

# Zona de transferencia en el sector occidental del Pirineo Central, ejemplo de la falla de Oroz-Betelu-Unzué. Zona surpirenaica. Navarra

*Transfer zone in the western part of the Central Pyrenees, example of the Oroz-Betelu- Unzue fault. Southern Pyrenees, Navarra*

Ó. Pueyo Anchueta <sup>(1,2)</sup>, H. Millán Garrido <sup>(1)</sup>, A. Pocoví Juan <sup>(1)</sup> y A. Gil Imaz <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Área de Geodinámica Interna. Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna, nº 12. CP50.009 Zaragoza  
<sup>(2)</sup> Dirección electrónica de contacto: opueyo@unizar.es

## ABSTRACT.

*Based on structural, stratigraphic and gravimetric data, a regional scale N 020-040 E blind-fault, named the Oroz-Betelu- Unzue fault, extending from the western part of the Oroz-Betelu massif to the Sierra de Alaiz thrust front, is inferred. This fault would have acted as a transfer extensional structure during Early Cretaceous times and later, during the Alpine compression, the different stratigraphic and structural characteristics of the fault-blocks would have favoured the formation of major differences between the contractional structures occurring in the blocks of the Oroz-Betelu-Unzúe fault-zone. The Alaiz thrust sheet and adjacent areas represents a good example of the structural changes related to the Tertiary evolution of Oroz-Betelu-Unzué transfer zone.*

**Key words:** *Transfer zone, thrust sheet, Cretaceous fault, Pyrenees.*

*Geogaceta, 42 (2007), 19-22  
 ISSN: 0213683X*

## Introducción

Las zonas de transferencia (*transfer zones*) representan sectores de enlace entre dominios estructurales tanto distensivos como compresivos donde, a escala cartográfica, se produce una transferencia o acomodación de desplazamiento entre estructuras tectónicas genéticamente relacionadas (por ej. Twiss y Moores, 1992; Ramsay y Huber, 1987). En contextos compresivos la deformación acomodada en la zona de transferencia y zonas adyacentes suele ser igual o similar (por ej. Davis y Reynolds, 1996). Además, en dichas zonas se pueden producir variaciones estructurales tales como cambios en la orientación y vergencia de las estructuras, en la posición del nivel de despegue, en estilo de deformación, etc. En ocasiones el relevo entre dichos dominios es relativamente brusco. Esto puede ser debido a la existencia de estructuras laterales tales como fallas de desgarre, la variación de la posición y/o el comportamiento del nivel de despegue, la variación de la potencia de la serie de cobertera, la existencia de una falla en el basamento, la presencia de estructuras heredadas, etc (Calassou *et al.*, 2003).

Nuestro estudio se localiza en el sector occidental de la cuenca de Jaca-Pamplona. Allí, se encuentra la termina-

ción occidental del macizo paleozoico de Oroz-Betelu por el norte y la conexión de la falla de Loiti con el cabalgamiento de Alaiz por el sur (Fig. 1). El borde sur de la Cuenca de Jaca-Pamplona, en el sector entre la terminación occidental de la Sierras Exteriores Aragonesas y la falla de Pamplona (Fig. 1), presenta una significativa variación lateral de estructuras y un importante cambio de las series estratigráficas mesozoicas involucradas en la deformación. Llama la atención que las láminas más adelantadas del frente de cabalgamiento surpirenaico (CFS) que transportan serie mesozoica y que desaparecen de la superficie al W del anticlinal de Santo Domingo (Sierras Exteriores), vuelven a reaparecer de forma brusca en el cabalgamiento de la Sierra de Alaiz. También destaca el hecho de que el cabalgamiento de la Sierra de Alaiz, con un rumbo NE-SW, por una parte supone un notable cambio de orientación con respecto a la orientación dominante NW-SE o WNW-ESE a ambos lados del mismo, y por otra, representa un afloramiento «aislado y de dimensiones relativamente reducidas» de cobertera mesozoico-terciaria. Estos cambios, junto con los resultados de la investigación que aquí se presentan, nos llevan a proponer, a falta de un número mayor de datos geofísicos que lo confir-

men, la existencia de una zona de transferencia relacionada con una falla de basamento, activa durante el Cretácico inferior y el Terciario, denominada falla de Oroz-Betelu-Unzúe (Fig. 1).

