

Foliación y fábricas magnéticas asociadas a interferencia de pliegues en la Zona Axial Pirenaica (La Seu d'Urgell, Lleida)

Foliation and magnetic fabrics associated with fold interference in the Pyrenean Axial Zone (La Seu d'Urgell, Lleida)

Ana Simón Muzás^{1*}, Antonio Casas Sainz¹, Ruth Soto², Pilar Clariana², Aina Margalef³

¹ Departamento de Ciencias de la Tierra, Geotransfer-IUCA, Universidad de Zaragoza, 50009, Zaragoza, Spain

² Instituto Geológico y Minero de España (IGME), CSIC, Unidad de Zaragoza, 50059, Zaragoza, Spain

³ Andorra Recerca + Innovació, Sant Julià de Lòria, AD600, Principat d'Andorra

Corresponding author *

RESUMEN

La zona de estudio, en las inmediaciones de La Seu d'Urgell (Zona Axial pirenaica), está constituida por una serie estratigráfica de rocas Cambro-Ordovícicas, en su mayoría detríticas, donde la discordancia Sarda se identifica claramente entre la Serie de Jujols y la Fm. Conglomerados de la Rabassa. Las principales estructuras son pliegues N-S de plano axial subhorizontal que muestran una foliación asociada, bien desarrollada en los niveles pelíticos (y claramente visibles en lámina delgada) y pobremente desarrollada en los niveles de arenisca. En los conglomerados suprayacentes a la discordancia Sarda (Fm. Conglomerados de la Rabassa) la foliación regional se caracteriza por tener sobrepuestas bandas de cizalla conjugadas que rodean los clastos. Las fábricas magnéticas (principalmente paramagnéticas) son coherentes con las microestructuras observadas a pesar de que la correspondencia entre los ejes de las fábricas magnéticas y los ejes de las estructuras observadas en el campo no es sencilla. El máximo de las direcciones de lineación es bimodal (N-S y E-W), lo cual puede ser interpretado como el resultado de una interferencia de pliegues (tipo 2 de Ramsay).

Palabras clave: Interferencia de pliegues, Discordancia Sarda, foliación, ASM, Varisco, Pirineos.

Geogaceta, 75 (2024), 35-38

<https://doi.org/10.55407/geogaceta100813>

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

Introducción

La Zona Axial pirenaica resulta del apilamiento de unidades cabalgantes alpinas que conservan en su interior estructuras variscas que con frecuencia son difíciles de distinguir. Su deformación varisca no fue homogénea, mostrando diferentes tipos de interferencia de pliegues y/o relaciones entre estratificación y foliación (ver por ejemplo, Casas *et al.*, 2012; Matte, 2002; García-Sansegundo, 1990; Carreras y Capella, 1994). Su deformación alpina afectó a las rocas pre-variscas previamente deformadas sin llegar a enmascarar las características de la deformación varisca.

En este trabajo se analiza de forma detallada la deformación en un sector próximo a la Seu d'Urgell (al sur de la Zona Axial) con vistas a determinar su génesis y

su relación con la fábrica magnética. El Alto Segre en las proximidades de La Seu d'Urgell proporciona afloramientos muy interesantes donde analizar diferentes estructuras asociadas a la orogenia Varisca y donde aflora la discordancia Sarda, que separa litologías muy diferentes desde el punto de vista reológico y permite establecer la cronología relativa de eventos de deformación en la zona.

Situación geológica

La zona de estudio se encuentra en la lámina de cabalgamiento de l'Orri, una de las principales estructuras Alpinas que definen el apilamiento antiformal de la Zona Axial pirenaica en su zona centro-oriental (Muñoz, 1992, Saura y Teixell, 2006). En el bloque superior del cabalgamiento de

