

# Fosas neógenas asociadas a reactivación de pliegues en el borde sur de la Sierra de Cantabria (Alava-Navarra)

*Neogene graben linked to flexural fold reactivation in the southern border of the Sierra de Cantabria (Alava-Navarra)*

A. L. Cortés Gracia y A.M. Casas Sainz

Departamento de Geología. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza.

## ABSTRACT

*In the hanging wall of the Sierra de Cantabria thrust (western sector of the southern Pyrenees) there are two Neogene graben with long axes oriented NE-SW and E-W. They are 10x3 and 15x3 km wide, respectively, and filled with Miocene and Pliocene clastic deposits. Their southern margins are controlled by near vertical faults, which are roughly parallel to the strike of the Oligocene and Cretaceous beds, folded during the Pyrenean Tertiary shortening. These faults, formerly interpreted as normal extensional faults, can be explained as the result of reactivation, during the Late Miocene to the Pliocene, of former flexural slip NE-SW and E-W compressional folds linked to thrusting. Structures formed on the uncomformable Neogene cover during this reactivation were conditioned by the thickness and lithological changes between Cretaceous and Oligocene units. The interpretation given to these Neogene graben implies that compressional structures extend at least to the Pliocene in this part of the southern Pyrenean border.*

**Key words:** *flexural fold, reactivation, neotectonics, Neogene, southern Pyrenees.*

*Geogaceta, 21 (1997), 81-84  
ISSN: 0213683X*

## Introducción

La Sierra de Cantabria constituye el frente surpirenaico al Sur del macizo vasco. Su estructura está determinada por un cabalgamiento de vergencia sur con desplazamiento de varias decenas de kilómetros (Martínez Torres, 1984, 1993). Las estructuras compresivas en este sector del Pirineo prolongan su actividad al menos hasta el Vallesiano, de acuerdo con las dataciones realizadas en las unidades terciarias (Santafé *et al.*, 1982, Muñoz Jiménez y Casas Sainz, 1996). La actividad neotectónica en este sector del Pirineo aparece ligada al bloque superior del cabalgamiento de la Sierra de Cantabria, con varias fosas tectónicas Mio-pliocenas de dirección E-W a NE-SW (Casas *et al.*, 1989; Hernández Samaniego *et al.*, 1984; Olivé Davó *et al.*, 1985). Estos últimos autores interpretan este sistema de fosas como resultado de una tectónica extensional que afectaría a la cuenca del Ebro desde el Mioceno superior hasta el Cuaternario.

La reactivación de pliegues posteriormente a su fosilización por materiales discordantes es un proceso que da lugar a estructuras que pueden resultar difíciles

de interpretar sin tener en cuenta este contexto estructural. Existen varios modelos que explican la formación de distintos tipos de estructuras en función de la geometría del pliegue reactivado y del ángulo de discordancia entre las capas superiores e inferiores (Alonso, 1985, 1989). La característica común a la mayor parte de ellos es que las superficies de estratificación de los materiales plegados se propagan como fallas, o pliegues; si existen niveles de despegue potenciales, en los estratos discordantes superiores. La reactivación de pliegues es un proceso relativamente frecuente en las deformaciones neotectónicas (Casas *et al.*, 1994), ya que las coberteras recientes son muy poco potentes en relación a las estructuras infrayacentes, que normalmente controlan la deformación.

