

# Las rocas de falla del cabalgamiento de Daroca (sector central de la Cordillera Ibérica): interpretación reológica y cinemática

*The fault rocks of the Daroca thrust (central Iberian Chain): rheological and kinematical interpretation*

Marta Ansón Sánchez<sup>1,2</sup>, Andrés Gil Imaz<sup>2</sup> y José Luis Simón Gómez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Geológico y Minero de España. C/ Ríos Rosas 23, 28003 Madrid, España. m.anson@igme.es

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza, España. agil@unizar.es, jsimon@unizar.es

## ABSTRACT

We present a detailed meso- and micro-scale structural analysis and a mineralogical study of the fault rocks linked to the Daroca thrust (central sector of the Iberian Chain). The related shear zone exhibits variable width ranging from a few centimeters to tens of meters. The microfabric features indicate a brittle-ductile behaviour of fault rocks during deformation, but the lack of evidence about the authigenic character of minerals avoids to constrain the P-T conditions. We propose a kinematical and rheological model characterized by heterogeneous shear deformation of palaeozoic rocks associated with a thrust ramp at depth, and a final epiglyptic emplacement with transport direction towards the ENE and the NNE.

**Key-words:** Fault rock, Daroca thrust, Iberian Chain.

## RESUMEN

Se presenta un análisis detallado, a escala micro- y mesoestructural y un estudio mineralógico de las rocas de falla asociadas al cabalgamiento de Daroca (sector central de la Cordillera Ibérica). La zona de falla asociada al cabalgamiento de Daroca muestra una anchura que varía desde pocos centímetros a varias decenas de metros. Los rasgos de la microfábrica indican un comportamiento frágil-dúctil durante la deformación, si bien la falta de evidencia sobre el carácter autígeno de los minerales impide acotar las condiciones P-T. Se propone un modelo cinemático y reológico caracterizado por una deformación heterogénea de rocas paleozoicas asociada a una rampa en profundidad, y un emplazamiento final de carácter epigléptico con transporte hacia el ENE y el NNE.

**Palabras clave:** Roca de falla, cabalgamiento de Daroca, Cordillera Ibérica.

Geogaceta, 61 (2017), 75-78  
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

## Introducción

La Cuenca de Calatayud se originó durante el Paleógeno y comienzos del Neógeno bajo un régimen tectónico compresivo, como consecuencia del levantamiento de los dos grandes anticlinales NW-SE, de núcleo paleozoico, que caracterizan la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica (Cortés Gracia y Casas Sainz, 2000).

En el entorno de Daroca, la cuenca cenozoica queda limitada por dos estructuras cabalgantes de orientación ibérica NW-SE (Fig. 1): el cabalgamiento de Daroca, por el norte, estructura varisca de primer orden que representa el contacto entre las unidades de Badules (bloque superior) y de Herrera (bloque inferior) (Carls, 1983), y el cabalgamiento de Daroca, por el sur, que superpone unidades del Cámbrico Inferior y Medio sobre materiales sintectónicos aragoneses de la cuenca de Ca-

latayud (Julivert, 1954; Colomer, 1987; Colomer y Santanach, 1988).

Asociado a este segundo cabalgamiento, se desarrolla una banda de rocas de falla con una anchura de hasta varias decenas de metros. En este trabajo se presentan resultados del análisis estructural de dichas rocas de falla a distintas escalas, así como el estudio de su contenido mineralógico, con el fin de proponer una interpretación reológica y cinemática.

## Geometría de las estructuras

El cabalgamiento de Daroca presenta, en los alrededores de esta localidad, una traza cartográfica muy irregular (Fig. 2A), con una orientación media aproximada NW-SE a WNW-ESE. La superficie de falla presenta una rampa de bloque inferior principal con buzamiento de 30-40° al SW, y una

zona frontal (al norte del casco urbano) en rellano de bloque inferior, con un leve buzamiento (5-10°) al NE (Fig. 2B). Hay que destacar que, entre una zona y otra, la su-



Fig. 1. Localización de la zona de estudio en el contexto geológico de la Cordillera Ibérica (A) y de la Cuenca cenozoica de Calatayud (B). Ver figura en color en la web

Fig. 1.- Location of the study zone within the geological context of the Iberian Chain (A) and within the Cainozoic Calatayud Basin. See Colour figure on the web.

