

Registro de la deformación a escala microestructural en el cabalgamiento de Gavarnie (Zona Axial Pirenaica)

Microstructural analysis of the strain record in the Gavarnie Thrust (Axial Zone, Pyrenees)

Marcos Marcén¹, Teresa Román-Berdiel¹ y Elisabetta Mariani²

¹ Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, Spain.
mma@unizar.com; mtdjrb@unizar.es;

² Earth, Ocean and Ecological Sciences, University of Liverpool, J. Herdman Building, Liverpool, L69 3GP, United Kingdom.
Mariani@liverpool.ac.uk

ABSTRACT

The Gavarnie Thrust shows a 30m thick fault zone developed in the amipelitic and calcareous Silurian rocks, with a record of ductile deformation (mylonites) close to the main thrust plane and a progressive increase of the brittle deformation towards the marginal areas of the fault zone. The analysis of thin-sections under reflected and transmitted light with optical microscope reveals that calcite and phyllosilicates control the strain distribution in the fault rocks, leading to generation of mylonitic foliations and ductile-brittle S-C-C' structures, respectively. Dinamic recrystallization, solution-precipitation and intracrystalline deformation generate shape preferred orientation in calcite grains. The main shear indicators (S-C-C', brittle Riedel fractures, oblique foliations, pressure-shadows on pyrites...) are compatible with the South vergence of the Gavarnie Thrust, and no relevant oblique component of displacement has been observed.

Key-words: Microstructural analysis, mylonitic foliation, S-C-C' structures, shear zones, Gavarnie Thrust.

RESUMEN

El cabalgamiento de Gavarnie presenta una zona de falla de unos 30m de espesor desarrollada en ampelitas y carbonatos silúricos, con registro de deformación dúctil (milonitas) en zonas próximas al plano de cabalgamiento principal y un aumento progresivo de la deformación frágil hacia zonas externas en la zona de falla. El análisis de láminas delgadas, bajo microscopio de luz reflejada y transmitida, revela el control y distribución de la deformación por la calcita y los filosilicatos s.l., desarrollando respectivamente foliaciones miloníticas y estructuras semi-dúctiles S-C-C'. Procesos de recristalización dinámica, disolución-precipitación y deformación intracristalina conllevan la generación de orientaciones preferentes de forma en los granos minerales de calcita. Los principales indicadores cinemáticos (S-C-C', fracturas frágiles de Riedel, foliaciones oblicuas, sombras de presión en piritas...) son compatibles con la vergencia Sur del Cabalgamiento de Gavarnie, sin observarse componentes oblicuas relevantes en el desplazamiento.

Palabras clave: Análisis microestructural, Foliación milonítica, estructuras S-C-C', zonas de cizalla, Cabalgamiento de Gavarnie.

Geogaceta, 61 (2017), 99-102
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 18 de julio de 2016
Revisión: 3 de noviembre de 2016
Aceptación: 25 de noviembre 2016

Introducción

Presentamos en este trabajo el estudio micro-estructural realizado en el Cabalgamiento de Gavarnie (CG), Pirineo Central, a partir de observaciones bajo microscopio óptico, tanto de luz transmitida como reflejada. El uso combinado de ambas técnicas, (Passchier y Trouw, 2005), puede contribuir a la caracterización estructural y cinemática de rocas de falla s.l. La utilización del microscopio de luz reflejada es especialmente útil cuando hay abundancia de minerales opacos en la matriz (óxidos de Fe, grafito...) o cuando la cantidad de materia orgánica en la zona de falla es elevada, hecho muy

frecuente al constituir éstas vías preferentes de circulación de fluidos.

El estudio microestructural es de especial relevancia en la correcta interpretación de la cinemática del cabalgamiento y para determinar el tipo de deformación y comportamiento reológico (elástico-friccional o frágil, cuasi-plástica y gradaciones intermedias) y de forma aproximativa las condiciones de temperatura y presión dominantes durante la deformación.