## Situación geológica. El frente surpirenaico en la Sierra de Cantabria

En el conjunto de la Sierra de Cantabria, y a la altura del sector estudiado (Fig. 1) aparecen dos estilos estructurales diferentes:

1) Al Oeste del meridiano de Logroño la estructura del frente cabalgante está ca-

racterizada por un cabalgamiento principal vergente al Sur con geometría de rellano de bloque superior-rampa de bloque inferior, complicada por algunos cabalgamientos menores (Martínez Torres, 1984, 1993). En el bloque superior aparecen las calizas y margas del Cretácico marino, junto con areniscas y calizas del Aptiense y Albiense. Bajo ellas aparece el Triásico superior en facies Keuper, que constituye el nivel de despegue regional del cabalgamiento de la Sierra de Cantabria. Al este de la zona estudiada los materiales triásicos afloran en varios diapiros funcionales durante el mesozoico y terciario, y posiblemente cortados por el cabalgamiento principal (Brinkmann y Logters, 1968; Muñoz Jiménez y Casas Sainz, 1996). El espesor de las unidades disminuye rápidamente desde el Norte hacia el Sur (Olivé *et al.*, 1990). En el bloque inferior del cabalgamiento aparecen las unidades terciarias subhorizontales, fundamentalmente miocenas (Muñoz Jiménez y Casas Sainz, 1996).

2) Al Este del meridiano de Logroño el cabalgamiento frontal surpirenaico no aflora en superficie, y aparecen una serie de pliegues de dirección E-W que afectan

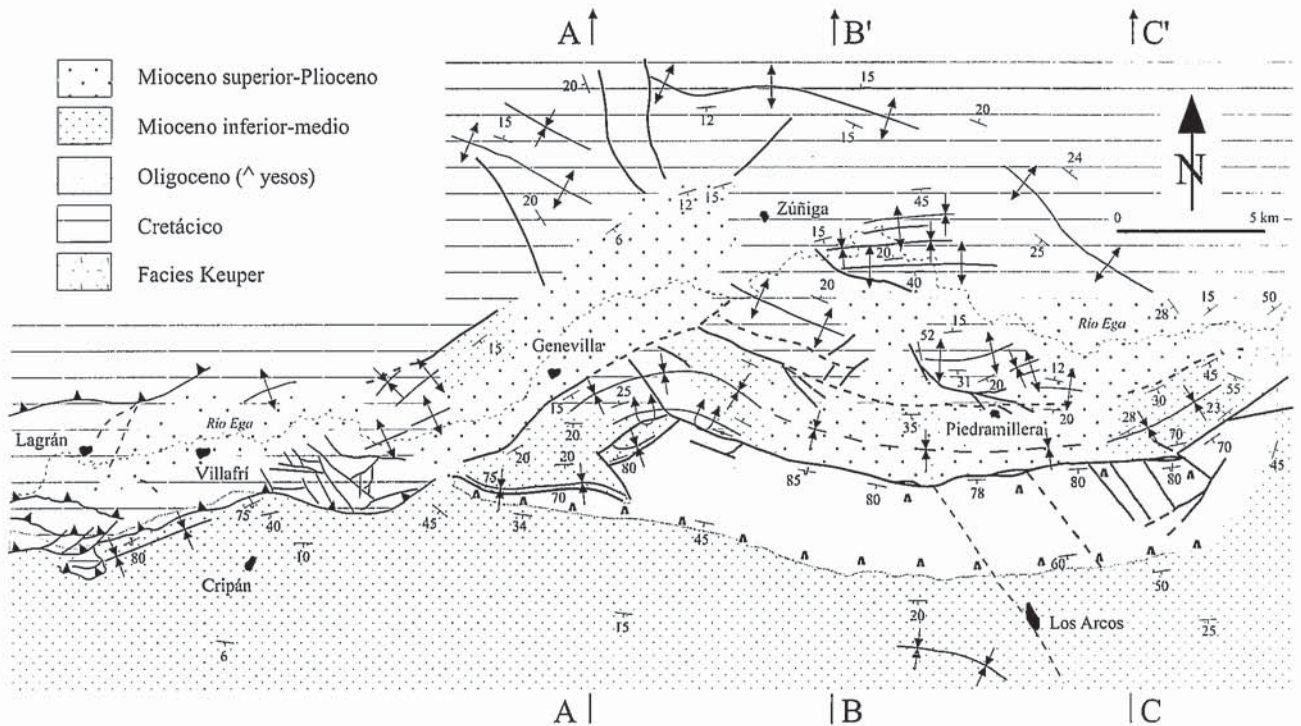


Fig. 1.- Mapa geológico del borde sur de la Sierra de Cantabria, mostrando la posición de las principales fosas neógenas. Modificado de Carreras Suárez *et al.* (1977), Portero García *et al.* (1978), Hernández Samaniego *et al.* (1984) y Olivé Davó *et al.* (1985).

