

# Geometría y cinemática de la zona de falla de Río Grío: evidencias de transpresión alpina en la Cadena Ibérica

## *Geometry and kinematics of the Río Grío fault zone: Evidence of Alpine transpression in the Iberian Chain*

Marcos Marcén Albero y Teresa Román Berdiel

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

### ABSTRACT

The Río Grío fault is one of the main structures that cut across the Iberian Chain (NE Spain). It shows a NW-SE strike, and constitutes a fault zone with associated fault rocks (fault gouge, fault breccia), with thickness of tens of meters. In this work, we present the analysis at mesostructural scale of the fault zone. At the map scale, the Río Grío fault is nearly parallel to the Datos thrust, the main Variscan structure in this sector of the Iberian Chain. A detailed map of the fault zone shows that the Río Grío fault zone consists of several hectometre-scale anastomosing lenses strongly dipping to the South. The internal structure of these lenses shows Triassic and Ordovician fragments, with tight folds, brechified zones and widespread foliation. Displacement senses inferred from meso- (fold axis, striations...) and micro-structures (foliation, S/C structures) show strong reverse, dip-slip and dextral, strike-slip components, indicating strain partitioning between the different lenses. The whole structure is interpreted as the result of the re-activation, during the NNE-SSW to NE-SW Cenozoic compression, of weakness areas probably formed during the Late-Variscan stage.

**Key-words:** Transpression, flower structure, strain partitioning, Río Grío Fault.

### RESUMEN

La falla de Río Grío constituye uno de los principales accidentes que segmentan la Cordillera Ibérica. Mantiene dirección NNW-SSE, y está caracterizada por la presencia de una zona de falla con rocas asociadas (harinas y brechas de falla), con un espesor de decenas de metros. En este trabajo se presenta el análisis a escala mesoestructural de la zona de falla. Esta falla discurre próxima al cabalgamiento de Datos, la principal estructural Varisca de este sector de la Cordillera Ibérica. La cartografía detallada realizada revela que la zona de falla de Río Grío está compuesta por lenticulas hectométricas, que muestran una geometría anastomosada y fuerte buzamiento hacia el sur. La estructura interna de las lenticulas presenta elementos triásicos y ordovícicos, con pliegues apretados, zonas brechificadas y foliación. Los sentidos de movimiento deducidos a escala meso- (ejes de pliegues, estrías...) y microestructural (foliación, estructuras S/C) tienen fuerte componente inversa y direccional dextra, indicando una partición de la deformación entre las diferentes lenticulas. El conjunto de la estructura se interpreta como el resultado de la reactivación durante la compresión cenozoica NNE-SSW a NE-SW de zonas de debilidad probablemente formadas durante la época tardihercínica.

**Palabras clave:** Transpresión, estructura en flor, partición de la deformación, Falla de Río Grío.

Geogaceta, 58 (2015), 79-82  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 6 de febrero de 2015  
Fecha de revisión: 29 de abril de 2015  
Fecha de aceptación: 15 de mayo de 2015

## Introducción

La evolución tectónica de la Cadena Ibérica durante el Ciclo Alpino está controlada por las fracturas tardihercínicas, las cuales actúan como fallas normales limitando las áreas subsidentes durante el Mesozoico y son reactivadas como cabalgamientos con componente dextra durante la compresión Cenozoica (Salas y Casas, 1993). En este sentido, el estudio de estos cabalgamientos tanto a nivel cinemático como su integración con el resto de estructuras regionales resulta de especial importancia para reconstruir la

evolución tectónica de la Cadena Ibérica. En este trabajo se presenta el estudio cinemático de la Zona de Falla de Río Grío (ZFRG), considerada como una de éstas estructuras principales, y en la cual no se habían realizado trabajos de detalle desde el punto de vista estructural y tectónico. Tan solo Vilchez (1986) cita brevemente la Falla de Río Grío como elemento tectónico de relevancia en la Cadena Ibérica.