ABSTRACT

The study area, in the vicinity of La Seu d'Urgell (Pyrenean Axial Zone), is composed of a stratigraphic series of Cambro-Ordovician rocks, mostly detrital, where the Sardinian unconformity can be clearly identified, between the Jujols Series and Rabassa conglomerates Formation. The main structures are N-S folds with horizontal axial surfaces, that show an associated cleavage, well developed in the pelitic levels (and clearly distinguished in thin sections) and more poorly developed in the sandstone levels. In the conglomerates overlying the Sardinian unconformity (Rabassa conglomerates Fm.) the regional cleavage is characterized by superposed conjugate shear bands surrounding the clasts. Magnetic fabrics (mainly paramagnetic) are consistent with the observed microstructures, although the correspondence of axes between the magnetic fabric and the structures observed in the field is not straightforward. The orientation of lineation directions are bimodal (N-S and E-W), a fact that can be interpreted as the result of fold interference (type 2 of Ramsay).

Key-words: Fold interference, Sardinian unconformity, cleavage, AMS, Variscan, Pyrenees.

Fecha de recepción: 6/07/2023

Fecha de revisión: 24/10/2023

Fecha de aceptación: 24/11/2023

l'Orri se situa el domo de l'Orri (Gil-Peña y Barnolas, 2004 y referencias allí incluidas), constituido por materiales Cámbricos y Ordovícicos con una disposición antiformal.

La zona de estudio se caracteriza por la presencia de una serie atribuida al Cambro-Ordovícico representada por la Serie de Jujols (Cavet, 1957), que consiste en una alternancia de areniscas de grano fino o limolitas, y argilitas, lo que da a la unidad un bandeado grisáceo y blanquecino característico.

Por encima de la Serie de Jujols y separadas por la discordancia Sarda, se dispone la Fm. Conglomerados de la Rabassa (Hartevelt, 1970), atribuida al Ordovícico superior, y formada por un conglomerado heterométrico de cantos angulosos. Su potencia es de un centenar de metros en las proximidades del río Segre.

Metodología

La metodología de trabajo utilizada comprende trabajo de campo y gabinete, análisis de datos estructurales en microscopio petrográfico y análisis de la Anisotropía de la Susceptibilidad Magnética (ASM) de 163 muestras tomadas en siete estaciones a partir de bloques orientados. En una muestra de cada estación se realizó además una curva termomagnética de cara a descifrar la mineralogía magnética de los distintos tipos petrográficos.

Macro, meso y microestructuras

A partir de la cartografía geológica (Fig.1) y los datos de campo se infiere la existencia de un anticlinal de escala kilométrica de vergencia E y plano axial horizontal que afecta tanto a la Serie de Jujols como a la Fm. Conglomerados de la Rabassa ya que, aunque se trata de una roca competente que a priori es difícil que desarrolle una foliación tectónica, en condiciones metamórficas de bajo grado, es observable el desarrollo de foliaciones por rotación de minerales. En esa unidad, el acortamiento está asociado a planos de cizalla, que no son paralelos a la foliación desarrollada en las lutitas sino que forman un sistema conjugado cuya bisectriz obtusa es el eje de acortamiento. En algunos casos se observan estructuras de tipo S/C asociadas a estas fracturas (Fig.3C,D).

En cuanto a las estructuras de escala métrica, en la Serie de Jujols se observan pliegues; 1) los más frecuentes de plano axial subhorizontal y ejes de orientación N-S (Fig.2), 2) pliegues de eje vertical y planos axiales de dirección NW-SE, 3) pliegues con plano axial vertical de dirección E-W muy locales. A escala de afloramiento, se observa una foliación (S2) poco penetrativa.

Desde el punto de vista microestructural, en los alrededores de la zona de estudio autores previos han descrito una foliación constituida por la alineación de minerales micáceos (Hartevelt, 1970) paralelos a la estratificación (S0) y que en este trabajo se denomina S1. En la Serie de Jujols aparece una foliación tectónica bien desarrollada en la que dominan los mecanismos de disolución por presión, asociada a micropliegues (S2) produciendo el microplegamiento de la S1. La S2 se dispone con un ángulo de en torno a 25° con la S0 y la S1 (Fig.3A,B). En algunos casos, se observan planos de cizalla posteriormente sobreimpuestos a los planos de foliación (Fig.3B).