Metodología

El estudio se ha llevado a cabo en el afloramiento del cabalgamiento de Gavarnie del

Valle de Barrosa, en Pirineo Central, Comarca del Sobrarbe, Huesca (N 42,722°; E 0,148°). La toma de datos estructurales y de muestras se hizo a lo largo 3 perfiles: uno principal en la horizontal (300 m de longitud), paralelo al propio plano del cabalgamiento y dos en dirección perpendicular (vertical) al cabalgamiento, atravesando la zona de falla.

Para el estudio micro-estructural se han obtenido 18 láminas delgadas orientadas, de las cuales 9 se han obtenido en el perfil horizontal y otras tantas en los perfiles verticales. De todas ellas, 13 son perpendiculares al plano de la foliación tectónica, conteniendo la lineación de estiramiento observada en campo, o dirección de cizalla de los planos C,



Fig. 1. A) Mapa geológico de los Pirineos. ZSP: Zona Sur Pirenaica. FNP: Falla Norpirenaica. B) corte de la Zona Axial en la zona estudio. Modificado de Izquierdo-Llavall *et al.* (2015). C) Mapa geológico de la zona estudiada. En recuadro rojo el sector del cabalgamiento analizado. Ver figura en color en la web.

Fig. 1 A) Geological map of the Pyrenees. ZSP: South-Pyrenean Zone. FNP: North Pyrenean Fault. B) Geological cross section of the Axial Zone in the studied zone. Modified from Izquierdo-Llavall *et al.* (2015). C) Geological map of the studied area. Into the red box, appears the studied sector of the Gavarnie Thrust. See color figure in the web.

es decir, en el plano X-Z del elipsoide de deformación. Además, realizamos 5 láminas delgadas perpendiculares a la foliación y a la lineación (en el plano Y-Z del elipsoide de deformación) para comprobar o descartar la presencia de componentes oblicuas del movimiento o incluso paralelas a la dirección del cabalgamiento. Para la observación a luz reflejada las láminas han sido pulidas a un paso de 1 μ m.

Contexto Geológico

El CG constituye uno de los principales elementos tectónicos de la Zona Axial de los Pirineos, la cual se estructura durante la Orogenia Alpina en una serie de cabalgamientos apilados, de vergencia sur, que definen una geometría antiformal en tectónica de piel gruesa y secuencia de bloque inferior (Fig. 1A y B). En la zona de estudio estos cabalgamientos han sido denominados Gavarnie, Millares, Bielsa y Guarga (Martínez-Peña y Casas-Sainz, 2003) y serían en parte equivalentes a los descritos por Muñoz (1992), sobre el perfil ECORS-Pyrénées, situado más al Este.

El CG superpone en el afloramiento estudiado materiales silúricos y devónicos en bajo grado metamórfico sobre materiales cámbricos y ordovícicos en alto grado metamórfico, granitoides tardi-variscos (Casas *et al.*, 2003) y la cutícula de materiales permo-triásicos y cretácicos discordantes sobre el Paleozoico en la Unidad de Bielsa. Esta peculiar disposición puede deberse a la actividad extensional de la falla durante el periodo tardi-varisco y a su posterior reactivación parcial durante la orogenia alpina. Trabajos previos revelan la vergencia sur del cabalgamiento (Parish, 1984), así como procesos de cizalla simple y pura (de Bresser *et al.*, 1989) y condiciones de temperatura en torno a los 200-300°C (Grant, 1990; McCaig *et al.*, 2000). Los materiales mesozoicos presentan un espesor muy irregular e inferior a 50 m en la zona de estudio (Fig. 2A). La zona de falla correspondiente al cabalgamiento de Gavarnie presenta espesores variables, en torno a 30 m, como una banda paralela a la superficie de cabalgamiento (Fig. 2A), con geometría subhorizontal y expresión cartográfica extremadamente irregular debido a lo accidentado del relieve.

