E., Sáez, R., y Expósito, I. (2003). *Tectonics*, 22, 1062.
- Soriano, C., y Casas, J. M. (2002). *International Journal of Earth Science (Geological Rundschau)*, 91, 882-896.