La zona de estudio se ubica a lo largo del valle de Río Grío, en la Rama Aragonesa de la Cadena Ibérica. La Falla de Río Grío (en la zona de estudio) discurre seccionando

el basamento varisco, afectando al bloque inferior (Unidad de Herrera) de la Falla de Datos (Fig. 1). Esta falla es un cabalgamiento hercínico de dirección NW-SE y vergencia NE, que afecta al basamento hercínico. Hacia el NNW, fuera de la zona estudiada, la Falla de Río Grío pone en contacto al Triásico y Jurásico (bloque E inferior) con el Ordovícico de la Unidad de Herrera (bloque W superior). En el interior de la zona de falla la litología de las unidades es muy heterogénea: cuarcitas, areniscas y pizarras ordovícicas (Fms. Balconchán y Borrachón) y brechas sedimentarias y limos triásicos.

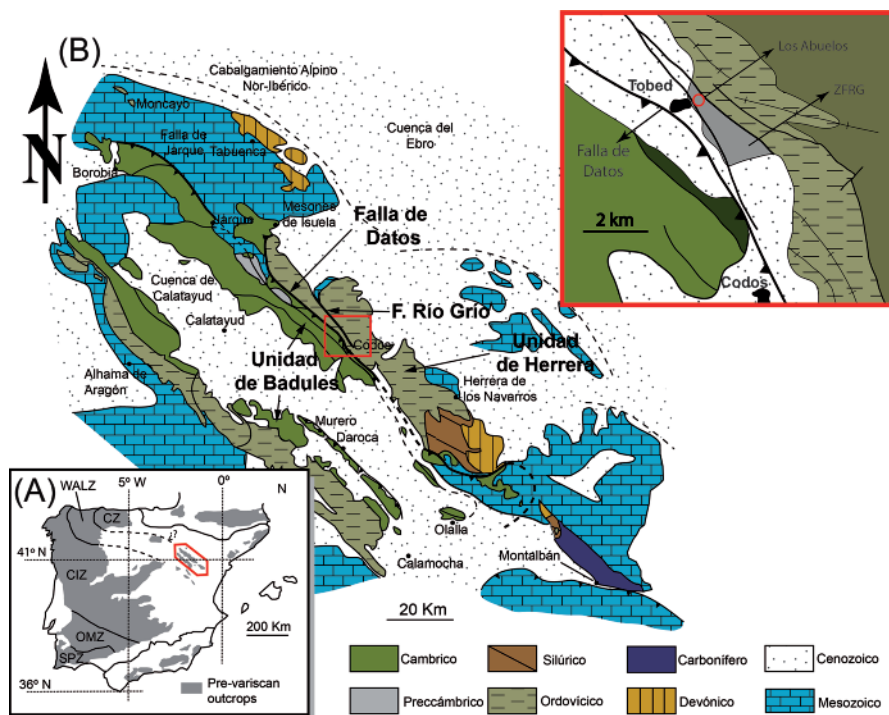


Fig. 1.- Contexto geográfico y geológico de la zona de estudio. A) Localización de la Cadena Ibérica en el contexto del Macizo Hespérico. B) Mapa geológico simplificado de la Rama Aragonesa. En la esquina superior derecha, mapa geológico simplificado de la zona de estudio y ubicación del afloramiento de Los Abuelos. Modificado de Calvin-Ballester y Casas (2014).

Fig. 1.- Geographical and geological context of the study area. A) Location of the Iberian Chain in the context of the Hercynian Iberian Massif. B) Simplified geological map of the Aragonese branch. In the upper right corner, simplified geological map of the study area and location of Los Abuelos outcrop. Modified from Calvin-Ballester and Casas (2014).

**Metodología**

La mayor parte de este trabajo se ha centrado en el afloramiento de Los Abuelos, un paraje donde la Falla de Río Grio aflora de forma espectacular. Se ha realizado una cartografía geológica de detalle utilizando imágenes de satélite y fotografías de baja altura obtenidas mediante un *drone*. Además, se ha completado la cartografía mediante observaciones a escala de afloramiento y se han realizado medidas de distintos tipos de estructuras, aplicando las técnicas clásicas de análisis estructural.

**Resultados**

En este apartado se exponen las características geométricas y estructurales del afloramiento de Los Abuelos, Tobed (Zaragoza), tanto en cartografía de detalle (Figs. 2 y 3), como mediante la proyección estereográfica de los datos estructurales y cinemáticos de la ZFRG (Fig. 4).