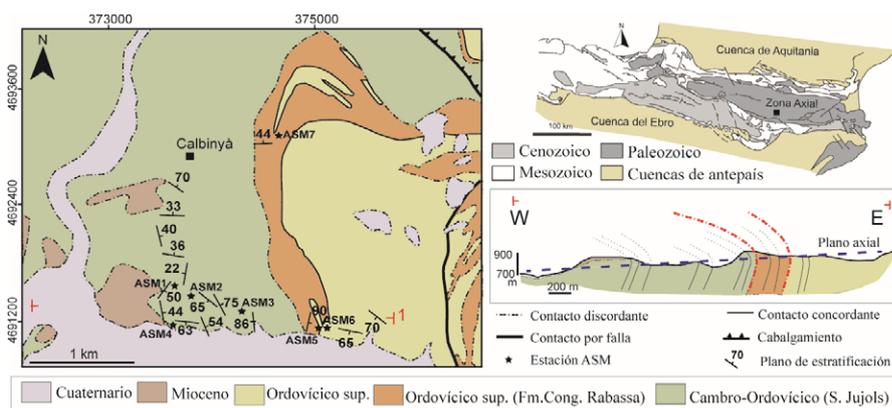


Fig. 1.- Situación geológica regional, cartografía y corte geológico del área de estudio (Mapa derivado de la cartografía del Mapa geològic comarcal de l'Alt Urgell 1:50.000 del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), utilizada bajo una licencia CC BY 4.0).

Fig. 1. Geological regional location, mapping and cross section of the studied area. (Map derived from the cartography of Mapa geològic comarcal de l'Alt Urgell 1:50.000 del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), licence CC BY 4.0). See color figure in the web.

Especial interés reviste la foliación tectónica desarrollada en los conglomerados de la Fm. Conglomerados de la Rabassa ya que, aunque se trata de una roca competente que a priori es difícil que desarrolle una foliación tectónica, en condiciones metamórficas de bajo grado, es observable el desarrollo de foliaciones por rotación de minerales. En esa unidad, el acortamiento está asociado a planos de cizalla, que no son paralelos a la foliación desarrollada en las lutitas sino que forman un sistema conjugado cuya bisectriz obtusa es el eje de acortamiento. En algunos casos se observan estructuras de tipo S/C asociadas a estas fracturas (Fig.3C,D).

Propiedades magnéticas y ASM

La susceptibilidad magnética media de las muestras estudiadas es de $178 \cdot 10^{-6}$ S.I., con un rango variable entre 80 y $308 \cdot 10^{-6}$. Se han diferenciado dos comportamientos a partir del análisis de las curvas termomagnéticas de las muestras. Uno de ellos con contribución prácticamente paramagnética en toda la curva de calentamiento y otro en el que se observa la formación de magnetita en la curva de calentamiento. No parece existir un condicionante litológico o por edades en el comportamiento de las muestras. Las curvas de enfriamiento muestran en la mayor parte de los casos de neoformación de minerales ferromagnéticos. De acuerdo con las observaciones en lámina delgada la contribución paramagnética se debe fundamentalmente a clorita y moscovita.

En cuanto a los resultados direccionales (Fig.4), la mayoría de los elipsoides magnéticos son de tipo triaxial. Se encuentran ejes

k3 tanto en dirección N-S como E-W. En algunos casos (estación ASM4) la dispersión de los ejes k2 y k3 correspondientes a las diferentes muestras define una guirnalda que indica la existencia de una fábrica claramente prolata. El caso opuesto aparece en la estación ASM6, donde la guirnalda está formada por los ejes k1 y 2, definiendo por tanto una fábrica oblata.

En la Serie de Jujols en general el eje k1 está contenido en el plano de estratificación, y coincide con los ejes de los pliegues (lineación de intersección, estaciones ASM3 y ASM4), mientras que el k3 tiende a mantenerse perpendicular a las superficies de estratificación. En la Fm. Conglomerados de la Rabassa no se observa una relación directa de los ejes con los elementos estructurales.