Resultados

A escala de afloramiento

La zona de falla del CG en el afloramiento estudiado se ha desarrollado fundamentalmente en las filitas y calizas del Silúrico Superior que por sus características reológicas han actuado como el principal nivel de acomodación de la deformación en la zona de falla (Fig. 2A). Desde el plano principal de cabalgamiento (PPC), situado en la base de la zona de cizalla en contacto con los mesozoicos del bloque inferior, hacia la zona superior de la zona de falla, se observa la disminución del desarrollo de las estructuras S-C-C' y foliaciones miloníticas (Fig. 2B y C) y el aumento de estructuras frágiles y brechificación. Las lineaciones de estiramiento y las direcciones de transporte deducidas a partir de las estructuras S-C indican una clara vergencia hacia el S, con una dirección promedio de N190E. Los materiales del bloque inferior del cabalgamiento presentan foliaciones bien desarrolladas y puntualmente estructuras S-C.



Fig. 2.- A) Aspecto de la zona de falla en el Silúrico cabalgante sobre las calizas cretácicas. PPC: plano principal de cabalgamiento B) Foliación milonítica en calizas silúricas. C) Estructuras S-C-C' en filitas: foliación milonítica peor desarrollada. Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- A) Appearance of the fault zone developed in the Silurian, thrusting over the Cretaceous Limestones. PPC: main thrust plane. B) Mylonitic foliation in Silurian limestones. C) S-C-C' structures in phyllites: mylonitic foliation with lesser development. See color figure in the web.