La ZFRG aflora discontinuamente a lo largo de una traza rectilínea de al menos 20

km, con una orientación NNW-SSE a NW-SE y una anchura estimada de unos 200 m (Fig. 2). La ZFRG presenta una zona central

o núcleo en donde la deformación registrada es más intensa, y una zona perimetral de relativa menor deformación y que conecta con el encajante ordovícico (Unidad de Herrera). Las zonas externas de la ZFRG están conformadas por una alternancia de areniscas y pizarras negras (Fm. Borrachón), con la presencia discontinua de planos de falla (N110°E) con escasa harina asociada. Estas fallas limitan zonas de cizalla de movimiento antitético (sinistro) a la cizalla general en la ZFRG, generando una rotación antihoraria de los bloques.

La zona central o núcleo de la ZFRG se caracteriza por planos de falla anastomosados (Figs. 2 y 3), tanto en la vertical como en la horizontal, a los que se asocian brechas y harinas de falla, y que limitan cuerpos o lentes de longitudes (*along strike*) superiores a los 100 m, alturas (*along dip*) de al menos 30 m y escasa anchura, inferior en el mayor de los casos a los 15 m. Los planos de falla muestran orientaciones paralelas o ligeramente oblicuas (N135°E) respecto a la dirección de la ZFRG, interpretándose como fallas Y y P de Riedel, respectivamente (Fig. 4D). Localmente se observan zonas de cizalla con orientaciones E-W, que podrían corresponder con fallas R'. La vergencia de las estructuras es variable, aunque en la zona aflorante la vergencia NE domina respecto a la SW, si bien es cierto que los planos muestran buzamientos elevados (50-90°). No suelen presentar estriaciones, y cuando

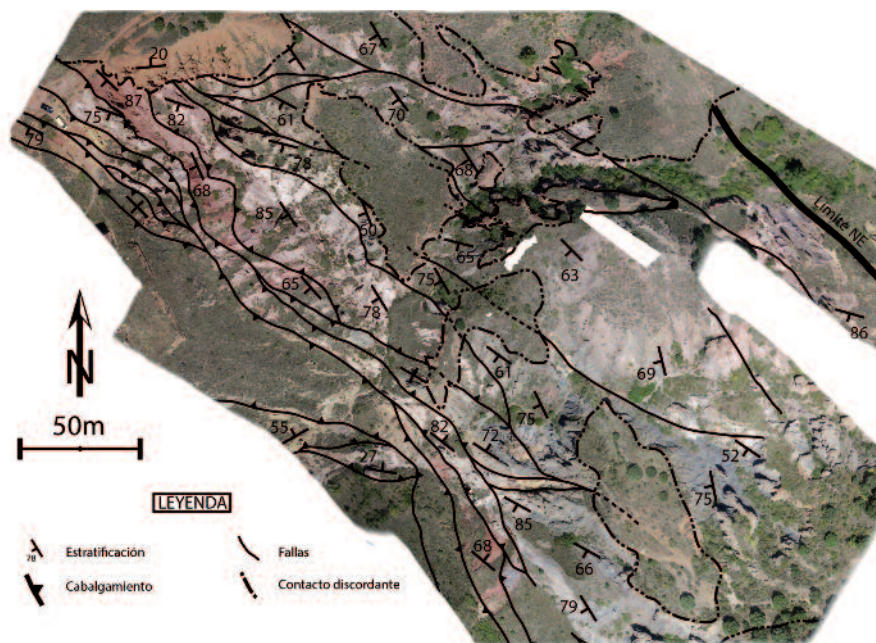


Fig. 2.- Cartografía estructural del afloramiento de Los Abuelos, Tobed.

Fig. 2.- Structural mapping of Los Abuelos outcrop, Tobed.

lo hacen, varían desde ángulos de cabeceos horizontales hasta verticales (Fig. 4D).

