

Fábricas magnéticas controladas tectónicamente en el Triásico de la Cuenca Ibérica

Tectonically controlled magnetic fabrics in the Triassic Iberian basin

Cristina García-Lasanta¹, Belén Oliva-Urcia², Teresa Román-Berdiel¹, Inmaculada Gil-Peña³, Yolanda Sánchez-Moya⁴ y Alfonso Sopeña⁴

¹ Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza. Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, España. lasanta@unizar.es, mtdjrb@unizar.es, acasas@unizar.es

² Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC. Avda. Montañana 1005, 50059 Zaragoza, España. boliva@ipe.csic.es

³ Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas 23, 28003, Madrid, España. i.gil@igme.es

⁴ Instituto de Geociencias, UCM-CSIC. José Antonio Nováis 2, 28040, Madrid, España. yol@geo.ucm.es, sopeña@geo.ucm.es

ABSTRACT

We apply AMS techniques in Triassic red beds from the Castilian Branch (Iberian Range, NE Spain), a tectonically inverted basin (during Tertiary) where no penetrative structures associated to compression were originated. Our goal is to differentiate magnetic fabrics developed during the extensional stage and the ones modified during compression. In addition we will try to describe the geometry of the basin and the stress pattern acting during extension. In most cases, we observe typical sedimentary oblate fabrics, with different lineation directions, but with an ENE-WSW oriented maximum, which fits with a transtensional dextral extension regime. Variations in the lineation orientation are probably related to the different orientations of the faults limiting the basin sectors. In a less proportion, we distinguish magnetic fabrics modified by Tertiary compression, with "girdles" developed between intermediate and minimum axes.

Key-words: AMS, magnetic fabric, Castilian Branch, Triassic basin, red beds.

RESUMEN

Aplicamos las técnicas de ASM sobre facies rojas del Triásico de la Rama Castellana (Cordillera Ibérica, NE de España), una cuenca invertida tectónicamente durante el Terciario sin desarrollo de estructuras penetrativas asociadas a la compresión. El objetivo es diferenciar las fábricas magnéticas desarrolladas durante la etapa extensional de las modificadas durante la compresión, así como tratar de reconstruir la geometría de la cuenca y el régimen de esfuerzos actuante durante la extensión. En su mayoría, se observan fábricas oblatas, típicamente sedimentarias, en las que la lineación magnética presenta direcciones variadas, pero con un máximo ENE-OSO, lo que concuerda con un régimen de extensión transtensiva dextra. Las variadas direcciones de la lineación se deberían a las diversas orientaciones de las fallas que limitan los sectores de la cuenca. En menor medida se distinguen fábricas modificadas por la compresión terciaria, con desarrollo de "guirnaldas" de intercambio de ejes intermedio y mínimo.

Palabras clave: ASM, fábrica magnética, Rama Castellana, cuenca triásica, facies rojas.

Geogaceta, 53 (2013), 53-56.
ISSN: 0213-683X

Fecha de recepción: 14 de julio de 2012
Fecha de revisión: 25 de octubre de 2012
Fecha de aceptación: 30 de noviembre de 2012

Introducción

Muchos estudios de Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética (ASM) en rocas sedimentarias interpretan un desarrollo temprano de la fábrica magnética, que además registra el régimen de deformación actuante durante el depósito y la diagénesis temprana (p.e., Parés *et al.*, 1999; Cifelli *et al.*, 2005; Larrasoña *et al.*, 2011). Sin embargo, esta fábrica primaria puede verse enmascarada por numerosos procesos capaces de modificarla, como la superposición de diferentes fases de deformación (p.e., Mattei *et al.*, 1997; Soto *et al.*, 2007).

En un régimen extensional, la lineación

magnética (orientación k_{max}) se dispone perpendicular a las fallas normales, y por tanto, paralela a la dirección de extensión (Mattei *et al.*, 1997; Cifelli *et al.*, 2005). Por el contrario, en contextos compresivos, dicha lineación se dispone paralela a los cabalgamientos, perpendicular a la dirección del esfuerzo compresivo (p.e., Borradaile and Jackson, 2004).

Este trabajo estudia la ASM registrada en facies rojas triásicas de una cuenca extensional invertida tectónicamente durante el Terciario, pero en la que no se registran estructuras de compresión penetrativas (esquistosidad). Aunque toda el área se invierte tectónicamente, los estratos perma-

necen poco deformados, con buzamientos bajos y desarrollo de pliegues laxos, excepto localmente en las áreas más próximas a las fallas principales.