## Presentación de los datos

En este apartado se presentan datos sobre la estratigrafía del sector de estudio a partir de información de superficie y de sondeos profundos (Lanaja, 1987), centrándonos en los materiales mesozoicos en los que se han identificado variaciones de potencia o de facies. Se han seleccionado para su descripción aquellos sondeos que terminan cortando serie triásico-paleozoica, mientras que aquellos que no penetran en unidades más antiguas que el Cretácico no serán descritos. Los sondeos profundos del sector occidental de la Cuenca de Jaca-Pamplona pueden agruparse en dos dominios con series estratigráficas diferentes (Fig. 2).

Los sondeos más occidentales (sondeos de Astraín, Pamplona 3 y Zabalegui) muestran una serie que se inicia con las facies evaporíticas del Triásico Superior (facies Keuper), una serie reducida de Jurásico, y una serie de Cretácico Inferior que aumenta significativamente su potencia al desplazarnos hacia el norte.

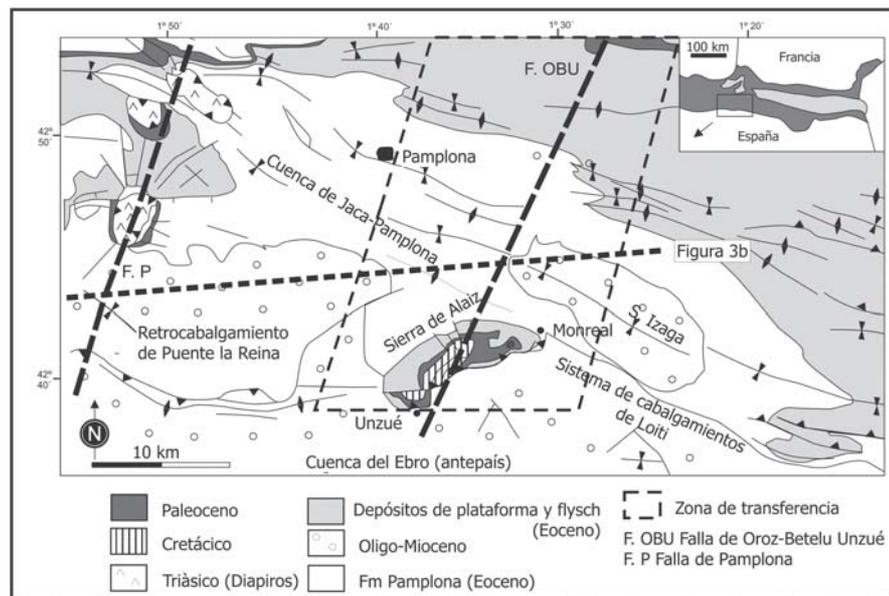


Fig. 1.- Localización y contexto geológico de la zona de estudio (modificado de Larrasoña *et al.*, 2003).

Fig. 1.- Location and geological context of the studied area (modified from Larrasoña *et al.*, 2003).

Los del sector oriental (sondeos de Aoiz, Sangüesa) así como en los datos de superficie del macizo de Oroz-Betelu), el Cretácico Superior se apoya directamente sobre el Paleozoico (Oroz-Betelu sector meridional) o sobre una serie reducida del Cretácico Inferior (Oroz-Betelu sector septentrional y sondeo de Aoiz). En el sondeo de Sangüesa la serie mesozoica únicamente está representada por materiales del Triásico Inferior (facies Buntsandstein).