Interpretación y discusión

En conjunto, las superficies de estratificación medidas en la zona estudiada muestran una dispersión muy alta (Fig. 4), con tres máximos en la distribución de los polos: E-W con ligera inmersión hacia el E, WSW-ENE con inmersión hacia el W y N-S con inmersión hacia el N. No se han podido representar las orientaciones de la foliación debido a la dificultad de medirla a escala de afloramiento (aunque como se ha visto en apartados anteriores es muy evidente en lámina delgada). Los ejes de los pliegues muestran una dirección claramente bimodal: un máximo presenta dirección N-S con baja inmersión, y el otro se encuentra en dirección NW-SE con fuerte inmersión hacia el SE.

En cuanto a la relación de la deformación con las fábricas magnéticas, los

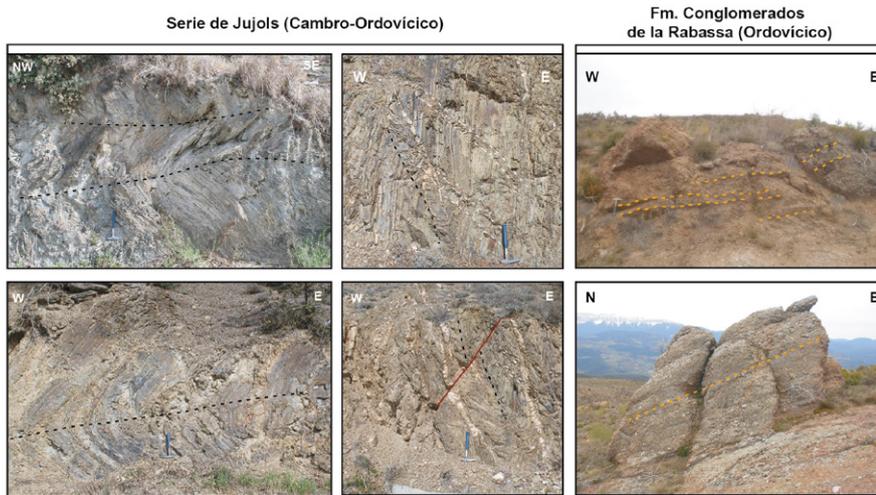


Fig. 2.- Fotografías de las estructuras de escala intermedia (mesoestructuras) descritas en este trabajo (negro: plano axial de pliegue, rojo: falla, blanco: kink-bands y naranja: estratificación.
 Fig. 2.- Field photographs of the mesostructures described in the text (black: axial plane, red: fault, white: kink-bands, orange: bedding).