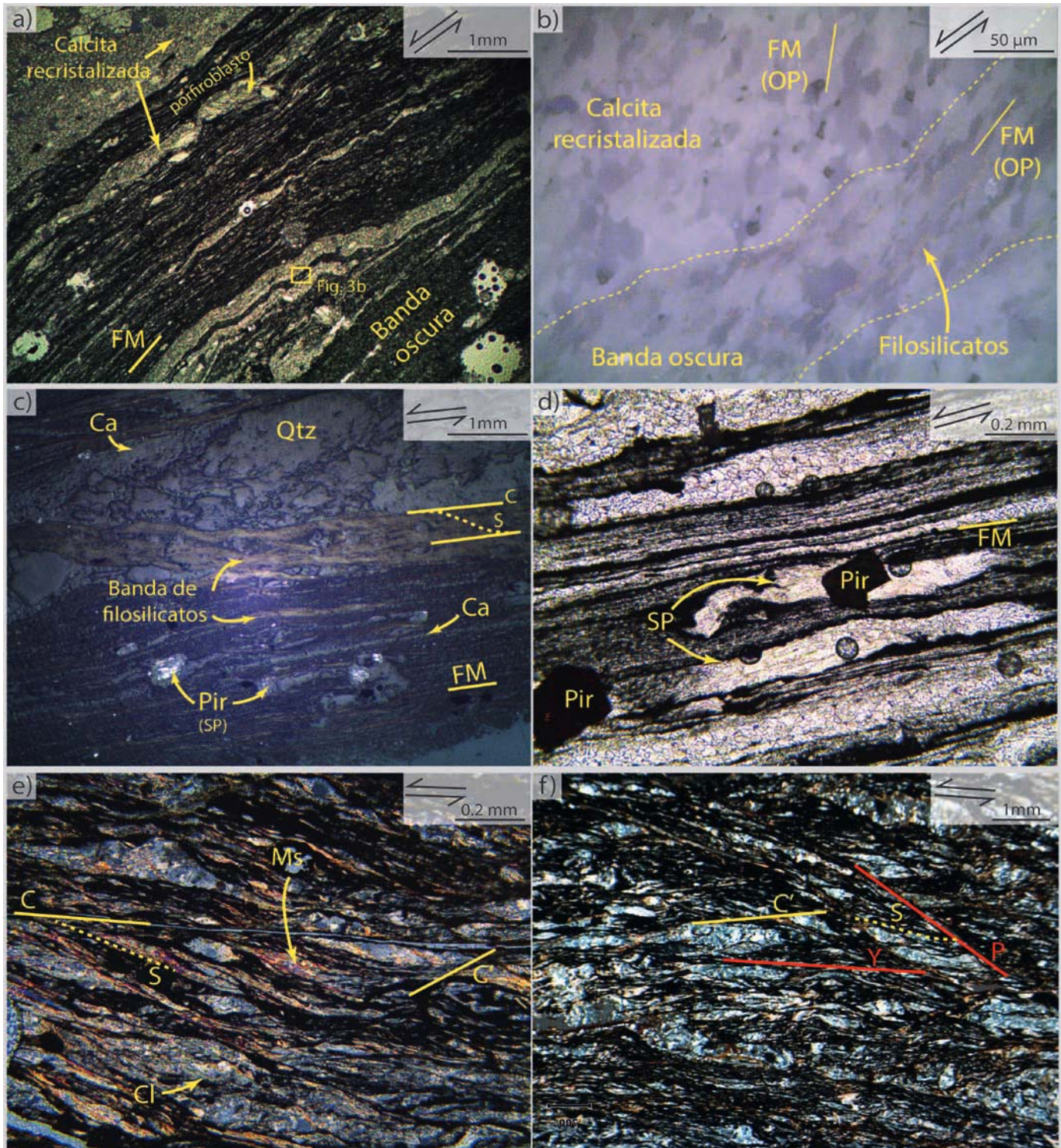


Fig. 3. Ejemplos de las diferentes estructuras observadas. A) Foliación milonítica en muestra carbonatada, con la alternancia de bandas oscuras y calcita recrystalizada con porfiroblastos. Luz transmitida (Lt), nicoles paralelos (Np), Obj. x2,5. B) Diferencias en la textura cristalina de la calcita. La OPF en la banda clara es oblicua y menos desarrollada que en la banda oscura, rica en filosilicatos. Luz reflejada (Lr), Np, Obj. x40. C) Foliación milonítica desarrollada en calcita, estructuras S-C en filosilicatos, sombras de presión en piritas reemplazadas y cuarzos sin deformación en grandes blastos. Lr, np, Obj. x2,5. D) Sombras de presión en piritas y foliación milonítica en calcita. Lt, np, Obj. x10. E) Estructuras S-C-C' en filitas. Lt, nicoles cruzados, Obj. x10. F) Estructuras frágil-dúctiles C' y S combinadas con estructuras frágiles Y y P de Riedel. Lt, np, Obj. x4. Siglas: FM: foliación milonítica; OPF: Orientación preferente de forma; Ca: calcita; Qtz: Cuarzo; Pir: Pirita; SP: Sombras de presión; Ms: Moscovita; Cl: clorita.

Fig. 3. Examples of several recognized structures. A) Mylonitic foliation in calcite, with dark calcite bands and recrystallized calcite bands with porphyroblasts. Transmitted light (TL), parallel polarized light (Ppl), Obj. x2.5. B) Different textures in calcite. SPO in white band is oblique and less developed than in dark one. Reflected light (RL), Ppl, Obj. x40. C) Mylonitic foliation in calcite, S-C structures in phyllosilicates, pressure-shadows in replaced pyrites and undeformed quartz in blast. TL, ppl, Obj. x2.5. D) Pressure-shadows in pyrites and mylonitic foliation in calcite. TL, ppl, Obj. x10. E) S-C-C' structures in phyllosilicates. TL, crossed polarized light, Obj. x10. F) Brittle-ductile S-C' structures mixed with Y and P fractures of Riedel. TL, ppl, Obj. x4. Legend: FM: mylonitic foliation; OPF: shape preferred orientation; Ca: calcite; Qtz: quartz; Pir: pyrite; SP: pressure-shadows; Ms: muscovite; Cl: Chlorite