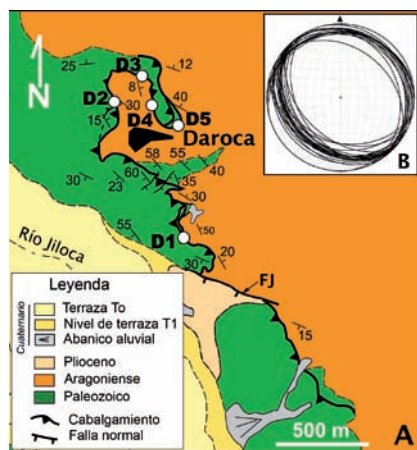


Fig. 2. A) Mapa geológico del cabalgamiento de Daroca. FJ: falla extensional del Jiloca; D1 a D5: estaciones de toma de datos meso- y microestructurales. B) Orientaciones de la superficie de cabalgamiento principal. Ver figura en color en la web.

Fig. 2. A) Geological map of the Daroca thrust. B) Orientations of the main thrust surface. FJ: extensional Jiloca fault; D1 to D5: meso- and microstructural data sites. See Colour figure on the web.

perficie de cabalgamiento muestra una total continuidad.

Esta morfología irregular de la superficie de falla y, sobre todo, el hecho de presentar buzamientos en el sentido de desplazamiento de la lámina, permiten otorgarle un carácter epiglítico, en el que la gravedad habría jugado un papel relevante (Mattauer, 1973).

Los materiales aragoneses que constituyen el relleno sintectónico de la Cuenca de Calatayud están, en su parte inferior, afectados por el cabalgamiento, mientras que sus tramos superiores llegan a fosilizar dicha estructura con una geometría en *on lap*.

Al sur de Daroca, la estructura contractiva principal aparece cortada por una falla normal de dirección WNW-ESE y fuerte buzamiento (FJ en la Fig. 2A), que pone en contacto materiales cámbricos (Fm. Dolomías de Ribota) con el Plioceno de la fosa neógena del Jiloca y provoca un desplazamiento vertical de entre 100 y 200 metros de la superficie de cabalgamiento. Esta falla, representa un segmento de la zona de falla extensional del Jiloca.

### Rocas de falla asociadas al cabalgamiento de Daroca

Las rocas de falla asociadas al movimiento de la lámina cabalgante de Daroca se disponen formando bandas de anchura variable entre unos pocos centímetros y decenas de metros, que afectan principalmente

a las unidades cámbricas del bloque superior. De forma discontinua, los materiales cenozoicos del bloque inferior aparecen ligeramente brechificados y afectados por microfallas y una fábrica S-C incipiente.

Desde el punto de vista composicional y textural, predominan fragmentos dolomíticos angulosos y, en mucha menor proporción, cuarcíticos, de tamaños muy variables (desde escala milimétrica a decimétrica). En ocasiones es posible reconocer fragmentos de estratos, de escala métrica, subparalelos a la superficie de falla principal. La coloración general de la roca de falla es grisácea a amarillenta. El porcentaje de cantos y matriz es muy variable a lo largo de toda la banda de cizalla. En el caso de los materiales cenozoicos del bloque inferior, la banda de material afectada por la trituración, de escasos centímetros de anchura, está compuesta por fragmentos de composiciones variables, flotando en una matriz rojiza o amarillenta de tamaño arena.

### Clasificación y composición mineral

La clasificación de las rocas de falla se ha llevado a cabo a partir de secciones pulidas y láminas delgadas orientadas.

De acuerdo con Woodcock y Mort (2008), las rocas estudiadas pueden incluirse dentro del grupo de rocas de falla no cohesivas, pudiéndose distinguir dos grupos principales (Fig. 3): 1) *Brechas s.l.*, caracterizadas por un porcentaje de cantos > 2 mm en torno al 60-70% y 2) *Harina s.l.*, con un porcentaje de cantos en torno al 25%, muy próximo al límite brecha-harina. Dentro del primer grupo es posible distinguir tanto muestras con un porcentaje muy elevado de cantos respecto a la matriz, con bordes muy angulosos y rectilíneos (*Brecha agrietada*, Fig. 3A), como otras con un porcentaje más elevado de matriz o cemento (*Brecha caótica*, Fig. 3B).