Fig. 1.- Geological sketch of the southern border of the Sierra de Cantabria, showing the location of the main Neogene graben. Modified from Carreras Suárez *et al.* (1977), Portero García *et al.* (1978), Hernández Samaniego *et al.* (1984) and Olivé Davó *et al.* (1985).

a los depósitos terciarios, el más importante de los cuales es el anticlinal de Barbarín, del cual solamente aflora el flanco sur (Muñoz Jiménez y Casas Sainz, 1996). Este flanco llega a aparecer en posición vertical (Figs. 1 y 2), va perdiendo buzamiento hacia el Sur, y sobre él se sitúa la discordancia de Barbarín, próxima al límite Oligoceno-Mioceno (Riba, 1964, 1992). Bajo este pliegue se situaría el cabalgamiento surpirenaico, del cual constituye el anticlinal de rampa de bloque superior. Al Norte del anticlinal de Barbarín aparecen las unidades cretácicas de la Sierra de Cantabria.

**Las cuencas neógenas del sur de la Sierra de Cantabria**

Los materiales neógenos del bloque superior del cabalgamiento de la Sierra de Cantabria aparecen repartidos en dos fosas (Casas *et al.*, 1989), que se sitúan aproximadamente en la zona de transición entre los dos estilos estructurales del frente sur de la Sierra:

1) La fosa de Genevilla presenta dirección NE-SW, longitud de 10 km y una anchura media de 3 km. En el relleno de la fosa se distinguen dos tipos de depósitos: materiales del Mioceno inferior, consolidados y con buzamientos de entre 15 y

20°, que afloran en la parte sur de la fosa, y materiales del Mioceno superior-Plioceno, fundamentalmente gravas y arcillas de color rojo no consolidadas (Hernández Samaniego *et al.*, 1984; Olivé Davó *et al.*, 1985) que forman el relleno más superficial. El límite NW de la cubeta es difuso y probablemente corresponde a una discordancia de los materiales neógenos sobre los cretácicos; el límite SE, por el contrario es muy neto y con una traza cartográfica prácticamente rectilínea.

2) La fosa de Piedramillera, de orientación E-W, presenta una longitud de unos 15 km y una anchura media de 3 km. Su relleno también presenta los dos tipos de depósitos, con las gravas y arcillas mio-pliocenas subhorizontales y discordantes sobre los materiales del Mioceno. El límite sur de la fosa presenta una gran continuidad lateral y sigue los contactos estratigráficos de la serie oligocena subvertical situada más al Sur. Su límite norte, al igual que en el caso anterior, no está tan definido y los depósitos neógenos se extienden hacia el norte discordantes sobre las rocas cretácicas (Fig. 1).

Al Oeste de las dos fosas anteriores, con uno de sus bordes al menos marcadamente rectilíneo, aparece otro

afloramiento de materiales neógenos en los alrededores de Villafría (Fig. 1), con sus límites algo más irregulares pero manteniendo cierto paralelismo con la estructura general, cuyo origen podría estar relacionado con el de las fosas citadas.

