

# Fábricas magnéticas en el antepaís del orógeno Pirenaico, relación con los últimos estadios de deformación (cabalgamiento de San Felices, Sierras Exteriores Aragonesas)

*Magnetic fabrics of the Pyrenean foreland, relation to the last deformational stages (San Felices thrust sheet, External Sierras)*

Belén Oliva-Urcia<sup>1,2</sup>, Elisabet Beamud<sup>3</sup>, Ruth Soto<sup>4</sup>, Emilio L. Pueyo<sup>4</sup>, Miguel Garcés<sup>5</sup> y Luis Valero<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza. belen.oliva@uam.es

<sup>2</sup> Dpto. de Geología y Geoquímica. Universidad Autónoma de Madrid. Ciudad Universitaria de Cantoblanco, 28049 Madrid.

<sup>3</sup> Laboratori de Paleomagnetisme CCIUB-CSIC, Institut de Ciències de la Terra "Jaume Almera", C/ Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona. betbeamud@ub.edu

<sup>4</sup> Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Zaragoza. C/ Manuel Lasala 44, 9ºB, 50006. Zaragoza. r.soto@igme.es, unaim@igme.es

<sup>5</sup> Departament d'Estratigrafia, Paleontologia i Geociències Marines, Universitat de Barcelona, C/Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona. mgarcés@ub.edu

## ABSTRACT

*The continental deposits of the northern border of the foreland Ebro basin of Campodarbe and Uncastillo Formations have been analyzed by means of the magnetic fabric. Two sectors separated 12 km were sampled near Luesia and Fuencalderas. Results suggest that magnetic fabric developed at a time near the deposition of the sediments in the foreland basin since the magnetic lineation (maximum axis of the magnetic ellipsoid) is perpendicular to the compression direction (following the bedding strike) and the minimum axis is perpendicular to the bedding plane (or forming an incipient girdle with the intermediate magnetic axis). In the eastern sector (Fuencalderas) a deviation of the magnetic fabric respect to the bedding strike is observed, which could be related to the termination of the San Felices thrust sheet.*

**Key-words:** *Magnetic fabric, petrofabric, Thrust, South Pyrenean Front.*

## RESUMEN

*Se ha analizado la fábrica magnética de los materiales sedimentarios depositados en ambientes continentales (Fms Campodarbe y Uncastillo) en el borde septentrional de la cuenca de antepaís del Ebro en dos sectores (Luesia y Fuencalderas) separados 12 km siguiendo la dirección de capa. Los resultados indican que la fábrica magnética se adquirió en un momento cercano al depósito de los materiales en una cuenca de antepaís ya que la lineación magnética (eje máximo del elipsoide magnético) se dispone perpendicular a la dirección de acortamiento que forma el orógeno pirenaico (siguiendo la dirección de capa) y el eje mínimo del elipsoide magnético se dispone perpendicular a la estratificación (o formando una guirnalda incipiente con el eje intermedio del elipsoide magnético). En el sector oriental muestreado (Fuencalderas), se observa una desviación de la fábrica magnética respecto a la dirección de capa en la Fm. Campodarbe que podría estar relacionada con la actividad de la terminación lateral hacia el oeste del cabalgamiento de San Felices.*

**Palabras clave:** *Fábrica magnética, petrofábrica, Cabalgamiento, Frente Surpirenaico.*

*Geogaceta*, 61 (2017), 83-86  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 15 de julio de 2016  
Revisión: 3 de noviembre de 2016  
Aceptación: 25 de noviembre 2016

## Introduction

La fábrica magnética de una roca se obtiene midiendo su susceptibilidad magnética, que es la capacidad que tiene la roca de ser magnetizada bajo la influencia de un campo magnético débil. Al medir esta propiedad geofísica en las diferentes direcciones del espacio se obtiene la anisotropía de la susceptibilidad magnética, que es utilizada como un indicador de la petrofábrica desde Graham (1954), ya

que la susceptibilidad magnética depende principalmente de la orientación preferente cristalográfica, la forma de los granos, la composición y en menor medida, de la distribución y tamaño de microfisuras (Tarling y Hrouda, 1993). En Geología Estructural, el estudio de la fábrica magnética es una técnica ampliamente utilizada como representación de la orientación preferente de minerales (Borraile y Jackson, 2004), y es utilizada en litologías y zonas donde los marcadores de la

