

# Análisis de la fábrica magnética en el Sinclinorio de Bizkaia: Implicaciones en la tectónica regional

*Magnetic fabric analysis of the Biscay Synclinorium: Implications for the regional tectonics*

Néstor Vegas Tubía, Aitor Aranguren Iriarte, Lidia Rodríguez-Méndez, Julia Cuevas Urionabarrenechea, José María Tubía Martínez y José Julián Esteban Guzmán

Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), apartado 644, 48080 Bilbao, España.  
nestor.vegas@ehu.eus, aitor.aranguren@ehu.eus, lidia.rodriguez@ehu.eus, julia.cuevas@ehu.eus, jm.tubia@ehu.eus, jj.esteban@ehu.eus

## ABSTRACT

A combined structural and AMS analysis is made in Upper Cretaceous rocks from the periclinal closure of the Biscay Synclinorium (Basque-Cantabrian basin). Fieldwork has led to the recognition of a broad band with a pervasive foliation along the NE limb. The magnetic fabrics are grouped into two zones: 1) the samples from the core record magnetic lineations coincident with the S0/S1 intersection lineation that are parallel to the synclinorium axis, and 2) the magnetic lineations from the NE limb are orthogonal to the synclinorium axis and concentrate around the down-dip direction of S1. This partitioning of magnetic fabrics suggests increasing deformation from the core, characterised by mixed (sedimentary and tectonic) magnetic fabrics, to the northeastern limb, where tectonic fabrics prevail. Field data and magnetic fabrics are consistent with an unusually high deformation in the NE limb of the synclinorium, which could be associated with a hitherto unknown shear zone at regional scale. A top to the NE movement of the shear zone would explain the trend of the magnetic lineation in the northeastern limb of the Biscay Synclinorium.

**Key-words:** Magnetic fabrics, Biscay Synclinorium, Basque-Cantabrian basin, shear zone.

## RESUMEN

Se ha realizado un estudio estructural de las rocas del Cretácico Superior del cierre del Sinclinorio de Bizkaia (Cuenca Vasco-Cantábrica) combinado con un estudio de la fábrica magnética. A partir del trabajo de campo se ha establecido la presencia de una banda continua en el flanco NE donde la foliación aflora de manera penetrativa. Los resultados obtenidos con el estudio de la fábrica magnética se pueden agrupar en dos zonas: 1) Las estaciones localizadas en el núcleo registran lineaciones magnéticas situadas en la intersección entre S0 y S1 y son paralelas al eje del sinclinorio. 2) Las lineaciones magnéticas de las muestras del flanco NE son perpendiculares al eje del sinclinorio y se concentran sobre la línea de máxima pendiente de S1. Esta distribución indica un aumento de la deformación de núcleo a flanco, con fábricas magnéticas mixtas (sedimentarias y tectónicas) en el núcleo y tectónicas en el flanco. Los datos de campo y las fábricas magnéticas señalan una acumulación anómala de la deformación en el flanco NE del sinclinorio, que puede explicarse por la localización de una zona de cizalla de escala regional. El movimiento hacia el NE asociado a la zona de cizalla explicaría la disposición de la lineación magnética en dicho flanco.

**Palabras clave:** Fábrica magnética, Sinclinorio de Bizkaia, Cuenca Vasco-Cantábrica, zona de cizalla.

Geogaceta, 62 (2017), 15-18  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 30 de enero de 2017  
Revisión: 24 de marzo de 2017  
Aceptación: 26 de abril 2017

## Introducción y contexto geológico

El objetivo de este trabajo es caracterizar la deformación que afecta a los materiales del Cretácico Superior del cierre del Sinclinorio de Bizkaia. Para ello se ha combinado trabajo de campo de geología estructural con el estudio de la Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética (ASM).

El Sinclinorio de Bizkaia es uno de los grandes pliegues que definen el Arco Vasco (Fig. 1A), en el sector central de la Cuenca Vasco Cantábrica. Esta cuenca, localizada en el oeste de la Cadena Pirenaica, se generó sobre una corteza continental "hipe-

rextendida" durante el Mesozoico e invertida durante la Orogenia Alpina (Tugend *et al.*, 2014). Las grandes fallas asociadas al proceso de inversión tectónica no se han reconocido de manera general en la cartografía geológica de este sector de la Cuenca Vasco-Cantábrica, con la excepción de algún caso aislado (Cuevas *et al.*, 1999, Rodríguez *et al.*, 2008).