La caracterización mineralógica de las rocas de falla del bloque superior se ha determinado a partir de difracción de rayos X, tanto en muestra total como en agregados orientados de los minerales de la arcilla. Los minerales más abundantes en las muestras estudiadas son cuarzo y feldespatos, con contenido variable de dolomita y calcita y un porcentaje muy pequeño de óxidos de hierro (hematites), y plagioclasa. Los minerales de la arcilla más comunes son esmectitas, illitas, cloritas y caolinitas, pudiendo identificarse, localmente, moscovita

y sepiolita. Las asociaciones de minerales de la arcilla más frecuentes encontradas en las muestras analizadas son las de clorita-illita, caolinita-esmectita-illita y caolinita-illita-clorita-esmectita. No se han hallado evidencias sobre el carácter autigénico de esta mineralogía.

### Microfábrica tectónica

Desde el punto de vista microestructural, todas las rocas de falla analizadas se caracterizan, en mayor o menor medida, por la presencia de cristales, agregados minerales y clastos intensamente fracturados (Fig. 3). Se

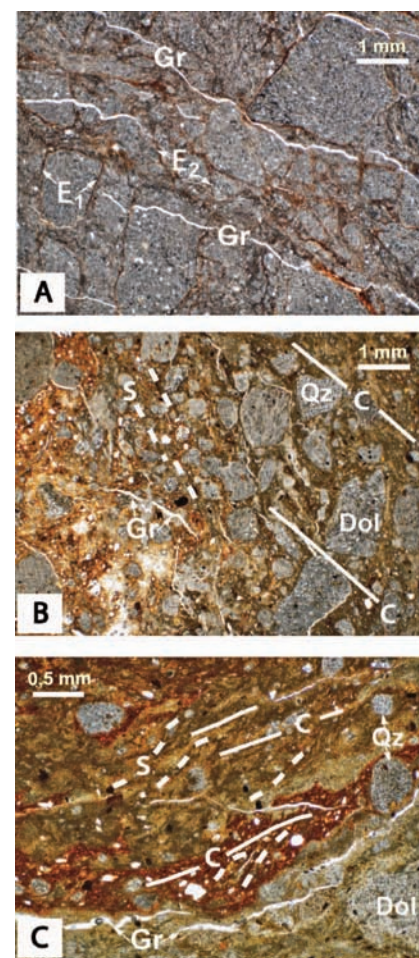


Fig. 3. Microfotografías de los distintos tipos de rocas de falla desarrolladas sobre dolomías de la Fm. Ribota en el bloque superior del cabalgamiento de Daroca. A) *Brecha agrietada*, B) *Brecha caótica*, C) *Harina de falla*. E1, E2: superficies estilolíticas, Gr: grietas de extensión, S y C: fábrica S-C, Dol.: dolomita, Qz.: agregados cuarcíticos. Ver figura en color en la web.

Fig. 3. Microphotographs of the fault rocks affecting dolostones of Ribota formation in the hanging wall of the Daroca Thrust. A) Fractured breccia, B) Chaotic breccia, C) Fault gouge. E1, E2: stylolitic surfaces, Gr: tension gashes, S and C: S-C fabric, Dol.: dolomite, Qz.: quartzitic aggregates. See Colour figure on the web.

identifican diversas familias de grietas de extensión dispuestas *en échelon*, frecuentemente plegadas, fábricas S-C y varias familias de superficies estilolíticas oblicuas entre sí (Fig. 3A y C). En algunos casos estas superficies estilolíticas llegan a definir una esquistosidad de disolución (Fig. 3A).

### Análisis estructural

El análisis estructural de la zona de falla se ha realizado a partir de cinco estaciones (D1 a D5 en Fig. 2A). Se han tomado datos de: 1) anchura de la banda de deformación, 2) características litológicas, 3) meso y microestructuras asociadas.