La estratificación en el interior de las lentes, cuando se conserva, presenta direcciones NW-SE y buzamientos casi verticales hacia el SW (Fig. 4B). En comparación con el encajante, supone una clara verticalización de las capas. Es frecuente observar bloques conservando la estratificación inmersos en una matriz compuesta por harinas y brechas de falla. El eje mayor de estos bloques es subparalelo a la dirección de los planos de las fallas. En las litologías menos competentes se observan dos tipos de pliegues en función de su orientación, evidenciando movimientos claramente diferenciados: pliegues de eje horizontal y planos axiales NW-SE vergentes tanto hacia el NE como el SW y pliegues de eje inclinado o vertical (50-90°), con azimut NW y planos axiales verticales y paralelos o ligeramente desviados anti-horariamente respecto los planos de falla (Fig. 4A). Ambos tipos de pliegues pueden coexistir o no en las mismas lentes. Se han observado estructuras S-C asociadas a los planos principales de falla (Figs. 4D y 4E), indicando movimientos tanto direccionales como inversos, siendo coincidentes con la disposición de los pliegues.

La deformación dúctil con desarrollo de foliaciones es muy frecuente en las pizarras ordovícicas y lutitas triásicas, y muestra



Fig. 3.- Estructura característica de la Zona de Falla de Río Grío. Lenticulas subverticales con planos de falla anastomosados. En la imagen se observan unidades triásicas y ordovícicas con relevantes espesores de brechas.

Fig. 3.- Characteristic structure of the Río Grío Fault Zone. Subvertical lenses with anastomosing fault planes. In the image, Triassic and Ordovician breccia units.

siempre orientaciones paralelas (NW-SE) o con ligera desviación (N-S) respecto de los planos de falla principales (Fig. 4C). La foliación que afecta a los materiales ordovícicos en el núcleo de la ZFRG puede interpretarse como el resultado tanto de la deformación compresiva hercínica como de la

cenozoica, mientras que la esquistosidad en los materiales menos deformados que rodean dicho núcleo se considera heredada del ciclo varisco. Por el contrario, en materiales más frágiles (cuarcitas y areniscas) la deformación se traduce en una intensa fracturación de la roca, con la presencia de brechas (> 3 m de espesor localmente), y en menor medida de pliegues. La fracturación de las brechas es caótica, con una elevada dispersión tanto en la orientación de los planos como en el cabeceo de las estrías, y en la mayor parte de los planos, con o sin estría (estos últimos mayoritarios), tampoco ha sido posible reconocer el desarrollo de foliaciones.

### Interpretación y discusión

En referencia al contexto de la Falla de Río Grío, y siguiendo la idea original aportada por Vilchez (1986), consideramos un origen tardihercínico para la falla, debido a su orientación NW-SE a NNW-SSE, la presencia de mineralizaciones de edad Triásica (Pocovi *et al.*, 1990) y su elevado buzamiento (Arthaud y Matte, 1975). Teniendo en cuenta esta interpretación, debemos suponer que la Falla de Río Grío es independiente de la cercana Falla de Datos, de actividad fundamentalmente varisca. Por tanto, ambas fallas no tenderían a entron-