Los rasgos estructurales más significativos del Sinclinorio de Bizkaia son una orientación cartográfica aproximada N125° E, con una vergencia hacia el NE y el desarrollo localizado de una pizarrosidad paralela al plano axial y de buzamiento elevado

(Cuevas *et al.*, 1999), que afecta a materiales del Cretácico y del Terciario.

El muestreo se ha realizado en rocas sedimentarias del Cretácico Superior agrupadas en dos unidades estratigráficas diferentes, el Flysch Detrítico Calcáreo, de edad Maastrichtiense y debajo, la Formación Calcárea del Cenomaniense medio-Campaniense (Garrote *et al.*, 1985, Fig. 1B). El Flysch Detrítico Calcáreo está formado por una alternancia monótona de calizas arenosas y margas en bancos centimétricos a decimétricos. Está localizado en la zona de núcleo del sinclinorio, en contacto con las margas y margocalizas del Maastrich-

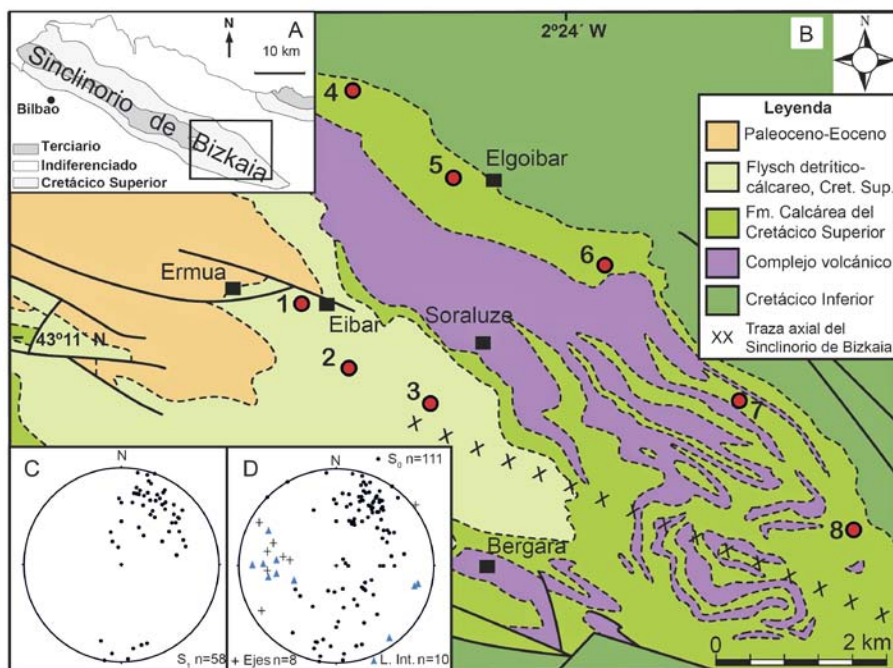


Fig. 1.- A) Mapa geológico del sector central de la Cuenca Vasco-Cantábrica. La zona estudiada está señalada mediante un rectángulo. B) Mapa geológico del cierre periclinal del Sinclinorio de Bizkaia (modificado de Olivé *et al.*, 1985). Se ha indicado la localización de las 8 zonas estudiadas. C) Diagrama de polos de la foliación. D) Diagrama de polos de la estratificación, ejes de los pliegues y lineación de intersección entre  $S_0$  y  $S_1$ . En ambos casos se ha utilizado una proyección equiareal en el hemisferio inferior. Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- A) Geological map of the central zone of the Basque-Cantabrian basin. The studied area is indicated with a rectangle. B) Detailed map of the periclinal closure of the Biscay Synclinorium (modified from Olivé *et al.*, 1985). The location of the 8 sampled zones is shown. Diagrams of poles to  $S_0$ , C); and poles to  $S_0$ , fold axes and the intersection lineation between  $S_0$  and  $S_1$ , D). Equal-area, lower hemisphere projection. See color figure in the web.

tiense-Daniense, que constituyen la base del Terciario en este sector. Hacia muro, se pasa de manera progresiva a la Formación Calcárea del Cretácico Superior, formada por margas oscuras con intercalaciones de espesor variable de calizas y areniscas. En esta última formación aparecen intercaladas las rocas asociadas al magmatismo cretácico norpirenaico del denominado "Complejo Volcánico" (Fig. 1B).