deformación son escasos (lutitas, margas, margocalizas, areniscas donde la deformación no es observable a escala de afloramiento). Así, se utiliza por ejemplo, tanto como marcador de la deformación extensional en cuencas invertidas (García-Lasanta *et al.*, 2016) como en zonas donde la deformación asociada al acortamiento del orógeno aumenta hacia las zonas internas del orógeno (Parés *et al.*, 1999). En cuencas de antepaís se ha observado que el eje máximo del elipsoide

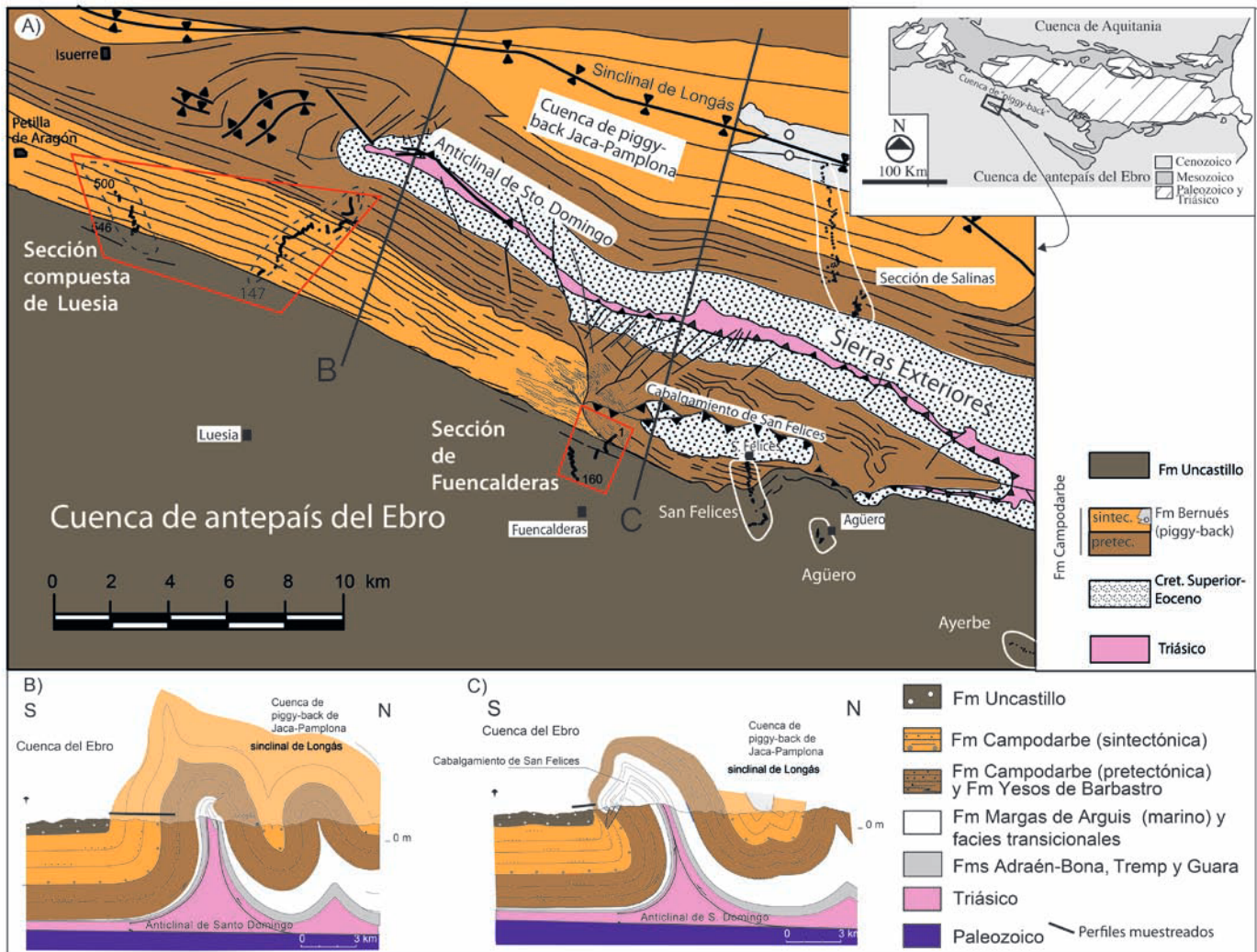


Fig. 1.- Mapa (A) y cortes geológicos (B, C) de las zonas muestreadas al sur de las Sierras Exteriores Aragonesas (Luesia –Fm Campodarbe- y Fuencalderas- Fms Campodarbe y Uncastillo-) recuadradas en rojo. Mapa de Puigdefàbregas (1975), cortes de Millán Garrido *et al.* (1995). También aparecen localizados los perfiles magnetoestratigráficos de Hogan (1993) (San Felices, Agüero, Ayerbe y Salinas) enmarcados en blanco. Figura en color en la web.

Fig. 1.- Map (A) and geological cross-sections (B and C) of the sampled sectors in the External Sierras (Luesia –Campodarbe Fm- and Fuencalderas Campodarbe and Uncastillo Fms) in red squares. Map from Puigdefàbregas (1975), cross-sections from Millán Garrido *et al.* (1995). Also marked the Hogan (1993) magnetostratigraphic profiles (San Felices, Agüero, Ayerbe and Salinas) with white circles. Color figure on the web.

magnético se orienta perpendicular a la dirección de acortamiento (Soto *et al.*, 2009).