El aspecto más característico que presentan los dos límites netos de las fosas de Genevilla y de Piedramillera es que en ambos casos son paralelos a las capas del Cretácico superior y del Terciario respectivamente. En el primer caso la estructura compresiva del bloque superior está determinada por varios pliegues en materiales cretácicos, cuyos flancos presentan buzamientos de entre 15 y 25° (Fig. 2). Las capas oligo-miocenas situadas sobre ellos aparecen plegadas con la misma orientación. En el límite norte de la fosa la estructura de la serie cretácica no es tan clara, ya que aparecen varios pliegues laxos de dirección WNW-ESE. El borde sur de la fosa de Piedramillera corresponde con el límite entre la unidad de Yesos de la base del Oligoceno (Olivé Davó *et al.*, 1985) y las unidades del Eoceno marino y Cretácico superior situadas más al norte, de litología fundamentalmente margosa. En la mitad occidental de la fosa y en el sector oriental (de dirección NE-SW) el límite de ésta es estrictamente paralelo a las líneas de capa del Oligoceno

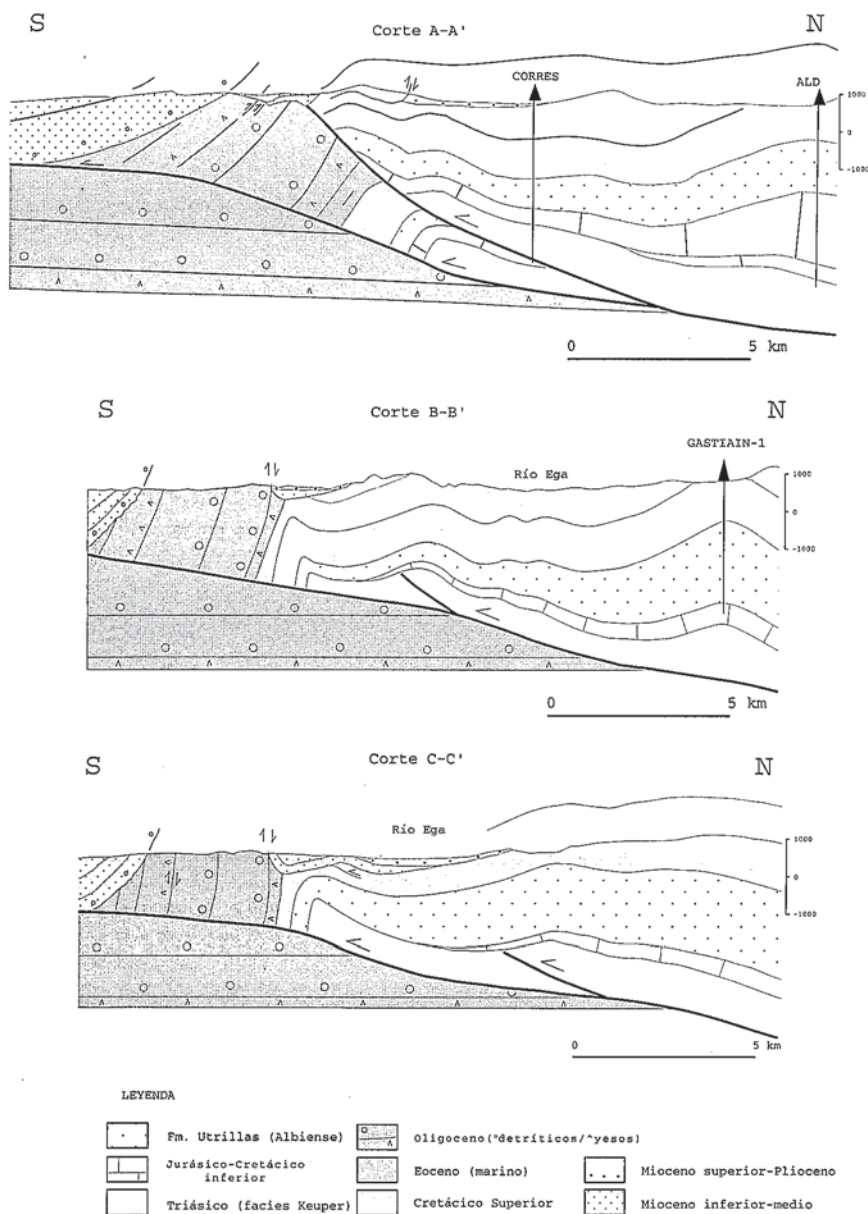


Fig. 2.- Cortes geológicos del borde sur de la Sierra de Cantabria. Ver situación en la figura 1.