Resumiendo, entre ambos sectores, y en términos estratigráficos, se observa la desaparición de las facies Keuper, de la serie Jurásica y un aumento significativo o aparición de la serie del Cretácico Inferior. La serie del Cretácico Superior presente en los sondeos y afloramientos, parece no mostrar variaciones bruscas en un sentido E-W en este sector, pero sí un progresivo aumento de potencia hacia el sector septentrional.

Los sondeos anteriores, y otros datos de prospección profunda del sector occidental de la Cuenca de Jaca-Pamplona, muestran una variación en la posición del basamento (autóctono y alóctono) sintetizados en Lanaja (1987). Según se expresa en el mapa de la figura 3a, la posición del basamento autóctono en el sondeo Aoiz es de -3.893 m, y en el sector occidental profundidades comprendidas entre -4.354 y -4.426 m. Esta diferencia de 500 m no es demasiado significativa (representaría una pendiente media de 1,43°), sin embargo, sí lo es el de la posición del paleozoico alóctono, que es de -689 m en el sondeo de Aoiz y de -4.426 m en el de

Pamplona-3, lo cual indica el rápido amortiguamiento de la lámina cortada en el sondeo de Aoiz. Por otra parte, desde un punto de vista estructural, es de destacar que dentro de la banda donde se producen todos los cambios antes mencionados también tiene lugar la desaparición hacia el W del macizo paleozoico de Oroz-Betelu.

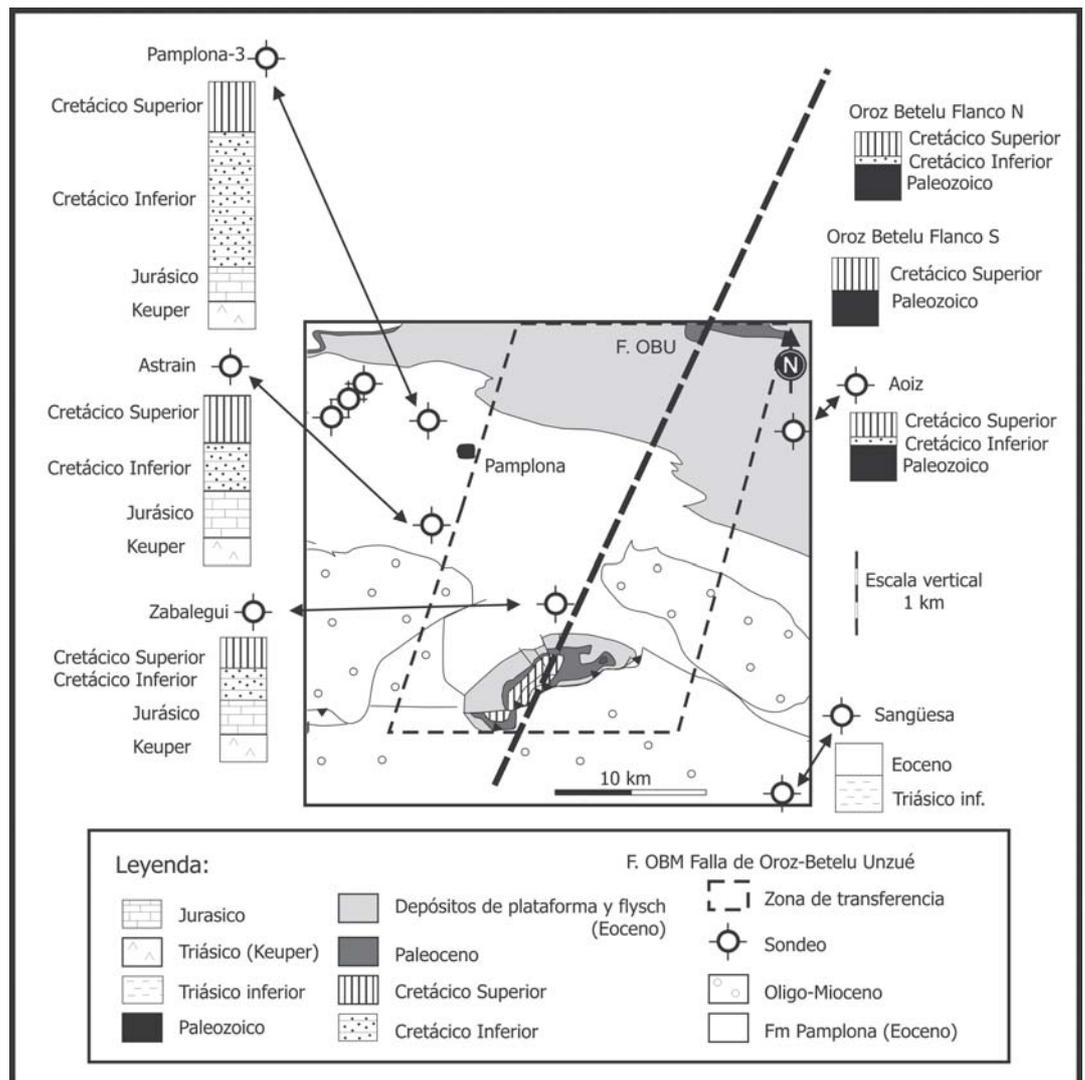
En la búsqueda de otros criterios sobre las razones de esta variación de las series estratigráficas y posición del basamento autóctono y alóctono, realizamos un corte gravimétrico, de rumbo aproximado E-W, del sector occidental de la Cuenca de Jaca-Pamplona utilizando el mapa de Mezcúa *et al.*, (1996) (Fig. 3b). El corte obtenido muestra una anomalía negativa en el entorno de la falla de Pamplona que, como ocurre en otros puntos de esta falla, podría estar relacionada con la presencia de masas diapíricas de facies Keuper. El corte, en su prolongación oriental, muestra un ascenso escalonado de la anomalía de Bouguer. Por otra parte también se aprecian dos zonas de variación de la pendiente de la anomalía. El cambio de pendiente más oriental coincide en superficie con la prolongación de la alineación del límite occidental entre el macizo paleozoico de Oroz-Betelu y el cambio de orientación del cabalgamiento de Alaiz (sector de Unzué). Además, dicha variación de pendiente coincide con un salto significativo de la profundidad del substrato en la transversal estudiada.