Recientemente, se ha observado que la orientación del eje máximo del elipsoide de la fábrica magnética en zonas de cinturones de pliegues y cabalgamientos (Pirineos centro-occidentales) funciona como un marcador pasivo de la deformación posterior, por lo que puede ser usado como un marcador de rotaciones de eje vertical, hecho que se corrobora al comparar los datos obtenidos de la orientación de los ejes  $k_{max}$  con los datos obtenidos de rotaciones de eje vertical deducidas por métodos paleomagnéticos (Pueyo Anchuela *et al.*, 2012).

En este trabajo se presentan nuevos datos de fábricas magnéticas de sedimentos finos (lutitas y limos) de la Fm Uncastillo

(sedimentos aluviales y fluviales de procedencia norte del Chattiense-Aquitaniense; Puigdefàbregas, 1975) del borde norte de la cuenca de antepaís del Ebro. Se comparan estos datos con otros de sedimentos situados unos 12 km al oeste, de la Fm Campodarbe (sedimentación fluvial procedente del oeste durante el Eoceno superior-Oligoceno).

### Localización geológica

Los sedimentos analizados pertenecen a la Fm Campodarbe y a la suprayacente Fm Uncastillo, que respresentan la sedimentación continental de la cuenca de antepaís (y de *piggy-back*) de la parte centro-occidental del orógeno Pirenaico. La

magnetoestratigrafía de estas Fms han sido recientemente revisada, pudiendo acotarse la edad del límite entre ambas en el cron 7r (Chattiense) en el borde norte de la cuenca de antepaís (S de Sierras Exteriores), una edad ~3 Ma más joven que la definida en la cuenca de *piggy-back*, al norte de las Sierras Exteriores (Oliva-Urcia *et al.*, 2016). Se han muestreado al norte de la cuenca de antepaís del Ebro, la sección de Fuencalderas al este, que atraviesa materiales de las Fms Campodarbe y Uncastillo y la sección de Luesia al oeste, que sólo atraviesa materiales de la Fm. Campodarbe (Fig. 1A).