El mayor desarrollo de las rocas de falla (anchura visible de hasta 40 m) se encuentra en el sector de mayor buzamiento del cabalgamiento ( $\approx 40^\circ$ ), en relación de rellano de bloque superior y rampa de bloque inferior (Fig. 4A). En el sector frontal del cabalgamiento, las rocas de falla quedan restringidas a una lentícula de escala métrica de materiales paleozoicos del bloque superior (Fig. 4B). En el caso de los materiales detríticos sintectónicos del bloque inferior, el efecto del desplazamiento de la lámina se traduce en el desarrollo discontinuo de roca triturada a lo largo de una banda de anchura centimétrica y la presencia de algunas microfallas y de una fábrica S-C incipiente (Fig. 4C).

La banda de rocas de falla presenta una esquistosidad oblicua al cabalgamiento principal (planos S) y un desarrollo variable, siendo más penetrativa en el entorno de la superficie de cabalgamiento (Fig. 4A y B). En los niveles más lutíticos y, en ocasiones, en los niveles microbrechoides quedan definidas fábricas S-C (Figs. 4A y B). El ángulo entre planos S y C varía entre  $17^\circ$  y  $40^\circ$ . Además, en algunos perfiles, se han observado estructuras sigmoidales de tipo *horse*, con desarrollo de *boudins* de carácter dúctil (Fig. 4B).

La dirección de transporte obtenida a partir de las fábricas S-C es preferentemente hacia el ENE (Fig. 4), con algún registro ocasional de transporte hacia el NE y el NNE.

### Discusión y conclusiones

La combinación de mecanismos de deformación inferidos a partir del estudio meso- y microscópico permiten asignar un comportamiento frágil-dúctil a las rocas de falla estudiadas. Las asociaciones de mine-