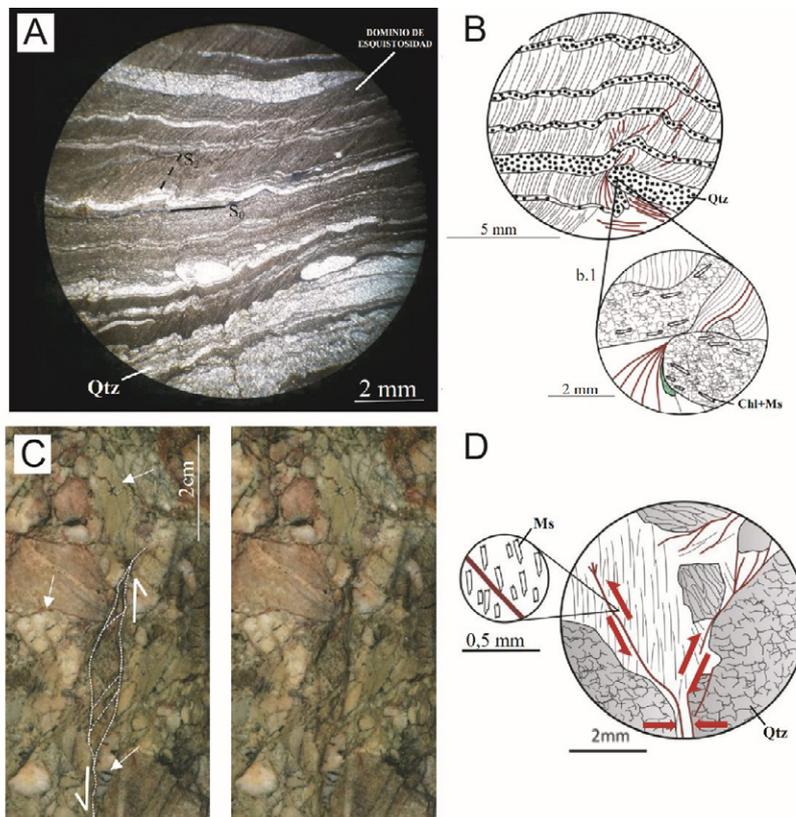


Fig. 3.- Fotografías de microestructuras representativas: A) Alternancia de pelitas y areniscas con dominios de esquistosidad, Serie Jujols; B) Detalle de la foliación de crenulación con detalle de un microcabalgamiento afectando a las capas competentes; Serie Jujols. Ms: moscovita. Qz: cuarzo. Chl: clorita. C) Estructura S-C sinistral (en el plano de la lámina); se han señalado los contactos estilolíticos entre granos y juntas de extensión en los granos; Fm. Conglomerados de la Rabassa. D) Foliación de presión-disolución (rojo) que bordea los clastos de cuarzo policristalino y monocristalino, es frecuente que deforme sus bordes. En la parte central y superior del esquema se observa cuarzo recristalizado y en el detalle, disposición oblicua de las micas. Las flechas indican el sentido de movimiento de las estructuras, posibles planos C, y las líneas negras foliación. Fm Conglomerados de la Rabassa.
 Fig. 3.- Photographs of representative microstructures: A) Alternation of shales and sandstones with schistosity domains, Serie Jujols; B) Detail of the crenulation foliation with detail of a microthrust affecting the competent layers; Serie Jujols. Ms: Muscovite. Qz: quartz. Chl: chlorite. C) Structure S-C sinistral; Stylolitic contacts between grains and extension joints in the grains have been marked; Fm. Rabassa conglomerates. D) Pressure-dissolution foliation (red) bordering the polycrystalline and monocrystalline quartz clasts, frequently deforming their edges. Recrystallized quartz is observed and in the detail, an oblique arrangement of the micas. The arrows indicate the direction of movement of the structures, possible C planes, and the black lines foliation.

materiales pelíticos muestran una correlación que se encuentra dentro del rango de rocas con baja deformación, de acuerdo con el modelo propuesto por Parés y van der Pluijm (2002) y Parés (2015). La lineación magnética coincidiría en este caso con la lineación de intersección, mientras que la foliación magnética coincide con el plano de estratificación (Fig.4). Este patrón es compatible con una foliación desarrollada por mecanismo de disolución por presión, en el cual los elementos de la fábrica de la roca no han cambiado de forma significativa su orientación.

A partir de los datos tomados se puede proponer de modo tentativo un modelo de evolución de la deformación que encaje con los modelos propuestos para la Zona Axial en el Pirineo centro-oriental (Casas, 2010). La primera etapa de deformación se relacionaría con la generación de pliegues tumbados con ejes de dirección N-S y vergencia E. La foliación asociada con estos pliegues es la denominada S2 por Casas (2010). Dada la orientación y mecanismos de deformación esta etapa tendría edad Varisca. La segunda etapa de deformación produciría pliegues de plano axial vertical de orientación E-W que serían responsables de la aparición de pliegues con ejes de inclinación fuerte, producto de la superposición de ambas fases. Esta segunda etapa de plegamiento es más difícil de adscribir puesto que su orientación coincide con las estructuras alpinas de la zona, reflejadas en el plegamiento de los materiales post-Variscos. Los pliegues E-W también han sido atribuidos a las fases variscas 2 y/o 3 (fase tardía) en sectores próximos de la Zona Axial (e.g. Carreras y Capellas, 1994, García-Sansegundo 1996). La superposición de ambos sistemas de pliegues daría como resultado una figura de interferencia de tipo 2 (Fig.4, Ramsay, 1967). Al norte de la zona de estudio, en el domo de la Rabassa, también se han reconocido superposición de pliegues variscos (Margalef et al., 2012)

Finalmente, el diferente estilo de la deformación por encima y por debajo de la discordancia Sarda (Fm. Conglomerados de la Rabassa y Serie de Jujols, respectivamente) puede atribuirse más a cuestiones litológicas que de evolución orogénica. Los diferentes mecanismos de deformación (más frágil en los conglomerados) explicarían las aparentes diferencias existentes entre ambas unidades.