En los afloramientos estudiados del Flysch Detrítico Calcáreo, se reconocen pliegues vergentes hacia el NE, con una orientación media de los ejes 29/287 (Fig. 1D), y que desarrollan una foliación de plano axial N125°E/51S, localizada en la charnela de los mismos (Fig. 1C). En la zona NE del sector estudiado, en la Formación Calcárea del Cretácico Superior, si bien no se reconocen pliegues, esta foliación se desarrolla de manera penetrativa y constante con la misma orientación media.

## Metodología y muestreo

El uso de la ASM es muy común en estudios estructurales, tanto en rocas ígneas

como sedimentarias, y en menor medida en rocas metamórficas. Esta técnica permite obtener la orientación de la fábrica magnética, que se expresa geoméricamente como un elipsoide con valores diferentes de la susceptibilidad magnética  $k$  a lo largo de sus tres ejes principales ( $k_{max} > k_{int} > k_{min}$ ), siendo  $k_{min}$  el polo de la foliación magnética y  $k_{max}$  la lineación magnética (Tarling y Hroudá, 1993; Borradaile y Henry, 1997). La fábrica magnética se ha mostrado como un indicador especialmente sensible a la deformación progresiva en rocas sedimentarias (Oliva-Urcia *et al.*, 2013; Parés, 2015).

Para analizar la fábrica magnética de las rocas de este sector del Arco Vasco, se han realizado 17 estaciones de muestreo con un taladro eléctrico, obteniendo entre 3 y 10 testigos orientados *in situ* por estación, en total 91. Posteriormente estos testigos se han cortado en muestras estándar (25 x 21 mm), obteniendo un total de 253 especímenes (entre 10 y 28 por estación) que han sido analizados mediante un susceptómetro MFK1-A de AGICO, en el laboratorio de ASM de la Universidad del País Vasco. En este trabajo, las 17 estaciones de

muestreo se han agrupado para su descripción en 8 zonas (Fig. 1B y 2). De las 8 zonas, 5 (70 % de testigos) se sitúan en el flanco noreste del sinclinorio y 3 (30 % de testigos) en el núcleo, en ambos casos distribuidos longitudinalmente a lo largo de la estructura mayor (Fig. 1B). En todas las zonas se ha muestreado tanto en las capas de margas como en las calcarenitas y se han realizado observaciones y medidas estructurales para compararlas con los resultados de la fábrica magnética.

## Resultados

Los valores de susceptibilidad magnética ( $km = 1/3 (k_{max} + k_{int} + k_{min})$ ) son bajos y varían entre 99 y 403 x 10<sup>-6</sup> SI, con valores entre 100 y 275 x 10<sup>-6</sup> SI para el 95 % de las muestras. Estos valores de  $km$  sugieren que los minerales paramagnéticos son los portadores de la señal magnética de las rocas analizadas.

El parámetro de anisotropía corregido,  $P_j$ , que refleja la intensidad de la orientación preferente de los minerales magnéticos varía entre 1.008 y 1.228, con valores entre 1,010 y 1,175 para el 94 % de las muestras. Son valores que indican que hay una deformación sobrepuesta a las fábricas primarias de origen sedimentario.

La foliación magnética presenta para todas las muestras (Fig. 2A y B) una distribución uniforme, con los ejes  $k_3$  bien agrupados, y tiene una dirección ONO-ESE, paralela a la dirección estructural del sinclinorio, con buzamientos medios-altos hacia el SO.

La lineación magnética se orienta en dos direcciones principales en función de su posición estructural dentro del sinclinorio. Así, las lineaciones situadas en el núcleo (Zonas 1-3, Fig. 1B), con direcciones N110°-120°E, son paralelas al eje del sinclinorio y a los ejes de pliegues menores medidos durante el trabajo de campo, que tienen buzamientos bajos, mayoritariamente hacia el ONO (Fig. 2A y C). Por otro lado, las lineaciones magnéticas localizadas en el flanco noreste (Zonas 4-8, Fig. 1B) se orientan perpendicularmente al eje del sinclinorio, hacia el Sur y con buzamientos muy elevados (Fig. 2B y D).