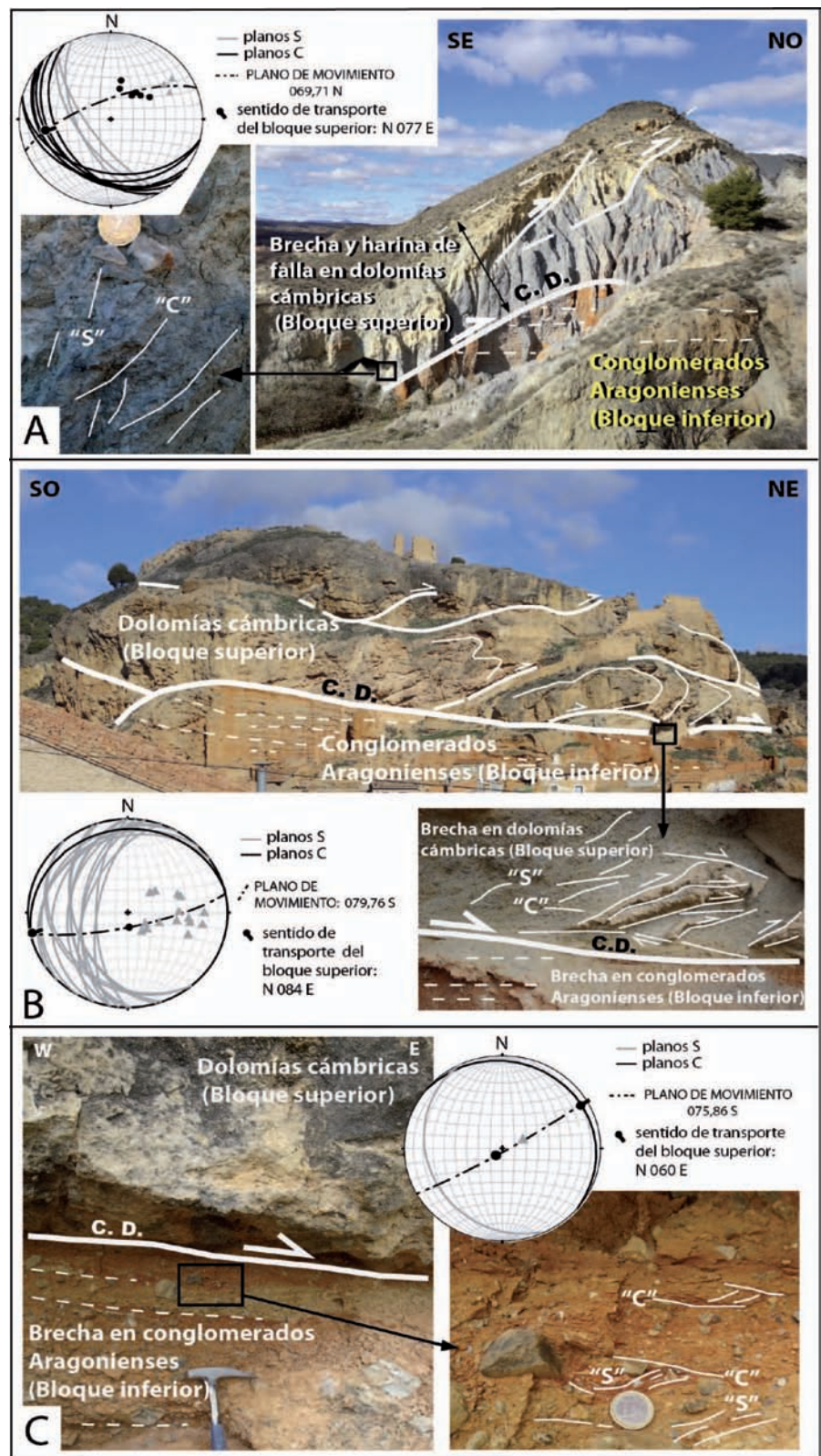


Fig. 4. Aspectos estructurales a escala de afloramiento. A) Banda de rocas de falla en la estación D1, detalle de la brecha y datos estructurales tomados en ambos bloques del cabalgamiento de Daroca (C.D.). B) Sector frontal del cabalgamiento (estación D5), con desarrollo de brecha de falla y estructuras lentiformes de tipo *horse* en el bloque inferior, y datos estructurales. C) Roca de falla desarrollada en conglomerados aragoneses y datos estructurales (estación D4). Ver figura en color en la web.

Fig. 4. Structural aspects at the outcrop scale. A) Fault rock band in site D1, close-up view of breccia and structural data from both fault blocks of the Daroca Thrust (C.D.). B) Frontal sector of thrust (site D5), with fault breccia and horse structures affecting footwall rocks, and related structural data. C) Fault rock developed in Aragonian conglomerates, and structural data (site D4). See Colour figure on the web.

rales de la arcilla encontradas en las rocas de falla desarrolladas a partir de materiales paleozoicos, indican unas condiciones P-T similares a las obtenidas globalmente para las unidades del paleozoico inferior de la Cordillera Ibérica (Bauluz *et al.*, 1998). Ello impide atribuir dichas condiciones al desarrollo de las propias rocas de falla y sus microestructuras asociadas, actualmente aflorantes, que no se habrían generado necesariamente a profundidades de orden kilométrico.

A falta de marcadores pre-cinmáticos, la relación entre el ángulo de las superficies sincinmáticas S y C, las características litológicas del material afectado y la anchura de la banda de cizalla pueden emplearse como criterio positivo para valorar tanto la intensidad de la deformación por cizalla como el comportamiento reológico del material. En el transcurso de la deformación, y para un mismo tipo litológico, la zona de cizalla puede experimentar un "endurecimiento" o un "ablandamiento" por deformación (Wojtal y Mitra, 1986), lo que se traduce en un aumento o disminución de la anchura de la propia banda de deformación y en un aumento o disminución, respectivamente, del ángulo entre las superficies S y C. En el caso de la zona de falla de Daroca, la relación entre la variación del ángulo entre superficies S y C y la anchura de la banda de cizalla (observada en dos sectores de la banda en continuidad lateral: estaciones D1 y D2), es inconsistente: similares relaciones angulares ( $\approx 30^\circ$ ) aparecen en puntos con anchura de la banda de cizalla muy distinta (40 m y 1,5 cm, respectivamente). También se observan ángulos distintos en una misma litología (en este caso, conglomerados neógenos) en las inmediaciones del plano de cabalgamiento principal: estaciones D3 y D4 (Fig. 5). Estas situaciones sugieren una distribución marcadamente heterogénea de la deformación a lo largo del plano de cabalgamiento.