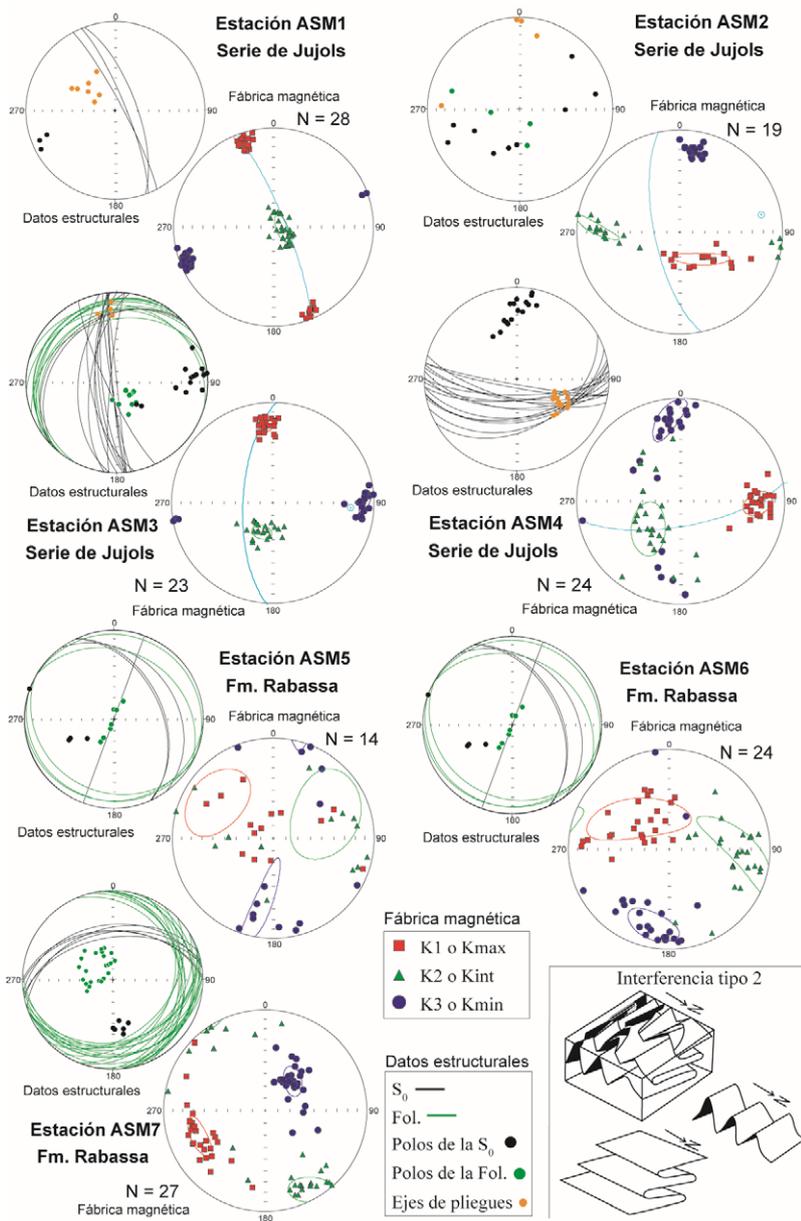


Fig. 4.- Resultados de la ASM en relación con los datos mesoestructurales y tipo de interferencia resultante (tipo 2, Ramsay, 1967). Ver figura en color en la web.