Los objetivos de este trabajo son indagar en el origen de la fábrica magnética, y determinar su relación con los procesos sedimentarios, así como con el régimen tectónico durante la etapa extensional que generó la cuenca triásica y durante la inversión tectónica posterior.

Contexto geológico

Localizada en el suroeste de la Cordillera Ibérica (Fig. 1), la Rama Castellana co-

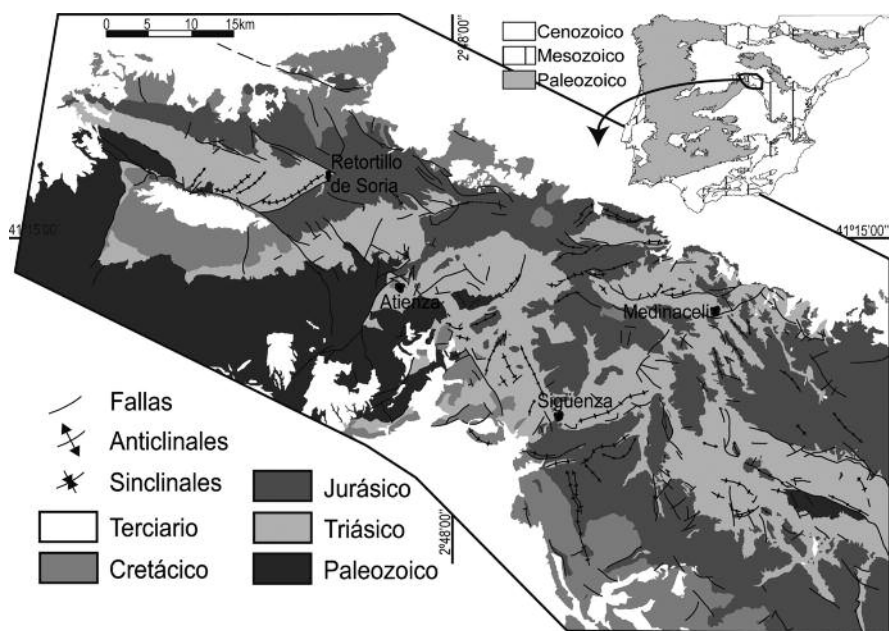


Fig. 1.- Localización de la Rama Castellana dentro de la Cordillera Ibérica y esquema geológico de la región.

Fig. 1.- Location of the Castilian Branch within the Iberian Range and geological sketch of the region.

menzó su etapa de *rifting* durante el Pérmico superior-Triásico inferior, con fallas normales en dirección NO-SE y NE-SO que afectan a la serie del Pérmico superior (Arche y López-Gómez, 1996). Las facies rojas del Triásico inferior continental (facies Buntsandstein) se depositaron sintectónica-mente en semigraben asimétricos, desarrollando grandes variaciones de potencia (Sánchez-Moya *et al.*, 2004; Vargas *et al.*, 2009). A partir del Triásico medio sedimentos marinos y transicionales se depositan a lo largo de toda la Cordillera Ibérica (facies Muschelkalk y Keuper). Disconforme a los sedimentos triásicos, se sedimenta el resto de la serie Mesozoica, hasta el momento en que tiene lugar la inversión tectónica durante el Paleógeno y el Mioceno inferior, durante los que se desarrollan pliegues laxos, fallas inversas de alto buzamiento por reactivación de las fallas normales Triásicas así como fallas de atajo de bajo buzamiento asociadas a algunos de los planos reactivados.

Metodología

Trabajamos con 815 especímenes estándar (25mm de diámetro x 21mm de alto) de roca procedentes de 55 estaciones distribuidas a lo largo de los sectores con facies rojas de la Rama Castellana, limitados

por diferentes estructuras extensionales activas durante el *rifting* Triásico. Las litologías comprendidas en el estudio son arcillas, limolitas y, en menor proporción, areniscas de grano fino. Todos los especímenes han sido analizados en un susceptómetro KLY-3S de AGICO, en el laboratorio de fábricas magnéticas de la Universidad de Zaragoza, obteniendo en cada caso el valor de la susceptibilidad total, la orientación de los tres ejes principales del elipsoide magnético y las proporciones del tensor.

En combinación con el horno CS3 de AGICO, se han elaborado 22 curvas termomagnéticas (entre 40°C y 700°C) que abarcan toda la diversidad litológica del estudio, con el fin de determinar la mineralogía portadora de la fábrica magnética.