La banda de terreno a lo largo de la cual se localizan los cambios expuestos también coincide con la variación de

orientación y salto entre el cabalgamiento de Loiti y el de Alaiz (Fig. 2). En relación con esto último, cabe mencionar que la serie del Cretácico Superior del cabalgamiento de Alaiz aflora y se encuentra a una cota de 700 metros sobre el nivel del mar, mientras que al W de la misma baja hasta localizarse por debajo de -2.000 m (Larrasoña *et al.*, 2003; Pueyo Anchueta, 2004). Además, como hemos mencionado, la orientación de las estructuras relacionadas con el frente cabalgante varía de NW-SE en el retrocabalgamiento de Loiti, a NE-SW en el cabalgamiento de Alaiz, y hacia el W pasa a E-W a la altura del retrocabalgamiento de Puente la Reina. Sin embargo, estos bruscos cambios de rumbo no conllevan variaciones significativas en el acortamiento relacionado con el frente cabalgante. Los acortamientos deducidos de la restitución de los cortes geológicos muestran valores similares para todas las transversales: Sierras Exteriores Aragonesas 14 km (Millán, 2006), transversal de Sierra de Cantabria 15 km (Martínez Torres, 1989), transversales de Pamplona y Urbasa 15 y 14,6 km (Larrasoña *et al.*, 2003), transversales de Alaiz e Izaga 14,1 y 12,8 km (Pueyo Anchueta, 2004).