Si consideramos la relación entre las fábricas magnéticas y las estructuras presentes en el campo encontramos dos tipos principales de comportamientos. Por una parte, las fábricas del núcleo se caracterizan

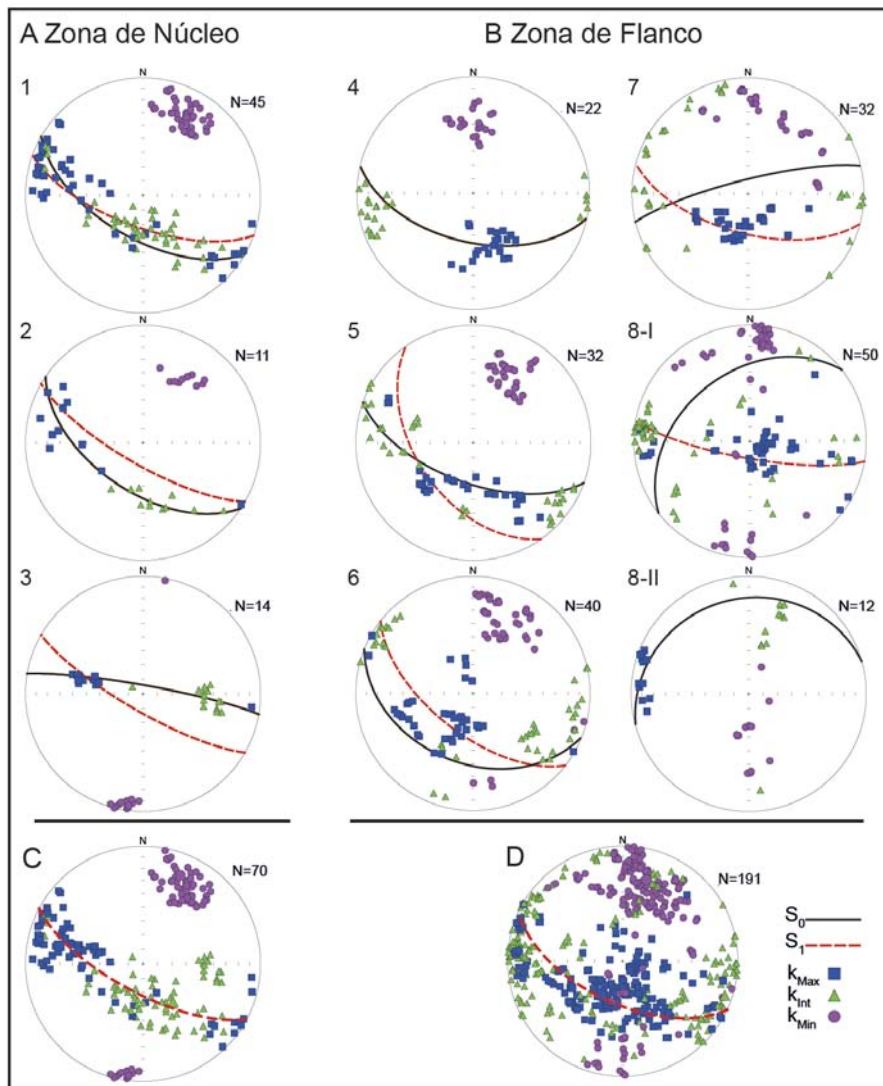


Fig. 2.- Proyección de los ejes principales del elipsoide magnético. Se ha indicado la orientación de los planos  $S_0$  y  $S_1$  reconocidos en el afloramiento. Los números sobre los diagramas se corresponden con las zonas muestreadas (véase Fig. 1B para localización). A) Diagramas del núcleo del sinclinorio. B) Diagramas del flanco. Suma de todos los diagramas C) del núcleo, y D) del flanco. Proyección equiareal hemisferio inferior. Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- Projection of the main axes of the magnetic ellipsoid. The orientation of  $S_0$  and  $S_1$  planes measured on the outcrop is indicated. The numbers on the diagrams correspond to the sampled zones (see Fig. 1B for location). A) Diagrams from the core of the synclinorium. B) Diagrams from the limb. Summary diagrams. C) from the core, and D) from the limb. Equal-area projection, lower hemisphere. See color figure in the web.