A escala microestructural

En el afloramiento en su conjunto, son dos los principales factores que controlan las características microestructurales de la roca: 1) la distancia al PPC, que al incrementarse reduce el carácter dúctil de la deformación y 2) la mineralogía de las muestras, al ser la calcita y los filosilicatos los principales minerales que acomodan la mayor parte de la deformación. La calcita se comporta de forma dúctil generándose deformación plástica y foliaciones miloníticas, mientras que se desarrollan preferentemente estructuras S-C-C' en filosilicatos y cuarzo.

Las muestras ricas en calcita presentan un bandeo milonítico (Fig. 3A, B, C y D) formado por: 1) bandas oscuras en donde la calcita presenta orientaciones preferentes de forma (OPF) intensamente desarrolladas y la materia orgánica y los filosilicatos, de tamaño de grano muy fino, se ubican entre los granos de carbonato (Fig. 3b), 2) bandas claras de calcita recrystalizada pura (Fig. 3A, B y D) y 3) bandas de filosilicatos, opacos bajo luz reflejada por ser ricos en materia orgánica y por su pequeño tamaño de grano (Fig. 3C). Este bandeo es paralelo a los planos de foliación (S) o de cizalla (C) reconocidos en el estudio a escala de afloramiento, a su desarrollo y al paralelismo entre ellas se ve reducido hacia posiciones más alejadas del PPC. En las bandas oscuras el contacto entre los granos es cóncavo-convexo con extinciones ondulantes en cuarzoes aislados y puntualmente en calcita y tamaños de grano menores que en las bandas de calcita recrystalizada, en donde los contactos entre granos tienden a ser rectilíneos, la OPF es oblicua a la foliación milonítica y la relación X/Z es inferior a la de los granos de calcita de las bandas oscuras (Fig. 3B). Excepto en porfiroblastos, en ningún caso la calcita presenta maclado visible al microscopio.

Desde un punto de vista cinemático, cuando las foliaciones miloníticas están bien desarrolladas, los principales indicadores son las sombras de presión en las piritas (Fig. 3D, muy frecuentes en la zona de falla) y los porfiroblastos de calcita en formas δ y σ (Passchier y Trouw, 2005, y referencias allí incluidas). Hacia zonas más alejadas del PPC, estructuras S-C, foliaciones oblicuas, estructuras en dominó o pliegues de arrastre asociados a bandas de cizalla son reconocibles e indicativos la vergencia sur del CG.

Las filitas cercanas al PPC muestran milonitas S-C (Figs. 3E y 3F). En estas rocas, los filosilicatos concentran la deformación, ocupando tanto los planos S (mayoritariamente) como los C o C' y con foliación milonítica y OPF peor desarrolladas. Estas milonitas S-C

también contienen agregados policristalinos de cuarzo, de forma sigmoidal y con orientación coincidentes con la de los planos S. A diferencia de las muestras ricas en calcita, la deformación presenta un carácter muy heterogéneo, siendo frecuente que en una misma lámina coexistan dominios controlados por las S-C y dominios controlados por los planos C' (Fig. 3F). Además, es frecuente observar estructuras frágiles en orientaciones Y y P de Riedel (Fig. 3F), así como un sistema conjugado de fracturas con aparente desplazamiento normal.

En zonas alejadas del PPC la deformación es principalmente frágil y son los planos Y de Riedel los mejor desarrollados, asociándose a ellos procesos de disolución. Estructuras de Riedel en orientaciones R también son reconocibles, seccionando y desplazando los clastos de filosilicatos.