### Discusión de los datos

Los datos mencionados en el apartado anterior permiten delimitar una banda de terreno de rumbo NNE-SSW, de unos 20 km de ancho, que se extiende desde el macizo de Oroz-Betelu hasta la sierra de Alaiz. En esta banda es especialmente significativa la variación de las series estratigráficas entre ambos lados de la misma. La serie Triásico-Cretácico Inferior es de 1.649 m en el sondeo de Pamplona 3 y de 1.417 m en el sondeo de Pamplona S. Como se observa en la figura 2 en el sector oriental la serie triásica y jurásica está ausente y la del Cretácico Inferior muy reducida y ocasionalmente ausente. La disminución de espesor se debe a la desaparición de la serie triásica y jurásica en la zona oriental de la banda, así como a las variaciones en la potencia de la serie del Cretácico Inferior que puede llegar hasta los 1.400 m. En el borde sur del macizo Paleozoico de Oroz-Betelu la serie mesozoica Triás-Cretácico Inferior está totalmente ausente. Si las variaciones de espesor de la serie triásico-Cretácico inferior, a lo largo de una dirección WNW-ESE, fueran progresivas mostrarían envolventes con pendientes en torno a 5° (»10%). En principio resulta un valor demasiado alto que si se continuara hacia el E supondría espesores que no se



ajustan con los conocidos para Pirineo navarro oriental (Valle del Roncal); lo mismo ocurre si se prolongara la pendiente hacia el W y se compararan los espesores hipotéticos con aquellos próximos a la falla de Pamplona.

La solución que mejor explica la información disponible estaría relacionada con la existencia de una falla ciega de orientación N 020-040 E que pasara al W del macizo de Oroz-Betelu y al E del sondeo de Zabalegui (Fig. 2). La proyección en superficie de esta falla discurriría por las proximidades de la localidad de Unzué y al W del macizo de Oroz-Betelu, por lo que la hemos denominado falla de Oroz-Betelu-Unzué (OBU). El salto de falla que se deduce para el basamento, así como las variaciones en espesor en la serie mesozoica, con ausencia de la serie triásica y jurásica en el sector oriental, y variaciones en la serie del Cretácico Inferior (que puede llegar a estar ausente en el sector oriental), se podrían encuadrar dentro de la dinámica distensiva del Cretácico Inferior. Si la actividad de esta

falla se produjo durante el periodo Cretácico Inferior, la serie conservada indicaría que el bloque occidental fue el hundido, acumulando la mayor parte del sedimento y conservando la serie triásico-jurásica, y el bloque oriental el levantado, donde la serie triásica y jurásica pudo erosionarse, y donde se produjo un menor depósito y/o erosión de la serie cretácica. Por otro lado, dada la orientación transversa a la cadena que tiene la falla de Oroz-Betelu-Unzué, su papel dentro del contexto distensivo de la cadena quedaría encuadrado como una falla de transferencia de carácter extensional (ver por ej. Ramsay y Huber, 1987).

La información procedente del cabalgamiento de Sierra de Alaiz también es relevante a la hora de interpretar deformación terciaria del sector. Se trata de una estructura de orientación NE-SW y cuya cinemática ha sido interpretada como rotacional (Turner, 1990; Facci *et al.*, 1997), aunque esto no ha sido corroborado por estudios magneto-tectónicos (Larrasoña, 2000). El cabalgamiento se

localiza en el bloque occidental de la inferida falla de OBU, donde se preserva serie del Triásico Keuper. Además, está caracterizado por otros aspectos estructurales que rompen con la tendencia general de la región, tales como la superposición en superficie de Mesozoico sobre el Oligoceno superior, la variación en el tipo de estructuras que registran el acortamiento, o el brusco cambio de rumbo del frente cabalgante. Todo ello sugiere que el cabalgamiento está ligado a la reaparición de facies Keuper al W de la falla de OBU y que esta falla actuó en el Terciario como un límite estructural. Su existencia sería la causa de que el acortamiento se acomode de distinta forma a cada lado de la falla. Al menos en este sentido, la falla de Oroz-Betelu-Unzué podría haber actuado nuevamente como una zona de transferencia o como rampa lateral en la serie de cobertera despegada. Esta interpretación es coherente con los resultados de Calassou *et al.*, (1993) quienes, basándose en estudios de modelización analógica, llegan a la con-