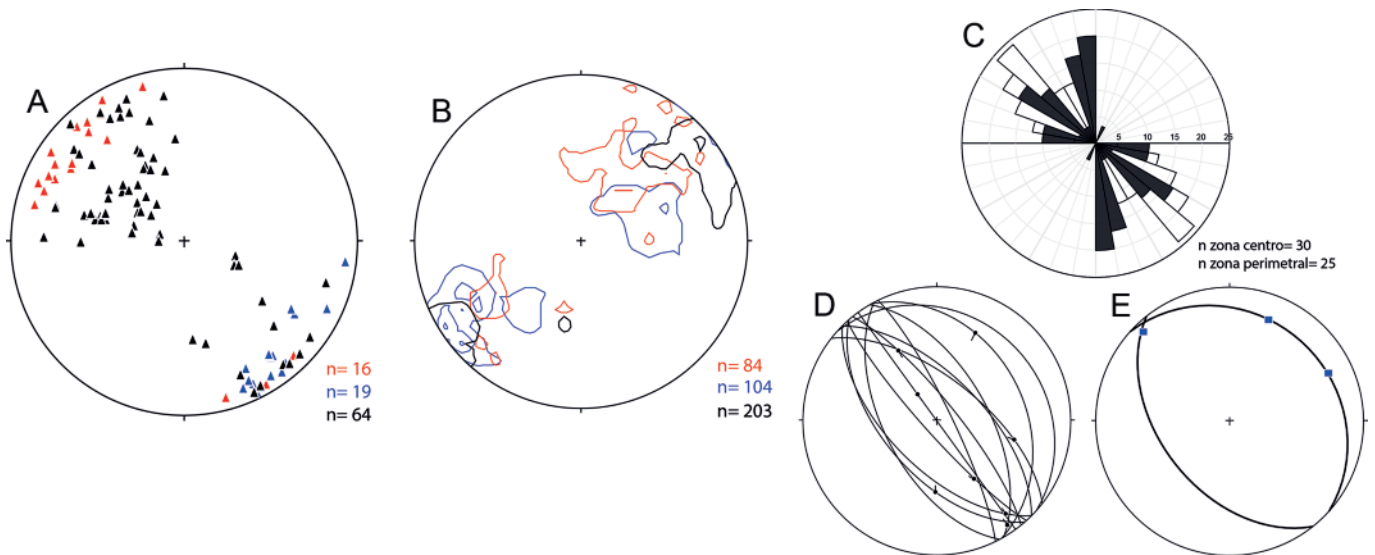


Fig. 4.- Principales elementos estructurales medidos en la zona de falla. A) Ejes de pliegues en la Unidad (Un.) de Herrera (rojo), Unidad de Badules (azul) y zona (z.) de Falla (64). B) Diagramas de densidad de polos de planos de estratificación (So) en las 3 zonas (mismos colores). C) Dirección de los planos de foliación en el núcleo (negro) y esquistosidad en la zona periférica (blanco). D) Planos de los cabalgamientos y/o fallas direccionales principales con las estrías observadas. E) Estructuras S-C, con los planos C y las direcciones de transporte inferidas. Estereogramas en A), B), D) y E) proyección de Schmidt, hemisferio inferior. (Ver figura en color en la web).

Fig. 4.- Major structural features measured in the fault zone. A) Fold axes measured in Herrera Unit (red), Badules Unit (blue) and fault zone (black). B) Contour maps of bedding (So) plane poles in the three zones (same colors). C) Direction of foliation planes in the core (black) and in the damage zone (white). D) Major fault (reverse and directional) planes with striation. E) Movement plane of S-C structures with inferred transport direction. Stereograms in A), B), D) and E) in Schmidt projection, lower hemisphere. (See colour figure on the web).



carse en profundidad, sino que cabe plantear la hipótesis de que la Falla de Río Grío secciona a la Falla de Datos. A su vez, esta hipótesis podría llevar a pensar que el elevado ángulo de buzamiento que se ha atribuido a la Falla de Datos en su zona central (Vílchez, 1986) sea en realidad la sección del bloque superior de la Falla de Datos por la Falla de Río Grío. No obstante, la presencia de abanicos aluviales (Pleistoceno-Holoceno) en la zona de estudio impide observar con claridad la relación entre ambas zonas de falla en su zona de convergencia (entre Codos y Tobed).

Desde el punto de vista cinemático, y a pesar de la escasez de indicadores cinemáticos "clásicos" en los planos de falla (estrías y estructuras S-C), la presencia de pliegues NW-SE con ejes de elevada inmersión, así como la disposición verticalizada de los planos de falla y la orientación de éstos como fallas dexas Y y P de Riedel, permiten interpretar una clara componente direccional dextra en la ZFRG. Por otra parte, la presencia de cabalgamientos con menor inclinación (en torno a 50°, localmente tumados) y pliegues de eje horizontal con planos axiales claramente vergentes, son indicativos de movimientos *dip slip* inversos.

La presencia conjunta de ambos tipos de estructuras lleva a interpretar la ZFRG como una estructura transpresiva dextra (en flor positiva) con partición de la deformación a lo largo y ancho de la ZFRG. La partición de la deformación es un proceso muy frecuente en zonas de falla que muestran geometrías en flor positiva de doble vergencia (Faulkner *et al.*, 2003; Woodcock y Richards, 2003, entre otros), con predominio de la componente direccional en el bloque superior de las láminas o *duplex* que conforman la estructura en flor.