porque  $k_1$  se sitúa próximo a la intersección entre los planos  $S_0$  y  $S_1$ , mientras que  $k_3$  se agrupa sobre el polo de  $S_0$  (Fig. 2A y C). Por otra parte, las fábricas magnéticas registradas en el flanco noreste del sinclinorio se caracterizan en su mayoría por la concentración de  $k_1$  sobre la línea de máxima pendiente de  $S_1$ , apareciendo  $k_3$  más disperso que en el caso anterior, pero mostrando una tendencia a agruparse en torno al polo de  $S_1$  (Fig. 2B, diagramas 5, 6, 7 y 8-I, y 2D). Algunos casos aislados en el flanco muestran situaciones intermedias. Así, en la zona 4 (Fig. 2B, diagrama 4) la

lineación magnética se dispone sobre la línea de máxima pendiente de la  $S_0$ , en lugar de sobre la  $S_1$  como en el resto del flanco. También se observan casos como el de la figura 2B 8-II, en el que las orientaciones de  $k_1$  se asemejan a las registradas en la zona del núcleo.

En cuanto al control de la litología sobre las fábricas magnéticas de estos materiales, a diferencia de lo que suele preconizarse (Tarling y Hrouda, 1993), no se aprecian variaciones sustanciales en la orientación de la fábrica magnética entre las margas y las calcarenitas (Fig. 3A). Sin

embargo, sí se observan diferencias en la geometría del elipsoide magnético, dentro de una misma estación, siendo más planares los elipsoides asociados a litologías margosas, y plano-lineares en el caso de las calcarenitas, más competentes (Fig. 3B).

## Discusión

Estudios previos sobre deformación en rocas sedimentarias mediante la utilización de la ASM describen relaciones entre los ejes del elipsoide magnético similares a las encontradas en el núcleo del sinclinorio e interpretan este tipo de fábricas como el resultado de la mezcla entre fábricas de origen sedimentario y tectónico (Borradaile y Tarling, 1981; Parés y Dinarès, 1993). Sin embargo, las fábricas de las muestras situadas en el flanco son similares a las descritas por otros autores como de origen tectónico, en las que la fábrica tectónica predomina sobre la sedimentaria (Lamarche y Rochette, 1987; Hirt *et al.*, 2000). Este análisis preliminar de la fábrica magnética en las zonas estudiadas del Sinclinorio de Bizkaia muestra dos sectores claramente diferenciados en cuanto a la intensidad de la deformación registrada. En el núcleo del sinclinorio los materiales registran una fábrica intermedia, en la que la fábrica sedimentaria está afectada por una fábrica tectónica superpuesta, mientras que los materiales situados en el flanco NE del sinclinorio registran en su mayoría una fábrica esencialmente de origen tectónico. Además, la lineación magnética es paralela a los ejes de los pliegues en las zonas del núcleo, indicando que el registro magnético está reflejando la deformación asociada a los pliegues de orientación NO-SE. En el flanco, la lineación magnética presenta valores altos de inmersión hacia el SSO, que no se corresponden con la orientación de la intersección  $S_0/S_1$ , ni con los ejes de los pliegues (Fig. 1D).

En este sentido, el estudio de la ASM en el flanco muestra un aumento de la deformación registrada con respecto al núcleo. Esta distribución de la deformación no es la esperable en un pliegue, donde la deformación normalmente se concentra en las zonas más internas, lo que sugiere la influencia de otro accidente tectónico, no identificado hasta ahora, que concentre el acortamiento y modifique la fábrica magnética. El trabajo de campo realizado en la zona estudiada pone de manifiesto la presencia de una banda en

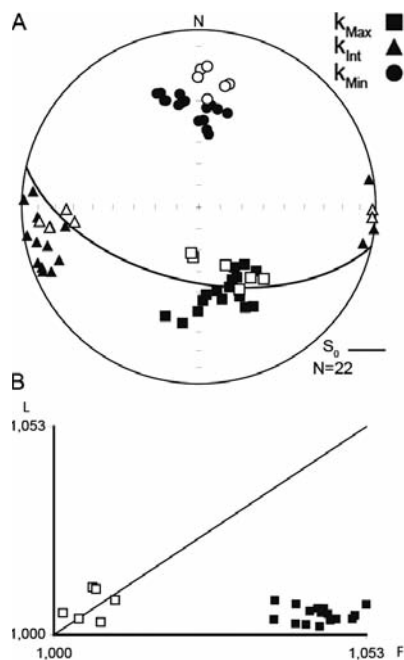


Fig. 3.- Características de la fábrica magnética de la zona 4 (véase Fig. 1B para localización). Las margas están representadas en negro y las calcarenitas en blanco. A) Diagrama de los ejes principales del elipsoide magnético. Proyección equiareal, hemisferio inferior. B) Diagrama de Flinn de la lineación magnética,  $L$  ( $k_{max}/k_{int}$ ), frente a la foliación magnética,  $F$  ( $k_{int}/k_{min}$ ).