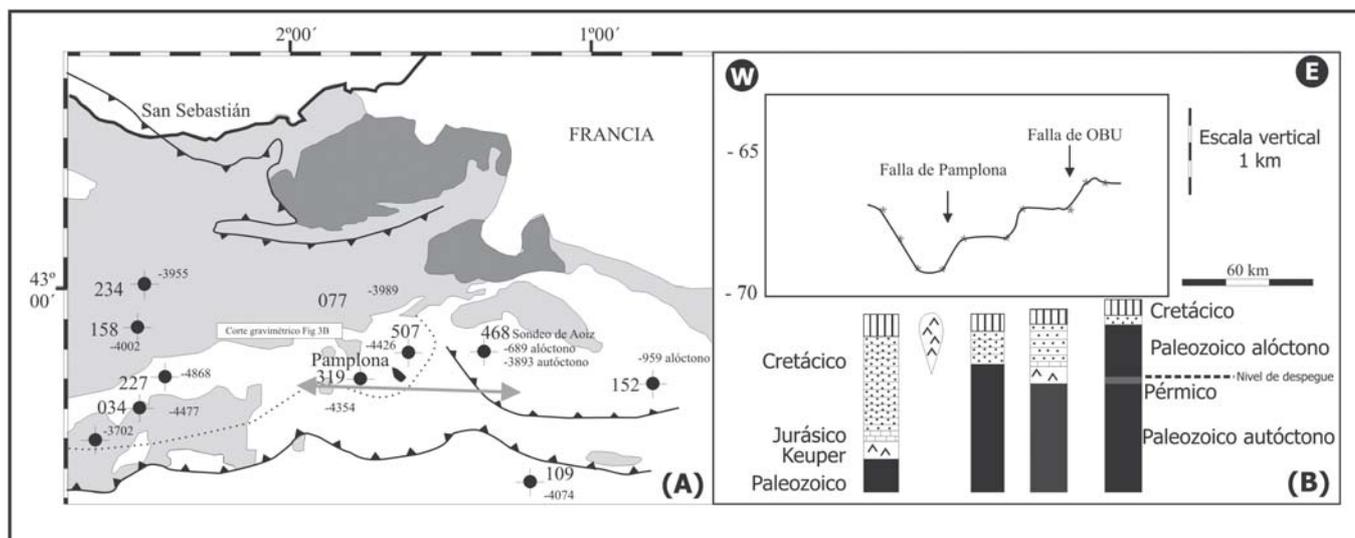


Fig. 3.- (A) Posición del basamento del sector occidental del Pirineo Central y sector oriental del Pirineo Occidental. En la figura se localizan los principales sondeos con la posición del autóctono/para-autóctono (Lanaja, 1987). (B) Corte gravimétrico del mapa escala 1:1.000.000 de la península (Mezcúa et al.,1996) con la posición de la falla de Pamplona y OBU y las series estratigráficas de cada uno de los bloques (los datos del sector occidental provienen de Larrasoña et al., 2003; los del sector oriental de Lanaja, 1987).

Fig. 3.- (A) Basement depth in metres for the western sector of Central Pyrenees and the eastern sector of the Western Pyrenees. The main boreholes and the position of the autochthonous and para-autochthonous rocks are shown (Lanaja, 1987) (B) Gravimetric cross-section from the 1:1.000.000 gravimetric map of the Iberian peninsula (Mezcúa et al.,1996) showing the situation of the Pamplona fault and the Oroz-Betelu-Unzué fault, as well as the stratigraphic series of each block (the stratigraphic data from the western sector come from Larrasoña et al., 2003, whereas those from the eastern sector are taken from Lanaja, 1987).

clusión de que algunos de los principales factores responsables del desarrollo de zonas de transferencia son, partiendo de una orientación adecuada de una falla, la variación de la potencia de la serie de cobertera, la existencia de un salto o escalón en el basamento, y la variación de las propiedades físicas del nivel de despegue.