La Fm. Campodarbe queda englobada dentro del grupo Montañana-Campodarbe de Mutti *et al.* (1972) (Fig. 2A) y se sitúa

por encima de las facies marinas del Eoceno medio-superior o sobre facies deltaicas. Representa la sedimentación fluvial donde los aportes sedimentarios son principalmente desde el ESE (paleocorrientes en Puigdefàbregas, 1975). Por encima de la Fm. Campodarbe en la cuenca de antepaís del Ebro se encuentra la Fm. Uncastillo estudiada por Soler-Sampere y Puigdefàbregas (1970) (Figs. 2B y C). La Fm Uncastillo supone la última sedimentación registrada en la cuenca donde los aportes de los abanicos aluviales y fluviales proviene del norte (Puigdefàbregas, 1975). Dentro de la Fm Campodarbe, Puigdefàbregas (1975) definió dos unidades, la inferior pretectónica, y la superior sintectónica en relación con el cabalgamiento de San Felices (Sierras Exteriores) (Fig. 1C), que aflora al norte de la zona muestreada en Fuencalderas. El cabalgamiento de San Felices define una compleja estructura de anticlinal sinforme y su desplazamiento decrece rápidamente hacia el oeste (Pocoví Juan y Millán, 1990) inmediatamente al oeste de la zona muestreada en Fuencalderas (Figs. 1B y C). Las unidades definidas dentro de la Fm Uncastillo se han relacionado con la actividad de cabalgamientos que progresan de oeste a este (Punta Común, Riglos inferior, Riglos superior) y con la reactivación de estructuras como el anticlinal de Santo Domingo y el cabalgamiento de San Felices en las Sierras Exteriores (Pocoví Juan y Millán, 1990; Millán *et al.*, 1995; Arenas *et al.*, 2001).

## Método

La medida de la anisotropía de la susceptibilidad magnética se ha realizado en el Laboratorio de Paleomagnetismo CCITUB-CSIC con un KLY-2, y en el Laboratorio de la Universidad de Zaragoza con un KLY-3 (AGICO Inc.). El procesado de datos se ha realizado con el programa Anisoft 4.2 siguiendo los parámetros de Jelinek (1981). La susceptibilidad magnética ( $k_m$ ) se representa por medio de un tensor de segundo orden que tiene su expresión geométrica en el elipsoide magnético. Los parámetros de forma que definen el elipsoide magnético son la lineación magnética ( $L = k_{max}/k_{int}$ ), la foliación magnética ( $F = k_{int}/k_{min}$ ), el grado de anisotropía corregido ( $P'$ ), que indica la intensidad de la orientación preferente de minerales y el parámetro de forma  $T$ , donde las formas prolatas tienen valores  $-1 < T < 0$  y las formas oblatas son  $1 > T > 0$ . Además,



Fig. 2.- A) Zona de muestreo en la Fm Campodarbe de la sección de Luesia. B y C) Afloramiento de la Fm Uncastillo en la sección de Fuencalderas. Figura en color en la web.

Fig. 2.- A) Sampling site in the Campodarbe Fm of the Luesia section. B and C) Outcrop of the Uncastillo Fm in the Fuencalderas section. Color figure on the web.

la orientación de los ejes principales del elipsoide se muestran en proyección estereográfica.

## Resultados

La orientación de los ejes del elipsoide magnético, una vez realizada la corrección de capa ( $S_0$  se lleva a la horizontal), muestra que el eje mínimo queda perpendicular al plano de estratificación, indicando un momento de adquisición de la fábrica magnética próximo a la sedimentación de las capas (Figs. 3A y C) o bien se distribuye formando una guirnalda con el eje intermedio (especialmente en la parte alta de la Fm Campodarbe en Luesia) (Fig. 3D), lo que indica que existe influencia del régimen tectónico contractivo sinsedimentario. En cuanto a la orientación del eje máximo del elipsoide se observan diferencias entre las dos zonas de muestreo. En la zona oeste (Luesia), el promedio del eje máximo se agrupa siguiendo la dirección de capa que es  $N117^\circ E$  (Fig. 3D), aunque la base de la serie muestra una fábrica menos agrupada (Fig. 3C). En la zona oriental (Fuencalderas), el promedio del eje máximo aparece desviado con respecto a la dirección de capa, especialmente en los materiales de la Fm Campodarbe cabalgada, que se encuentran próximos al cabalgamiento de San Felices, ya que el promedio de  $k_{max}$  es  $N147^\circ E$  mien-

tras que la dirección de capa es en esta zona  $\sim N130^\circ E$  (Fig. 3A). Dentro de la Fm Uncastillo en Fuencalderas, el promedio de  $k_{max}$  se aproxima a  $N125^\circ E$  y la dirección de capa a  $110^\circ E$  (Fig. 3B).