Fig. 2.- Geological cross-section of the southern border of the Sierra de Cantabria. See location in figure 1.

plegado, mientras que hacia la parte central estas capas están cortadas en ángulo muy bajo por el límite de la fosa, probablemente debido a la existencia de fallas previas al basculamiento completo de la serie (falla de Los Arcos).

**Interpretación y discusión**

El fuerte condicionante estructural en la dirección de las fosas, unido a la verticalidad de las fallas que las limitan y a su fuerte asimetría permite, a nuestro entender, relacionar su origen con la reactivación de los pliegues oligocenos con posterioridad a las discordancias del

Mioceno inferior y del Mioceno superior (Fig. 3.A). Las fallas que limitan las cubetas por el Sur, corresponderían, según este esquema, a deslizamientos capa sobre capa de las unidades terciarias y cretácicas infrayacentes. Este tipo de deformación daría por tanto cubetas fuertemente asimétricas con el depocentro situado junto a la falla principal. Un hecho que apoya esta hipótesis es que existe, al Sur de la cubeta de Genevilla, un afloramiento de materiales del Mioceno medio superior (Fig. 1) cuya deformación (en sinclinal asimétrico vergente al Norte) también se ajusta al modelo de reactivación de pliegues, lo que implica que el

proceso habría empezado, en el bloque superior del cabalgamiento de la Sierra de Cantabria, hacia mediados del Mioceno.

En la reactivación de estos pliegues existen cuatro factores fundamentales que condicionan la geometría resultante, como son por un lado la potencia y litología de las unidades cretácicas y oligocenas, y por otro, sus buzamientos originales y el aumento de buzamiento producido durante la reactivación (suponiendo una discordancia originalmente horizontal, ver Fig. 3.A, B). En cuanto a la litología y potencia, las unidades litoestratigráficas que forman el flanco sur del anticlinal de Barbarín presentan espesores de entre 500 y 1000 m (Hernández Samaniego *et al.*, 1984; Olivé Davó *et al.*, 1985). El paso de unas unidades a otras, y de la base de la serie del Terciario continental (calizas y margas cretácicas y eocenas-yesos-areniscas) es relativamente brusco, lo que implica fuertes contrastes de competencia y posibilidad de despegues entre las diferentes unidades. Los buzamientos actuales varían desde verticales hasta 45° S.

A partir de cálculos trigonométricos sencillos, basados en los modelos presentados por Alonso (1985, 1989), y suponiendo que el aumento de buzamiento de las capas parte de su situación sobre un cabalgamiento basal subhorizontal (ver Fig. 2) se ha establecido el salto vertical máximo para las fallas que limitan las cuencas. En la situación real, este salto vendría expresado por la potencia de sedimentos neógenos más el aumento de la elevación del relieve en el límite de la fosa, que solamente puede calcularse de forma aproximada (más de 250 m para la fosa de Piedramillera y al menos 350 m para la de Genevilla). Esto supone aumentos de buzamiento de la serie en torno a los 10-15° (para valores intermedios de espesor de las unidades y buzamientos iniciales en torno a los 70°) para la fosa de Piedramillera. En el caso de la fosa de Genevilla la aplicación del modelo propuesto no es tan inmediata ya que el buzamiento de las capas cretácicas aflorantes en su borde sur está en torno a los 20-25°. Es posible que en este caso, y en algunos puntos del frente de la fosa, la falla de su borde SE pueda corresponder a un despegue de buzamiento algo menor dentro de la serie cretácica.