**Conclusiones**

Se infiere la existencia de una falla de rumbo N 020-040 E, que se extiende desde el macizo de Oroz-Betelu hasta la sierra de Alaiz, denominada falla de Oroz-Betelu-Unzué. Dada su orientación norteada, los cambios de espesor y de unidades de la serie mesozoica a ambos lados de la falla, y el salto que existe en el basamento a ambos lados de la falla, se interpreta como una estructura de transferencia, de carácter extensional, activa durante el Cretácico Inferior. Durante la compresión terciaria las características antes mencionadas, unidas a la distinta capacidad de deslizamiento del nivel de despegue, habrían favorecido su funcionamiento como estructura de transferencia dado que su existencia supone que los acortamientos sean consumidos, en cada bloque, por diferentes estructuras contraccionales. Dentro de este contexto compresivo, el cabalgamiento de Alaiz se considera como una estructura

genéticamente ligada a la evolución terciaria de la zona de transferencia de Oroz-Betelu-Unzué.

**Agradecimientos**

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la convocatoria de Ayudas de Espeleología y Geología del Gobierno de Navarra (375/2003), una beca pre-doctoral del primero de los firmantes (Programa FPU) y por el proyecto E05 (DGA).

**Referencias.-**

Calassou, S., Larroque, C. y Malavieille, J. (2003). *Tectonophysics*, 221, 325-344.  
 Faci, E., Castiella, J., Del Valle de Lersundi, J., García de Domingo, A., Diaz de Neira, A., Salvany, J.M., Cabra, P., Ramirez del Pozo, J. y Meléndez, A. (1997). *Mapa Geológico de Navarra. 1:200.000*. Gobierno de Navarra.  
 Davis, G. y Reynolds, J. (1996). *Structural Geology of Rocks and Regions*. Wiley, 776 p.  
 Lanaja, J.M. (1987). *Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España*. IGME.  
 Larrasoña, J.C. (2000). *Estudio magnetotectónico de la zona de transición entre el Pirineo Central y Occidental: Implicaciones estructurales y geodinámicas*. Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 297 p.  
 Larrasoña, J.C., Pares, J.M., Millán, H., Del Valle, J. y Pueyo, E.L. (2003). *Tectonics*, 22, 1071  
 Mezcúa, J., Gil, A. y Benarroch, R. (1996). *Estudio gravimétrico de la Península Ibérica y Baleares*. IGN.  
 Pueyo Anchuela, Ó. (2004). *Estructura y cinemática del Cabalgamiento Frontal Surpirenaico en el Sector Occidental de la Cuenca de Jaca-Pamplona, la Sierra de la Alaiz*. Tesis de Licenciatura, Univ. de Zaragoza. 202 p.  
 Ramsay, J. y Hubert, M. (1983). *The techniques of modern structural geology*. Vol 1. Academic Press Limited, 307 p.  
 Ramsay, J. y Hubert, M. (1987). *The techniques of modern structural geology*. Vol 2. Academic Press Limited, 393p.  
 Turner, J.P. (1990). *Journal of the Geological Society*, 147, 177-184.  
 Twiss, R. y Moores, E. (1992). *Structural Geology*. W.H. Freeman and Company, 532 p.  
 Millán Garrido, H. (2006) *Estructura y cinemática del frente de cabalgamiento surpirenaico en las Sierras Exteriores Aragonesas*. Colección de Estudios Altoaragoneses, 53, 396 p.  
 Martínez Torres, L.M. (1989). *El manto de los mármoles (Pirineo Occidental): geología estructural y evolución geodinámica*. Tesis Doctoral Univ. País Vasco, 294 p.