Interpretación

Tanto a escala de afloramiento, como a partir del estudio de láminas delgadas, se ha observado una disminución, en términos cualitativos, del grado de deformación conforme aumenta la distancia al PPC, teniendo en cuenta el menor desarrollo de foliaciones miloníticas y el aumento de estructuras frágiles, tanto en muestras carbonatadas como en las ricas en filosilicatos y cuarzo. En líneas generales, se ha interpretado deformación viscosa o dúctil en muestras carbonatadas (Fig. 3A, B, C y D) y dúctil-frágil en las muestras ricas en filosilicatos y cuarzo (Fig. 3E y F), siendo la calcita y los filosilicatos los minerales que acomodan la deformación. Inferimos la presencia de una cizalla simple, responsable de la foliaciones oblicuas a los planos de cizalla, sombras de presión en las piritas, etc., y una cizalla subsimple (de Bresser, 1989), asociada a un aplastamiento en la perpendicular al plano de cabalgamiento, teniendo en cuenta la presencia de fracturas con desplazamiento normal.

En cuanto a los procesos de deformación que imperan se puede interpretar deformación intracristalina (extinción ondulante en el cuarzo y maclado en algunos porfiroblastos de calcita), recrystalización dinámica, y procesos de disolución-precipitación (reducción en el tamaño de grano y contactos cóncavo-convexos en la calcita, Fig. 3B). Es destacable la ausencia de un maclado generalizado en la calcita, y más teniendo en cuenta que trabajos previos indican temperaturas de deformación relativamente bajas (Grant, 1990; McCaig *et al.*, 2000), a las cuales el maclado es el prin-

cipal mecanismo de deformación en la calcita. Procesos de recuperación cristalina podrían ser los causantes de dicha ausencia.

El bandeo de calcita pura se interpreta como un bandeo de origen tectónico. La ausencia de filosilicatos podría ser la responsable del mayor tamaño de los granos de calcita en las bandas claras (Handy 1994), así como que el menor desarrollo y débil oblicuidad de la OPF respecto a la observada en las bandas oscuras (Fig. 3B) sea causado por procesos de recrystalización dinámica y desorientación de subgranos (Lister y Snoke, 1984).

A nivel cinemático, la mayor parte de los criterios observados son compatibles con el desplazamiento hacia el S del Cabalgamiento de Gavarnie con un desplazamiento inverso puro.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Servicio General de Apoyo a la Investigación-SAI de la Universidad de Zaragoza la elaboración de las láminas delgadas y su complicado pulido. Este estudio ha sido financiado por el proyecto de investigación CGL2013-42670-P y BES-2014-0700167 del MINECO. Los autores agradecen la revisión del artículo por Txema Tubía y Carlos Fernández, así como los comentarios y corrección de Antonio Casas.

Referencias

- De Bresser, J.H.P. (1989). *Geologie en Mijnbouw* 68, 367-375.
- Casas-Sainz, A.M., Oliva-Urcía, B., Román-Berdiel, T. y Pueyo, E. (2003). *Geodinamica Acta* 16, 99-117.
- Grant, N.T. (1990). *Journal of Structural Geology* 12, 835-850.
- Handy, M.R. (1994). *Journal of Structural Geology* 16, 287-301.
- Izquierdo-Llavall, E., Casas-Sainz, A. M., Oliva-Urcía, B., Burmester, R., Pueyo, E. L. y Housen, B. (2015). *Geophys. J. Int.* 201, 891-914.
- Lister G.S. y Snoke A.W. (1984). *Journal of Structural Geology* 6, 617-638.
- Martínez-Peña, M.B. y Casas-Sainz, A.M. (2003). *International Journal of Earth Science* 92, 99-113.
- McCaig, A.M, Wayne, D.M. y Rosenbaum, J.M. (2000). *GSA Bulletin* 112, 1199-1208.
- Muñoz, J.A. (1992). En: *Thrust Tectonics* (K.R. McClay, Ed.). Chapman & Hall, New York, 235-246.
- Parish, M. (1984). *Journal of Structural Geology* 6, 247-255.
- Passchier, C.W. y Trouw, R.A.J. (2005). *Microtectonics*. Springer, Berlin, 353p.