Fig. 3.-Magnetic fabric features for zone number 4 (see Fig. 1B for location). Black symbols represent marls and white ones sandy-limestones A) Projection of the main axes of the magnetic ellipsoid. Equal-area projection, lower hemisphere. B) Magnetic lineation  $L$  ( $k_{max}/k_{int}$ ) vs magnetic foliation  $F$  ( $k_{int}/k_{min}$ ) in Flinn diagram.

el flanco NE del sinclinorio donde, a diferencia del núcleo, la foliación aflora de manera continua y penetrativa. Así, la interpretación conjunta de los datos de campo y de ASM indica la presencia probable de zonas de cizalla dentro de la Formación Calcárea del Cretácico Superior, paralelas a otras estructuras de carácter regional reconocidas anteriormente,

como la Falla de Azpeitia (Cuevas *et al.*, 1999). Esto explicaría la orientación de la lineación magnética en el flanco del Sinclinorio de Bizkaia, que sería paralelo al movimiento de alto buzamiento hacia el NE asociado a estas zonas de cizalla en el proceso de inversión tectónica de la cuenca.

## Conclusiones

A partir de este trabajo se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Las fábricas magnéticas registradas en este sector del Sinclinorio de Bizkaia son diferentes en función de su posición estructural dentro del mismo, especialmente en lo que se refiere a la orientación de la lineación magnética y a su relación con la estratificación y la foliación observables en el campo.

- El núcleo del sinclinorio registra fábricas magnéticas con un origen mixto sedimentario y tectónico, mientras que la zona del flanco está representada por fábricas tectónicas.

- La acumulación de la deformación en la zona del flanco permite detectar una zona de cizalla de escala regional, que no había sido reconocida previamente.

- La lineación magnética puede utilizarse como indicador para localizar y delimitar zonas de cizalla asociadas a estructuras tectónicas mayores y definir la dirección de transporte de los materiales.

## Agradecimientos

Los autores agradecen los comentarios y correcciones realizados por la Dra. Teresa

Román y el Dr. Emilio Pueyo en la revisión del manuscrito. Este trabajo ha sido financiado por el proyecto EHU15/30 de la UPV/EHU.

## Referencias

- Borradaile, G.J. y Henry, B. (1997). *Earth Science Reviews* 42, 49-93.
- Borradaile, G.J. y Tarling, D.H. (1981). *Tectonophysics* 77, 151-168.
- Cuevas, J., Aranguren, A., Badillo, J.M. y Tubía, J.M. (1999). *Boletín Geológico y Minero* 110, 3-18.
- Garrote, A., García, J., Fernández, J., Cerezo, A., Tijero, F. y Zapata, M. (1985). *Mapa geológico del País Vasco escala 1:25.000, hoja nº 63-III (Eibar) y memoria*. EVE.
- Hirt, A., Julivert, M. y Soldevilla, J. (2000). *Tectonophysics* 320, 1-16.
- Lamarche, G. y Rochette, P. (1987). *Tectonophysics* 139, 285-293.
- Oliva-Urcia, B., Román-Berdiel, T., Casas, A., Bógalo, M.F., Osácar M.C. y García-Lasanta, C. (2013). *Journal of structural Geology* 46, 220-234.
- Olivé, A., Ramírez, J.I., y Gabaldón, V. (1985). *Mapa geológico a escala 1:200.000, hoja 5-12 (Bermeo-Bilbao)*. IGME Madrid.
- Parés, J.M. (2015). *Frontiers in Earth Science* 3, article 4.
- Parés, J.M. y Dinarès, J. (1993). *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity* 45, 193-205.
- Rodríguez, L., Esteban, J. J., Vegas, N., y Cuevas, J. (2008). *Geogaceta* 44, 23-26.
- Tarling, D.H. y Hrouda, F. (1993). *The magnetic anisotropy of rocks*. Chapman and Hall, London, 217 p.
- Tugend, J., Manatschal, G., Kuszniir, N. J., Masini, E., Mohn, G. y Thinon, I. (2014). *Tectonics* 33(7), 1239-1276.