El modelo presentado supone la persistencia de la compresión pirenaica, con dirección aproximada N-S en el conjunto de la Sierra de Cantabria, al menos hasta el Plioceno, lo que, de acuerdo con las dataciones existentes hasta el momento sobre los materiales situados en el bloque

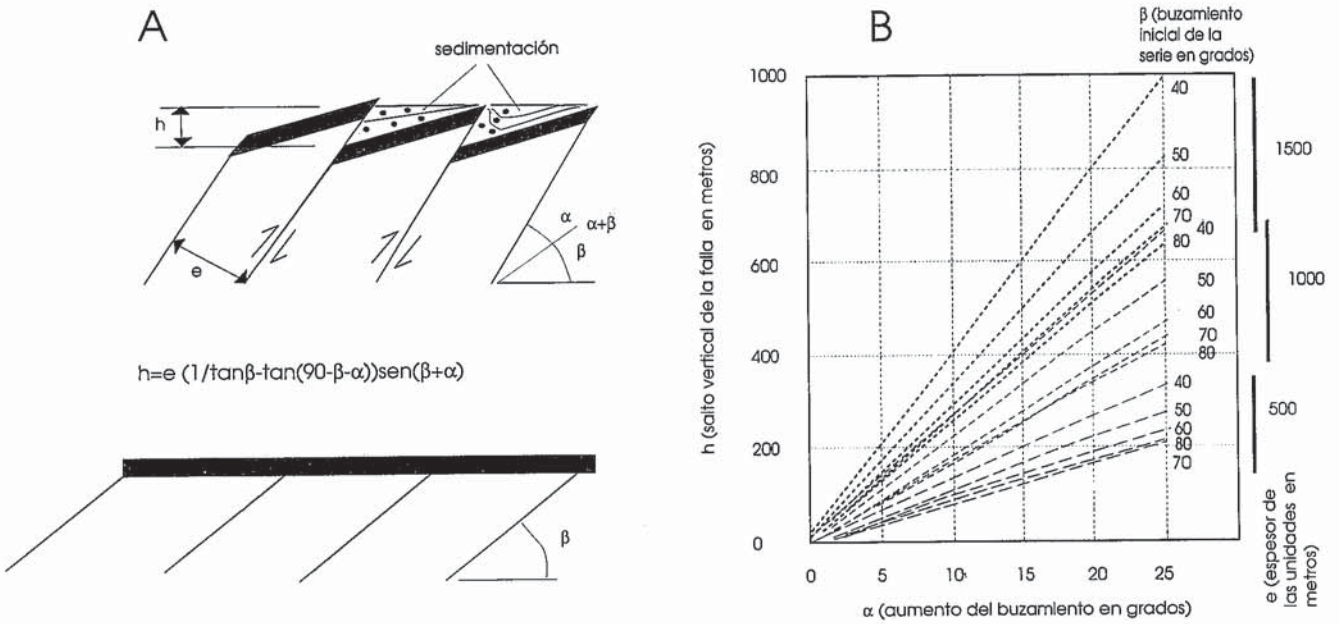


Fig. 3.- A. Modelo propuesto para la formación de las fosas neógenas del borde sur de la Sierra de Cantabria, por reactivación de pliegues; se muestran también los parámetros utilizados para la obtención del salto vertical de las fallas que limitan las fosas (h) en función del espesor de las unidades implicadas en la reactivación (e), del ángulo de buzamiento inicial de la serie (β) y del aumento de buzamiento de la reactivación (α), así como la fórmula que expresa este salto vertical, obtenida a partir de cálculos trigonométricos sencillos. B. Ábaco que expresa el salto vertical de las fallas en función de los parámetros indicados. Se han establecido las curvas para buzamientos iniciales de la serie de 40, 50, 60, 70 y 80°, aumentos de buzamiento de 0 a 25°, y espesores de las unidades de 500, 1000 y 1500 m.