Resultados

Los valores de la susceptibilidad magnética (k_m) varían entre 29,1 y $397,9 \times 10^{-6} \text{SI}$, aunque el 96,4% de los especímenes varían entre 50 y $300 \times 10^{-6} \text{SI}$.

Las curvas termomagnéticas indican generalmente la presencia de una fracción importante de hematites como fase ferromagnética (Fig. 2A). En 7 casos, los filosilicatos contribuyen de manera significativa (Fig. 2B), coincidiendo, normalmente con muestras procedentes de las estaciones con los

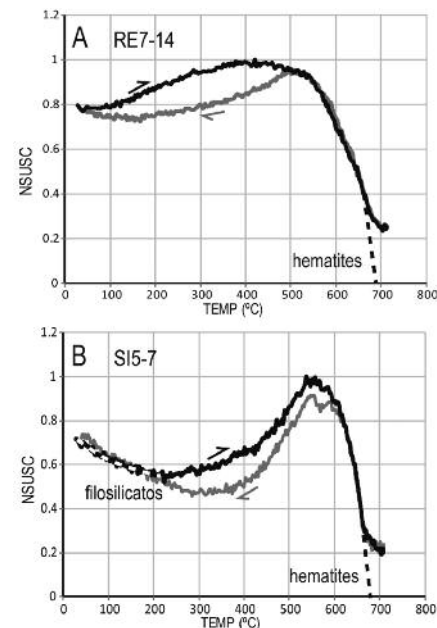


Fig. 2.- Curvas termomagnéticas, de calentamiento (en negro) y de enfriamiento (en gris): A) Caída brusca de la susceptibilidad coincidiendo con la temperatura de Curie de hematites. B) Caída en el rango de la hematites y forma hiperbólica típica de los minerales paramagnéticos.

Fig. 2.- Thermomagnetic curves, both heating (in black) and cooling (in grey): A) Sharp susceptibility falling corresponding to the Curie temperature of the hematite. B) Hematite falling and hyperbolic shape typical of paramagnetic minerals.

valores más bajos de susceptibilidad total. En algunos casos se produce neoformación de magnetita durante el calentamiento.

Las orientaciones de los elipsoides magnéticos muestran el eje mínimo del elipsoide de susceptibilidad magnética en posición perpendicular al plano de estratificación, de acuerdo con una fábrica magnética sedimentaria o débilmente deformada. En algunos casos se desarrollan "guirnalda", claras o incipientes, de intercambio de ejes entre k_{min} y k_{int} sugiriendo la influencia de la tectónica compresiva posterior (Fig.3A, B). La lineación magnética muestra dos direcciones principales NO-SE y SO-NE (Fig. 3C, D) y otras dos minoritarias, N-S y E-O (Fig. 3E, F).

En la figura 4 se representan las lineaciones magnéticas de todas las estaciones del estudio. En 5 de ellas, se registra una clara "guirnalda" de intercambio de ejes, definiendo una fábrica tectónica secundaria. En otras 9 estaciones, la lineación (representada en blanco) describe un desarrollo incipiente de esa "guirnalda" com- pre-