Según Liesa y Simón (2009), la evolución del campo de esfuerzos durante el Cenozoico en la Cordillera Ibérica revela una migración de la compresión desde el ENE (Oligoceno superior) hacia el NNW a NNE (Oligoceno superior-Mioceno inferior) con la interacción en el tiempo, y posiblemente en el espacio, de cuatro campos di-

ferentes. Desconocemos el periodo de actividad de la Falla de Río Grío, pero teniendo en cuenta su orientación NNW-SSE cualquier campo de esfuerzos de los mencionados (con sus variaciones), temprano (ENE), intermedio (NE) o tardío (NNW a NNE), podría justificar la presencia de una transpresión dextra.

No obstante, hay indicadores que parecen más propios de movimientos de desgarramiento sinistros que dextros, como son las rotaciones anti-horarias observadas en la zona de menor deformación de la ZFRG. Teniendo en cuenta la orientación ESE de estos planos, las rotaciones podrían explicarse bajo la compresión ENE (Oligoceno), Otra posible interpretación es la presencia de una fracturación en dominó, con estructuras antitéticas al movimiento principal de cizalla, generando rotaciones horarias de los bloques individualizados y rotaciones antihorarias restringidas a zonas de cizalla asociadas a las estructuras antitéticas. Independientemente de su origen, estos movimientos sinistros pueden ser la razón de la rotación antihoraria de los filones de barrita (NE-SW) registrados en el margen NE de ZFRG en comparación a la orientación general E-W de los filones en la Unidad de Herrera (Pocoví *et al.*, 1990).

## Conclusiones

La Falla de Río Grío (ZFRG) se extiende longitudinalmente a lo largo de al menos 20 km, con una dirección NNW-SSE y una Zona de Falla con anchuras superiores a la centena de metros. Se ha interpretado como una fractura tardihercínica de alto buzamiento, con posible actividad durante el primer ciclo alpino extensional (presencia de materiales triásicos) y reactivada bajo régimen transpresivo dextro durante la compresión cenozoica, bajo direcciones de compresión variables desde ENE hasta NNW.

Las principales características de la zona de falla pueden resumirse en: 1) Estructuras principales NW-SE, con débiles vergencias, en general, hacia el NE; 2) Morfologías (en paralelo a las estructuras) lenticulares,

con secciones tendentes a formas sigmoidales; 3) Estratificación en los bloques orientada NW-SE, y buzamientos elevados (60-90°), preferentemente hacia el SW; 4) Pliegues NW-SE, con ejes de elevada inmersión hacia el NW y pliegues NW-SE, con ejes horizontales y vergencias variables NE y SW; 5) Relevantes espesores de rocas de falla, tanto brechas como harinas.

La cinemática de las estructuras observadas en la zona de falla indican dos tipos de movimientos mayoritarios: *strike slip* dextro y *dip slip* inverso, con dominancia del primero. Su distribución en la zona de falla puede explicarse por procesos de partición de la deformación (*strain partitioning*).

## Agradecimientos

Queremos agradecer a Carlos Liesa su disposición y ayuda con la obtención de las fotos aéreas mediante el *drone*. Este estudio ha sido financiado por los proyectos de investigación UZ2012-CIE-11 de la Universidad de Zaragoza, y CGL2013-42670-P del MINECO (Ministerio de Economía y Competitividad). Los autores agradecen la revisión del artículo por los Drs. Alejandro Jiménez Bonilla y Jesús Galindo Zaldívar.

## Referencias

- Arthaud, F. y Matte, P. (1975). *Tectonophysics* 25, 139-171.
- Calvín-Ballester, P. y Casas, A.M. (2014). *Geological Society, London, Special Publications* 394, 39-52.
- Faulkner, D.R., Lewis A.C. y Rutter, E.H. (2003). *Tectonophysics* 367, 235-251.
- Liesa, C.L. y Simón, J.L. (2009). *Tectonophysics* 474, 144-159.
- Pocoví, A., Besteiro, J., Osácar, M.C., González, J. y Lago, M. (1990). *Geogaceta* 8, 25-27.
- Salas, R. y Casas, A. (1993). *Tectonophysics* 228, 33-35.
- Vílchez, J.F. (1986). *Rasgos geológicos y estructurales de la Unidad de Herrera (Cadena Ibérica)*. Resúmenes tesis: curso 1983-1984. Universidad de Zaragoza, España.
- Woodcock, N.H. y Rickards, B. (2003). *Journal of Structural Geology* 25, 1981-1992.