## Discusión y Conclusiones

Los materiales de la unidad inferior pre-tectónica de la Fm Campodarbe en las proximidades del cabalgamiento de San Felices (Fuencalderas) muestran una orientación de la lineación magnética paralela a la orientación de la terminación occidental del cabalgamiento en superficie ( $\sim N150^\circ E$ ), mientras que ni la Fm Campodarbe en Luesia ni la Fm Uncastillo en Fuencalderas presentan esa orientación, sino que la lineación magnética es próxima a la orientación de la dirección de las capas (aprox.  $N117^\circ E$ ). Esta desviación de la fábrica magnética respecto a la dirección de capa en la Fm. Campodarbe de Fuencalderas podría estar relacionada con la actividad del cabalgamiento de San Felices y estructuras asociadas, donde las muestras del sector de Fuencalderas se encontrarían en el bloque inferior del mismo.

En otros estudios de la fábrica magnética de las Sierras Exteriores y cuenca de Jaca-Pamplona se ha detectado que la lineación magnética funciona como un marcador pasivo de la rotación de eje vertical

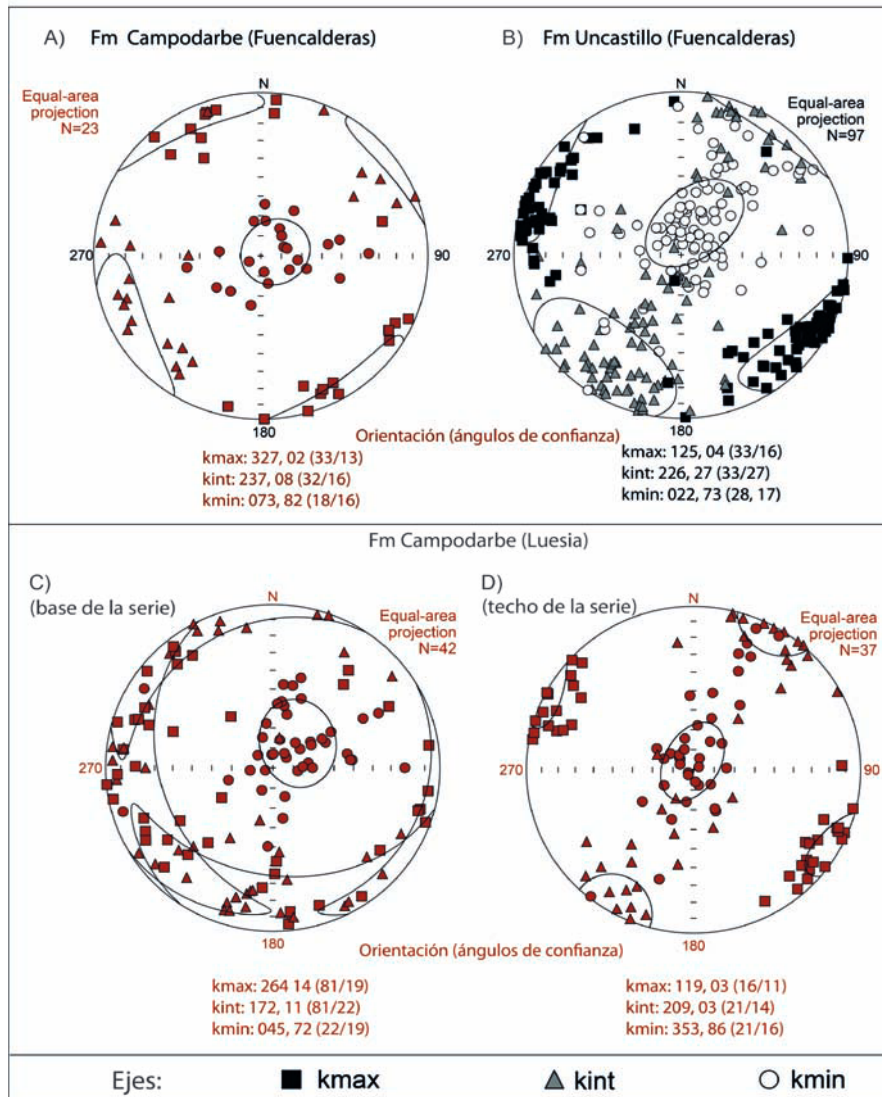


Fig. 3.- Representación estereográfica equiareal de los ejes del elipsoide magnético tras la corrección de capa, en las dos zonas estudiadas. En negro (B), los datos de la Fm Uncastillo (Fuencalderas). En rojo, los datos de la Fm. Campodarbe (preTECTÓNICA al cabalgamiento de San Felices (C) y sintectónica con el cabalgamiento de San Felices (D)). En Fuencalderas (A), la Fm Campodarbe es preTECTÓNICA al cabalgamiento de San Felices. Figura en color en la web.

Fig. 3.- Equiareal stereographic projection of the magnetic ellipsoid axes after tectonic correction. In black (B), the Uncastillo Fm (Fuencalderas). In red, the Campodarbe Fm (lower preTECTONIC Campodarbe Fm (C) and upper syntectonic Campodarbe Fm (D)). In Fuencalderas (A), the Campodarbe Fm is preTECTONIC respect to the San Felices thrust sheet. Color figure on the web.

detectada por medio de análisis paleomagnéticos (Pueyo Anchueta et al., 2012).

### Agradecimientos

La financiación que ha permitido el desarrollo de este trabajo proviene del