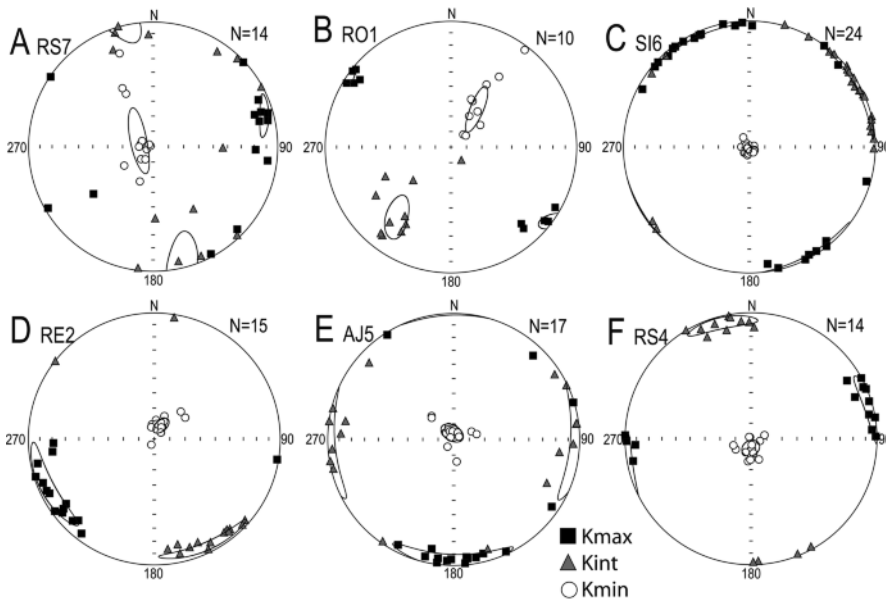


Fig. 3.- Tipos de elipsoides magnéticos del estudio: A y B) Elipsoides prolatos con desarrollo de una "guirnalda" compresiva entre k_{int} y k_{min} . C y D) Elipsoides oblatos con las lineaciones mayoritarias NO-SE y NE-SO. E y F) Elipsoides oblatos direcciones de la lineación menos frecuentes N-S y E-O. Plano de estratificación corregido a la horizontal.

Fig.3.- Types of magnetic ellipsoids in the study: A and B) Prolate ellipsoids with compressive "girdles" between k_{int} and k_{min} axes. C and D) Oblate ellipsoids with magnetic lineations oriented NW-SE and NE-SW. E and F) Oblate ellipsoids with less frequent magnetic lineations oriented N-S and E-W. Bedding plane corrected to horizontal.

siva, y podemos considerarlas también secundarias.

En las otras 41 de las 55 estaciones el elipsoide presenta geometría oblatas con grandes variaciones en la orientación de

k_{max} , y que pueden interpretarse como elipsoides primarios que reflejan el episodio extensivo.

Los estereogramas superpuestos en el mapa de la figura 4, representan la orien-

tación media de la lineación magnética que registra la extensión para cada sector en los que se divide la cuenca.

Discusión

Si representamos conjuntamente las lineaciones de las estaciones del estudio que hemos considerado que registran la etapa extensiva (fábricas oblatas), se observa una gran dispersión de dichos valores (Fig. 5), aunque con una clara dominancia de la dirección ENE-OSO de la lineación magnética, y por tanto de la extensión, tal y como se refleja en el diagrama en rosa.

Esta dirección de extensión general implica un régimen de transtensión dextra para el *rifting* Triásico en la Rama Castellana, en el cual las fallas de dirección ONO-ESE funcionarían como normales con componente dextra y las fallas de dirección ENE-OSO como fallas de transferencia. En conjunto la cuenca estaría fragmentada en sectores por el funcionamiento de las diferentes fallas responsables de la formación de discordancias progresivas.

Las variaciones en esa dirección general de la lineación magnética, observadas en los diferentes sectores de la cuenca, se deberían a las variaciones de la dirección de las estructuras locales dentro de los mismos.