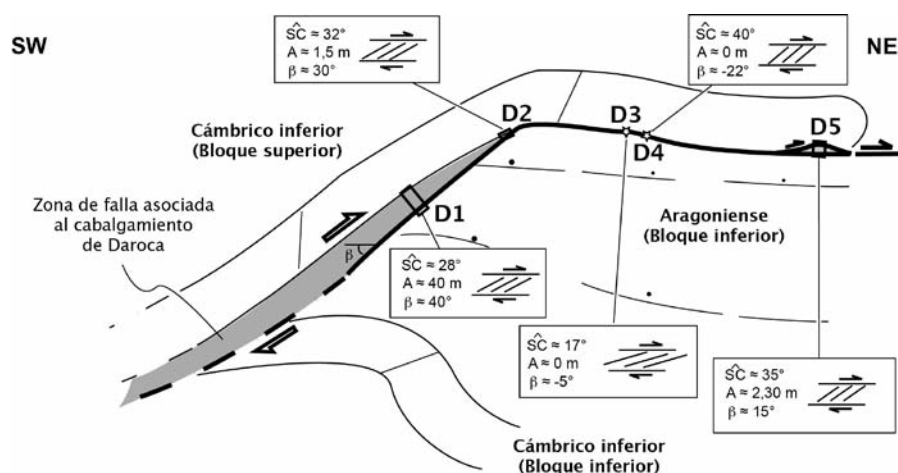


Fig. 5. Corte esquemático del cabalgamiento de Daroca y resumen de los parámetros geométricos de la banda de roca de falla asociada: ángulo entre planos S y C, anchura (A) y buzamiento ( $\beta$ ).

Fig. 5. Schematic cross-section of the Daroca Thrust and summary of geometrical parameters of the associated fault-rock band: angle between S and C surfaces, width (A) and dip ( $\beta$ ).

La mayor anchura de roca de falla asociada a la rampa de bloque inferior, con buzamientos de unos  $40^\circ$  (Fig. 5), sugiere un efecto de *butressing* (bloqueo del deslizamiento sobre un plano de falla de elevado buzamiento e incremento de la deformación local por aplastamiento). Sin descartar un posible origen heredado de las rocas de falla, proponemos un modelo de zona de cizalla heterogénea que afectaría a rocas paleozoicas, desarrollada en un principio en una rampa de bloque inferior con buzamiento al sur. La lámina cabalgante se emplazaría posteriormente en condiciones epiglépticas a favor de un rellano de bloque inferior ligeramente inclinado en el sentido de transporte (hacia el ENE y el NNE)..

### Agradecimientos

Los autores agradecen a Blanca Bauluz su contribución en el estudio mineralógico de las rocas de falla. Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Grupo de Investigación Geotransfer del Gobierno de Aragón. Agradecemos asimismo a los dos revisores, Joan Guimerà y Rosa Tejero, sus útiles y constructivas observaciones.

### Referencias

- Bauluz, B., Fernández-Nieto, C. y González-López, J.M. (1998). *Clay Minerals* 33, 373-393.
- Carls, P. (1983). En: *Geología de España* (J. Comba, Ed.). Tomo III, IGME, Madrid, 11-32.
- Colomer, M. (1987). *Estudi geològic de la vora Sud-oest de la Fossa de Calatayud-Daroca, entre Villafeliche i Calamocha*. Tesis de Licenciatura, Univ. De Barcelona, 99p.
- Colomer, M. y Santanach, P. (1988). *Geogaceta* 4, 29-31.
- Cortés Gracia, A.L. y Casas Sainz, A.M. (2000). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 13 (3-4), 445-470.
- Julivert, M. (1954). *Observaciones sobre la tectónica de la depresión de Calatayud*. Arrahona, Sabadell: 3-18.
- Mattauer, M. (1973). *Les Déformations des Matériaux de L'Écore Terrestre*. Hermann, Paris. 540 p.
- Wojtal, S. y Mitra, G. (1986). *Geological Society of American Bulletin* 97 (6), 674-687.
- Woodcock, N.H. y Mort, K. (2008). *Geological Magazine* 145 (3), 435-440.