proyecto del Plan Nacional del Ministerio de Economía y Competitividad con referencia: CGL2014-55900-P (Routing systems: stratigraphic analysis and models). Se agradece la colaboración del Grupo de Investigación GeoTransfer (U. De Zaragoza), el trabajo de laboratorio reali-

zado por Estefanía Maestre y las revisiones de N. Vegas Tubía, T. Román Berdiel y M. Díaz Azpiroz.

### Referencias

Arenas, C., Millán, H., Pardo, G. y Pocoví, A. (2001). *Basin Research*, 13(1), 65-89.

Borradaile, G.J. y Jackson, M. (2004). *Geological Society, London, Special Publications*, 238(1), 299-360.

García-Lasanta, C., Román-Berdiel, T., Oliva-Urcia, B., Casas, A.M., Gil-Peña, I., Speranza, F. y Mochales, T. (2016). *Journal of the Geological Society*, 173(1), 127-141.

Graham, J.W. (1954). *Geological Society of America Bulletin* 65, 1257-1258.

Hogan, P.J. (1993). *Geochronologic, tectonic, and stratigraphic evolution of the southwest Pyrenean foreland basin, northern Spain*. Unpublished PhD Thesis. University of Southern California. 219 p.

Jelinek, V. (1981). *Tectonophysics*, 79. T63-T67.

Millán Garrido, H., Pocoví Juan, A. y Casas Sainz, A.M. (1995). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 8(1-2), 73-90.

Mutti, E., Luterbacher, H., Ferrer, J. y Rosell, J. (1972). *Mem. Soc. Geol. Italia*. 18: 15-22.

Oliva-Urcia, B., Beamud, E., Garcés, M., Arenas, C., Soto, R., Pueyo, E.L. y Pardo, G. (2016). *Geological Society, London, Special Publications*, 425, SP425-5.

Parés, J.M., van der Pluijm, B.A. y Dinarès-Turell, J. (1999). *Tectonophysics*, 307(1), pp.1-14.

Pocoví Juan, A. y Millán, H. (1990). *Geogaceta*, (8), 36-39.

Pueyo, Ó., Pueyo, E.L., Pocoví Juan, A. y Gil Imaz, A. (2012).

Puigdefàbregas, C. (1975). *Pirineos*, 104. 188 p.

Soler-Sampere, M. y Puigdefàbregas, C. (1970). *Pirineos*, 96: 5-19.

Soto, R., Larrasoana, J.C., Arlegui, L.E., Beamud, E., Oliva-Urcia, B. y Simón, J.L. (2009). *Journal of Structural Geology*, 31(5), 512-522.

Tarling, D. y Hrouda, F. eds., (1993). *Magnetic anisotropy of rocks*. Springer Science & Business Media.