No obstante, hay que tener también en

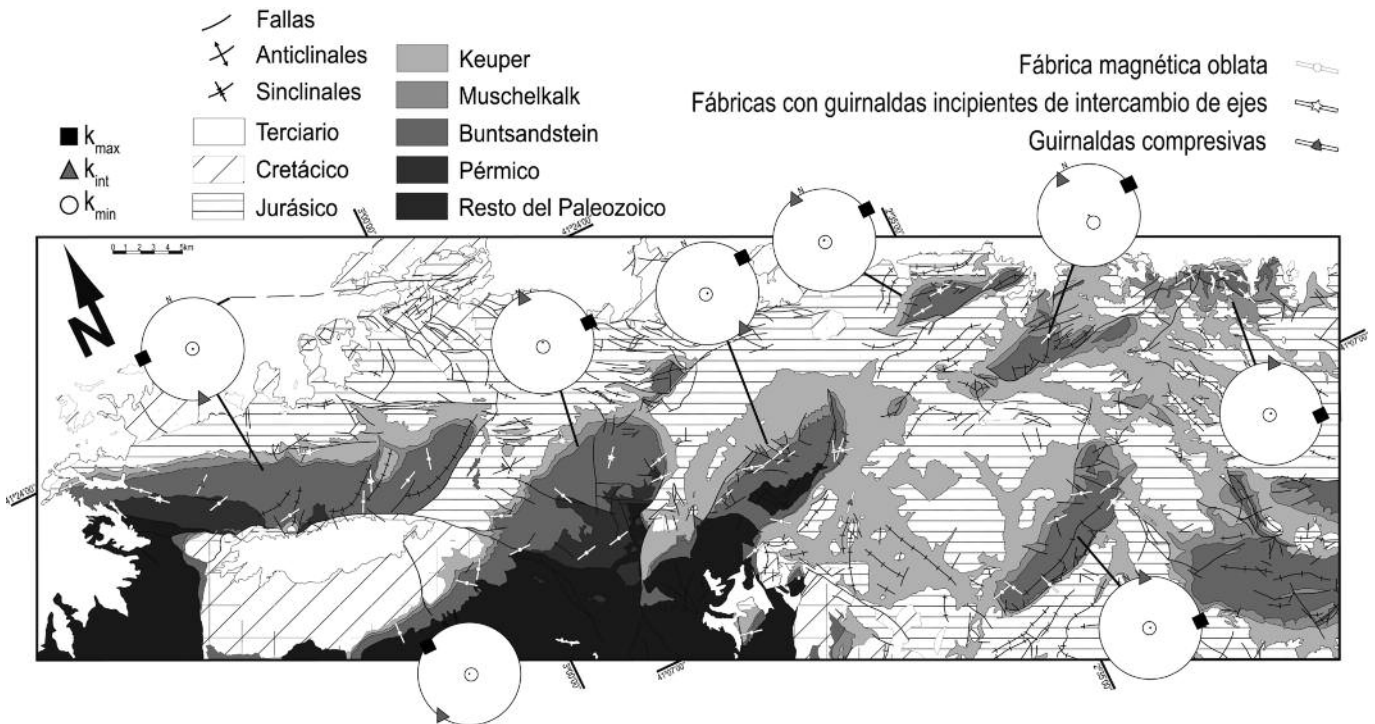


Fig. 4.- Lineaciones magnéticas representadas sobre el mapa geológico en detalle. Ver texto para más información.

Fig. 4.- Magnetic lineations represented in a detailed geological map. See text for further information.

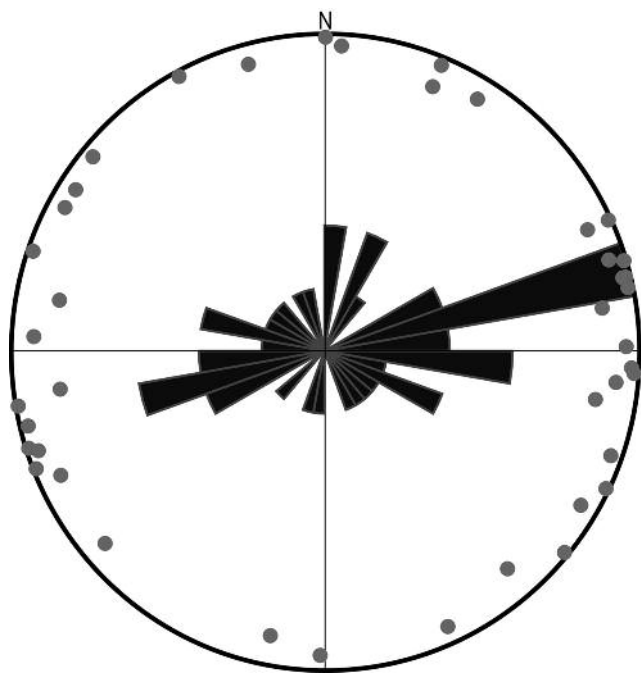


Fig. 5.- Lineaciones magnéticas de las estaciones que interpretamos reflejan la fábrica extensional (puntos grises) y diagrama de rosas para el conjunto de datos.

Fig. 5.- Magnetic lineations of the sites interpreted as registering the extensional fabric (grey spots) and the rose diagram of these data.

cuenta que, tal y como se ha demostrado previamente (Sagnotti *et al.*, 1999; Larrasoña *et al.*, 2004; Soto *et al.*, 2009; Oliva-Urcia, *et al.*, 2010), materiales que aparentemente permanecen poco o nada deformados pueden registrar la deformación compresiva. Por eso, a pesar de que una fábrica oblata se puede relacionar con el proceso sedimentario, el desarrollo de una lineación magnética bien definida, con los ejes magnéticos bien agrupados, también podría estar relacionado con el proceso de inversión tectónica. Por tanto, una interpretación de fábricas extensionales ha de hacerse con el máximo cuidado para evitar la confusión con una fábrica ya modificada por una inversión tectónica compresiva o transpresiva (De Vicente *et al.*, 2009) que genera una lineación magnética cuya dirección puede confundirse con la extensional.