Fig. 3.- A. Proposed model, based on fold reactivation, for the origin of the neogene graben at the southern border of the Sierra de Cantabria. The parameters used to obtain the throw of faults limiting the graben (h), as well as the equation used to obtain these values, are also shown: e, thickness of stratigraphic units; β, original dip of the series; α, increase in dip during reactivation. B. Graphic expression of h values as a function of these parameters. Curves have been drawn for original dips of the sedimentary series of 40, 50, 60, 70 and 80°, a values from 0 to 25° and thickness of units of 500, 1000 and 1500 m.

inferior del cabalgamiento (Vallesiense, según Santafé *et al.*, 1982) supone un régimen compresivo durante todo el Terciario. Estos datos concuerdan, por otra parte, con la existencia de una compresión reciente, de dirección aproximada N-S, en otros puntos del NE peninsular (Philip *et al.*, 1992).

**Agradecimientos**

El presente estudio ha sido financiado por el proyecto D.G.I.C.Y.T. PB93-1218.

**Referencias**

Alonso, J.L. (1985): *Estructura y evolución tectonoestratigráfica de la región del manto del Esla (zona Cantábrica, NW de España)*. Publ. Diputación Provincial de León. 276 pp.  
 Alonso, J.L. (1989): *Tectonophysics*, 170: 57-77  
 Brinkmann, R. y Lögters, H. (1968). In: *Diapirs and diapirism*, A.A.P.G.,

Tulsa, Oklahoma: 275-292  
 Carreras Suárez, F.J., Ramírez del Pozo, J. y Aguilar Tomás, M.J. (1977): *Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Hoja nº 139, Eulate*, I.G.M.E., Madrid  
 Casas, A., Gil, I. y Simón, J.L. (1989): *Actas de la II Reunión del Cuaternario Ibérico, AEQUA*, Madrid: 675-681.  
 Casas, A., Gil, I., Lerános, B., Millán, H. y Simón, J.L. (1994): *Geol. Rundsch.*, 83: 853-867.  
 Hernández Samaniego, A., Ramírez del Pozo, J., Carbaya Olivares, A., Castiella Muruzábal, J. y Solé Sedó, J. (1984): *Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Hoja nº 172, Allo*. I.G.M.E., Madrid.  
 Martínez Torres, L.M. (1984): *Geología de la Sierra de Cantabria entre Palomares y Toloño*. Dpto. Pub. Exc. Dip. Foral de Alava.  
 Martínez Torres, L.M. (1993): *Geogaceta*, 14: 113-115.  
 Muñoz Jiménez, A. y Casas Sainz, A.M.

(1996): *Basin Research*, 8 (en prensa)  
 Olivé Davó, A., Ramírez Merino, J.I., Carbayo, A., Castiella, J. y Solé, J. (1985): *Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Hoja nº 171, Viana*. I.G.M.E., Madrid.  
 Olivé, A., Ramírez, J.I., Alvaro, M., Ramírez del Pozo, J. y Aguilar, M. (1990): *Mapa Geológico de España a escala 1:200.000. Hoja nº 5/12, Bermeo/Bilbao*. I.G.M.E., Madrid.  
 Philip, H., Busquet, J.C., Escuer, J., Fleta, J., Goula, X. y Grellet, B. (1992): *C. R. Acad. Sci. Paris*, 314: 1239-1245.  
 Portero García, J.M., Ramírez del Pozo, J. y Aguilar Tomás, M.J. (1978): *Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Hoja nº 170, Haro*. I.G.M.E., Madrid.  
 Riba, O. (1964): *Aportación Esp. al XX Congr. Geol. Int.*: 127-138.  
 Riba, O. (1992): *Act. Geol. Hisp.*, 27: 55-68.  
 Santafé, J.V., Casanovas, L. y Alférez, E. (1982): *Rev. R.A.C. Exactas, Físicas y Naturales*, 76: 277-284.