Fig. 4.- AMS results in relation with mesostructural data and type of resultant interference (type 2, Ramsay, 1967). See color figure in the web.

Conclusiones

El análisis macro, meso y microestructural de los materiales Cambro-Ordovícicos de los alrededores de La Seu d'Urgell muestran un patrón claro de deformación que podría relacionarse con la evolución de la deformación varisca de la Zona Axial pirenaica. Si bien los pliegues E-W podrían ser alpinos. La secuencia de generación de estructuras pasaría por pliegues de plano axial horizontal y de dirección N-S que serían posteriormente plegados en dirección perpendicular por pliegues de eje horizontal. La asignación de edades de la etapa de deformación posterior no es directa ya que coincide también con la dirección estructural preferente durante la compresión Alpina en el manto de l'Orri.

Las propiedades magnéticas de las rocas han permitido completar la información de los datos estructurales y caracterizar la intensidad de la deformación. El patrón estructural complejo observado en la zona necesita futuros estudios estructurales que profundicen en el patrón de plegamiento y sus foliaciones asociadas.

Contribución de los autores

Ana Simón: trabajo de campo, representación y discusión de datos, medida de la ASM y curvas termomagnéticas, elaboración de hipótesis.

Antonio Casas, Ruth Soto: supervisión de trabajo de campo, discusión de datos e hipótesis.

Pilar Clariana: discusión de datos e hipótesis.

Aina Margalef: trabajo de campo, discusión de hipótesis.

Agradecimientos y financiación

El presente trabajo forma parte del Trabajo de Fin de Grado de la primera autora. Los proyectos PID2019-108753GB-C22, PID2019-108705GB-I00 y PID2020-114273GB-C22 han contribuido a la financiación de los gastos. Los autores agradecen la contribución de los servicios de apoyo a la investigación de la Universidad de Zaragoza por el trabajo de realización de las láminas delgadas.

Referencias

- Carreras, J., y Capella, I. (1994). *Journal of Structural Geology*, 16(11), 1509-1524. <https://doi.org/cqzrvq>
- Casas, J. M. (2010). *Geological Magazine*, 147(5), 674-689.
- Casas, J. M., Queralt, P., Mencos, J., and Gratacós, O. (2012). Distribution of linear mesostructures in oblique folded surfaces: Unravelling superposed Ordovician and Variscan folds in the Pyrenees. *Journal of Structural Geology*, 44, 141-150.
- Cavet, P. (1957). Le Paléozoïque de la zone axiale des Pyrénées orientales françaises (étude stratigraphique et paléontologique). *Bulletin des Services de la Carte géologique de France*, 254: 303-518.
- García-Sansegundo, J. (1990). Structure of the Paleozoic in the Aran valley, Axial zone, central Pyrenees. *Bull Soc Geol Fr*, 8, 229-239.
- García-Sansegundo, J. (1996). *Journal of Structural Geology*, 18, 1315-1325.
- Gil-Peña, I. y Barnolas, A. (2001). *Bol. Geol. Min*, 112, p. 17-38.
- Margalef, A., Casas, J. M. and Queralt, P. (2012). Superposición de pliegues en el domo de la Rabassa: simulación usando el paquete FoldPlot (Mathematica). *Geotemas*, 13, 50-56.
- Matte, P. (2002) *Comptes Rendus Geoscience*, 334(10), 773-779.
- Muñoz, J. A. (1992). In: *Thrust Tectonics* (K. R. McClay, Ed.). Springer, Dordrecht, 235-246. <https://doi.org/bkzvhm>
- Parés, J.M., Van der Pluijm, B.A., (2002). *Geophys. Res. Lett.* 29 (24). <https://doi.org/bdtwnn>
- Parés, J. M. (2015). *Frontiers in Earth Science*, 3, 4. <https://doi.org/gnsh95>
- Ramsay, J. G. (1967): *Folding and fracturing of rocks*. McGraw Hill, New York, p. 568
- Saura, E., y Teixell, A. (2006). *Journal of Structural Geology*, 28(11), 1909-1920. <https://doi.org/dcd6vw>