Conclusiones

Los principales portadores de la susceptibilidad magnética para las litologías muestreadas (areniscas, limolitas y arcillas) son hematites y filosilicatos en proporción variable.

El eje mínimo de susceptibilidad magnética se dispone generalmente subperpendicular al plano de estratificación, corres-

pondiéndose con un patrón de fábrica sedimentaria en ambiente extensional. En algunos casos, la fábrica magnética se ve modificada significativamente por la etapa compresiva Terciaria, desarrollándose "guirnaldas" de intercambio entre los ejes intermedio y mínimo.

Si consideramos que las estaciones con elipsoide oblato preservan la fábrica correspondiente a la etapa extensional, al representarlas en conjunto se observa una lineación magnética en dirección ENE-OSO oblicua a las fallas principales (por ejemplo la falla de Solomolinos), de dirección ONO-ESE. Esto encaja con un sistema de transpresión dextra para la evolución de la cuenca.

Las variaciones en la orientación de la lineación magnética entre los diferentes sectores de la cuenca, se deben probablemente a las desviaciones en los ejes de esfuerzos principales originadas por la orientación de las fallas mayores de cada sector.

Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por el proyecto de investigación CGL2009-08969 del Ministerio de Ciencia e Innovación. C. García Lasanta agradece al MICINN la beca de investigación BES-2010-037509. Los autores agradecen

también las constructivas aportaciones de Gerardo de Vicente y un revisor anónimo a este trabajo.

Referencias

- Arche, A., y López-Gómez, J. (1996). *Tectonophysics*, 266, 443-464.
- Borradaile G.J. y Jackson, M. (2004). In: *Magnetic Fabric: Methods and Applications*. (F. Martín-Hernández, C.M. Lüneburg, C. Aubourg, M. Jackson, Eds.). *Geological Society, London, Special Publication*, 238, 299-360.
- Cifelli, F., Mattei, M., Chadima, M., Hirt, A.M. y Hansen, A. (2005). *Earth Planetary Science Letters*, 235, 62-78.
- De Vicente, G., Vegas, R., Muñoz-Martín, A., Van Wees, J.D., Casas-Sainz, A., Sopena, A., Sánchez-Moya, Y., Arche, A., López-Gómez, J., Olaiz, A. y Fernández-Lozano, J. (2009). *Tectonophysics*, 470, 224-242.
- Larrasoña, J.C., Pueyo, E.L. y Parés, J.M. (2004). In: *Magnetic Fabric: Methods and Applications*. (F. Martín-Hernández, C.M. Lüneburg, C. Aubourg, M. Jackson, Eds.). *Geological Society, London, Special Publication*, 238, 127-143.
- Larrasoña, J.C., Gómez-Pacard, M., Giralt, S. y Roberts, A.P. (2011). *Tectonophysics*, 507, 16-25.
- Mattei, M., Sagnotti, I., Faccenna, C., Funicello, R. y Schumm, S.A. (1997). *Tectonophysics*, 271, 107-122.
- Oliva-Urcia, B., Román-Berdiel, T., Casas-Sainz, A., Pueyo, E.L. y Osácar, C. (2010). *Journal of Structural Geology*, 32, 362-376.
- Parés, J.M., Van Der Pluijm, B.A. y Dinarés-Turell, J. (1999). *Tectonophysics*, 307, 1-14.
- Sagnotti, L., Winkler, A., Montone, P., Di Bella, L., Florindo, F., Mariucci, M.T., Marra, F., Alfonsi, L. y Frepoli, A. (1999). *Tectonophysics*, 311, 139-153.
- Sánchez-Moya, Y., Arribas, J., García-Gil, S., Gomez-Gras, D., Marzo, M., Pérez-Arlucea, M. y Sopena, A. (2004). En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.). SGE-IGME, Madrid. 485-492.
- Soto, R., Casas-Sainz, A., Villalain, J.J. y Oliva-Urcia, B. (2007). *Tectonophysics*, 445, 373-394.
- Soto R., Larrasoña, J.C., Arlegui, L.E., Beamud, E., Oliva-Urcia, B. y Simón, J.L. (2009). *Journal of Structural Geology*, 31, 512-522.
- Vargas, H., Gaspar-Escribano, J.M., López-Gómez, J., VanWees, J.D., Cloetingh, S., de La Horra, R. y Arche, A. (2009). *Tectonophysics*, 474, 160-18.